مؤتمر الخليج الأول للمياه

FIRST GULF WATER CONFERENCE

DUBAI
OCTOBER 1992

دبي
اكتوبر ١٩٩٢ م .

الجزء الأول

Volume I

الأوراق العلميّة

إستراتيجية تنمية مصادر المياه والمحافظة عليها في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

ورقة الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية

مؤتمر الخليج الأول للمياه

دبي / دولة الإمارات العربية المتحدة

١٠ - ١٣ أكتوبر ١٩٩٢ م

عبداللطيف ابراهيم المقرن

مستشار بالأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية

الرياض / المملكة العربية السعودية

فهرس المحتويات

استراتيجية تنمية مصادر المياه والمحافظة عليها بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

عبدالله إبراهيم المقرن

الموارد المائية في الوطن العربي واستخداماتها وإدارتها

الدكتور إدريس أحمد محمود

الإدارة المتكاملة لموارد المياه في البحرين

مركز البحرين للدراسات والبحوث

Aquifer Storage Recovery (ASR):

Ensuring Water Supply Reliability for the Gulf Region

R. David G.Pyne

مدخل لخفض الطلب على المياه في البحرين

من خلال برامج لكشف التسربات وترشيد الاستهلاك

خليفة إبراهيم المنصور

أزمة المياه والتنمية الزراعية في الوطن العربي

الدكتور علي عبدالرحمن علي

دراسة أثر نظم صرف المياه الأرضية على الميزان المائي

بواسطة النماذج الرياضية

أ.د. أحمد النمر، يوسف عثمان الفريهيدي، صالح عبدالرحمن الفايزي

Decision Support System for Water Resources

Evan Vlachos, Darrall G. Fontane

تنمية مصادر الماء الصالح للاستخدام

محمد بن عبدالكريم الصوفي

Application of Renewable Energies for Water Desalination

O. A. Hamed

تنمية مصادر بديلة للمياه في البلاد العربية

باستخدام وسائل الاستشعار عن بعد

(تحلية المياه طبيعياً)

الدكتور شحته عمر الخطيب

جر الفائض المائي من لبنان إلى دول الخليج العربي

فتحي عبدالحميد شاتيلا

بعض الطرق المستحدثة لفصل واستعادة

أملاح الماغنسيوم من مياه البحر

الدكتور حسين كامل عبدالعال

Water Resource Assessment and Management in the

Gulf Cooperation Council Countries

Mohamed J. Abdulrazzak

تحديد منخفضات المياه السطحية في الكويت

وخواصها الجيومورفولوجية

الدكتور جواد السليمي

Design, Operation and Monitoring of Slow Sand Filters as Tertiary Treatment

Shaukat Farooq and Ali Khamis Al-Yousef

Aspects of Environmental Isotope Hydrogeology of the United Arab Emirates

T. Akltl and R. Gonfiomtinit

تقنيات معالجة المياه

التطورات التاريخية والتحديات المعاصرة

الدكتور عبدالله محمود الرحيلي

A Hybrid FEM-BIEM Modeling Approach for the Dammam Aquifer System, Bahrain and Eastern Saudi Arabia

Waleed Khalil Zubari

Hydrogeologic Exploration in Eastern Abu Dhabi Emirate Using Uphole Data from Petroleum Seismic Surveys

Dennis g. Woodward, Chris M. Mengs, Mohamed A. Khalifa

وضع المياه الجوفية في دولة البحرين

دراسة كمية ونوعية في الفترة من 1980 إلى 1990

الدكتور وليد خليل زباري، صباح صالح الجنيد

إدارة مصادر المياه الجوفية وطرق تنميتها بدولة قطر

عبدالرحيم محمد يوسف المحمود

Removal of Phosphorus from Wastewaters By Fly Ash

Abdullah El-Rehaili and Mohammed Misbahuddin

Performance Evaluation of Primary Settling Tanks Using Spreadsheet

Khalid H. Javed and Shamim Ahmad

دراسة أثر الحقن الكيميائي باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على تولد وانبعاث الروائح الكريهة من مرافق الهندسة الصحية

تمامة حسين عبدالله، جميلة حسين عبدالله، مامتا تومار

استخدام الوحدات المتكاملة لمعالجة مياه الصرف الصحي في التجمعات القروية

الدكتور أحمد فيصل نجيب أصفري

مجالات الاستفادة من المياه المعالجة

الدكتور صالح محمد المزيني

خيارات إعادة استخدام المياه في البحرين

الدكتور سامي دانش، الدكتور أحمد خاطر، محمد الأنصاري

اعتبارات إعادة استخدام المياه المبتذلة في الزراعة

الدكتور سامي مخيمر، الدكتور جمال إبراهيم

Options for Treated Wastewater Reuse in Post-War Kuwait

Nader Al-Awadhi , Kazmer Puskas, Hussein Malek

استراتيجية تنمية مصادر المياه والمحافظة عليها

بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

عبدالله إبراهيم المقرن

استراتيجية تنمية مصادر المياه والمحافظة عليها
بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية

عبد اللطيف ابراهيم المقرن
الامانة العامة - مجلس التعاون لدول الخليج العربية
الرياض - المملكة العربية السعودية

قال الله تعالى "وجعلنا من الماء كل شيء حي " صدق الله العظيم وفي الحديث الشريف لا تسرف ولو كنت على نهر جار ..

تقع دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ضمن المناطق الجافة التي يندر وجود المياه السطحية بها وذلك بسبب قربها من مدار السرطان وقلة سقوط الامطار عليها وارتفاع درجات الحرارة ، وتدني الرطوبة في المناطق الداخلية منها وما يصاحب ذلك من هبوب الرياح وارتفاع في معدلات التبخر التي تتعدى ٣٠٠٠ ملمتر سنويا في معظم دول المجلس .

وخلال العصور الجيولوجية القديمة مثل البليوسيني والبليوستوسيني كان الوضع مختلفا على معظم اجزاء شبه الجزيرة العربية وكان هناك الكثير من الامطار التي كانت تسقط خلال تلك الازمنة الغابرة مما أوجد العديد من ألاودية الكبيرة والمتوسطة والصغيرة بسبب جريان السيول بكميات كبيرة ، تغلغل جزء منها في باطن الارض مكونا ما هو معروف حاليا بالمياه الجوفية المختزنة في بعض التكوينات الجيولوجية الحاملة لتلك المياه والتي كانت دول مجلس التعاون تعتمد عليها والى عهد قريب بصفة رئيسية في احتياجاتها المائية سواء للزراعة أو الصناعة أو الاستهلاك الآدمي .

أما في الوقت الحاضر فان الوضع يختلف عن سابقه حيث اتجهت جميع دول المجلس الى استخدام مياه البحر المحلاة وبالذات لمياه الشرب وذلك بعد مزجها ببعض المياه الجوفية .

أولا : مصادر المياه في دول المجلس :

تنقسم مصادر المياه بدول المجلس الى ثلاثة أقسام رئيسية أولها المياه الجوفية بما في ذلك مياه الآبار السطحية التي تعتمد عادة على الامطار الموسمية في تغذيتها ، وكذلك الآبار العميقة التي تستخرج مياهها من التكوينات الجيولوجية القديمة . والمصدر الثاني هو مياه تحلية مياه البحر أو المياه المالحة بصفة عامة بعد أن يتم تحليتها أو تنقيتها بالطرق الحديثة المتبعة في محطات التحلية أو محطات التقنية .

أما المصدر الثالث فهو مستجد نوعا ما في دول المجلس وينحصر استخدامه فقط في الري لزراعة الحدائق وبعض المزروعات الخاصة .. وهو ما يطلق عليه مياه الصرف الصحي بعد أن يتم تنقيتها وجعلها صالحة لهذا الغرض .

١ - المياه الجوفية :

تعتمد دول مجلس التعاون على العديد من التكوينات الرسوبية المنتجة للمياه الجوفية يربوعددها على ثلاثين تكوينا منها العميقة والمتوسطة العمق والضحلة معظمها تتكون من الاحجار الرملية والحجر الجيري الدولومايتي والطيني وما هو مكون من أثنين أو أكثر من هذه الاحجار وتقع معظم التكوينات العميقة والمنتجة لكميات كبيرة من المياه الجيدة في المملكة العربية السعودية .. الا أن بعضها يمتد ليشمل العديد من دول المجلس وأن كان يختلف بعضها في مسمياته من دولة لاخرى .

ويعتبر تكوين الدمام من أشهر التكوينات المنتجة للمياه الجوفية بدول المجلس يليه النيوجين ثم ام الرضمه والأول موجود تقريبا في كل من المملكة العربية السعودية والكويت وقطر والبحرين وكذلك التكوين الثاني .

وأهم التكوينات المنتجة للمياه ، الوجيد والساق وتبوك والمنجور والوسيع وهذه التكوينات موجودة في المملكة العربية السعودية اضافة الى تكوينات ام الرضمة والدمام والنيوجين التي توجد في معظم دول المجلس . وهناك تكوينات اخرى وطبقات صغيرة منتجة للمياه منتشرة بمسميات مختلفة .

ويمكن تلخيص أهم خصائص هذه التكوينات في الآتي : -

- تكوين الوجيد :

يوجد هذا التكوين في جنوب وسط الجزيرة العربية ويتراوح سمكه بين ٣٠٠ و ٤٠٠ متر ويتكون من الاحجار الرملية ويحتوي على كميات كبيرة من المياه وتتراوح درجة الحرارة في مياهه ما بين ٢٩ على عمق ١٥ مترا الى ٥٤ درجة مئوية على عمق أكثر من ١٠٠٠ متر في حين يبلغ مجموع المواد الصلبة المذابة فيه ما بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ ملجرام / لتر ٠٠ ومياه هذا التكوين مستثمرة حاليا لانتاج القمح في وادي الدواسر بالمملكة العربية السعودية .

- تكوين الساق :

يمتد هذا التكوين من الاردن شمالا الى جنوب وسط المملكة العربية السعودية ويتكون من الاحجار الرملية ويعتبر من التكوينات الهامة بالمملكة لما يتميز به من جودة وتجانس محتوياته من الاحجار الرملية ويتراوح مجموع الاملاح الذائبة في مياهه ما بين ٥٠٠ - ١٥٠٠ ملجرام / لتر وينتج كميات كبيرة من المياه قد تصل الى ١٠٠ لتر في الثانية . وقد استفاد من هذا التكوين العديد من مزارعي منطقة القصيم وتبوك وذلك باستغلاله في اقامة العديد من المشاريع الزراعية الهامة لانتاج القمح والخضروات وبعض الفواكه والاعلاف وتتراوح أعماق آباره التي تم حفرها ما بين ١٠٠ متر في الجنوب الى ١٥٠٠ متر في شمال المملكة العربية السعودية .

ـــ تكوين تبـــوك :

يمتد هذا التكوين أيضا من الاردن شمالا الى جنوب القصيم في المملكة العربية السعودية ويتكون من الاحجار الرملية الا انه يتداخل معها بعض الطفل والاحجار الطينية والجيرية أحيانا . ويصل سمكه الى أكثر من ١٠٠٠ متر في مدينة تبوك نفسها ويقل جنوبا وتختلف خصائصه الهيدروليكية من موقع لآخر وكذلك بالنسبة لنوعية المياه حيث تتراوح ما بين ٥٠٠ الى ٣٥٠٠ جزء في المليون من الشمال الى الجنوب .

ـــ تكوين المنجـــور :

يعتبر من التكوينات العميقة نسبيا في أواسط المملكة العربية السعودية ويتكون عادة من الاحجار الرملية مع بعض الطفل والاحجار الطينية المتداخلة ويصل سمكه الى أكثر من ٣٠٠ مترا ويوجد على أعماق تصل الى أكثر من ١٥٠٠ متر كما هو الحال في آبار مشروعي مياه طبوخ والبويب شمال مدينة الرياض وتتراوح درجة الحرارة في مياه المنجور ما بين ٥٥ ـ ٦٠ درجةمئوية أما نوعية مياهه فهي تختلف حسب الموقع من ٤٠٠ ـ ١٦٠٠ ملجم/ لتر وقد تصل الى أكثر من ذلك .

ـــ تكوين الوسيـــع :

يعتبر هذا التكوين من أهم التكوينات المنتجة شرق مدينة الرياض ويتراوح عمقه بين ٢٣٠ ـ ٤٠٠ متر وقد يصل الى ١٢٠٠ كما في المنطقة الشرقية بالقرب من مدينة الهفوف في حين أن سمكه يتراوح بين ٢٠٠ ـ ٢٣٠ مترا .

ويتكون من الاحجار الرملية غير المتماسكة وغير المتجانسة وتختلف نوعية المياه في هذا التكوين من ١٠٠٠ ـ ٣٠٠٠ ملجم / لتر وتزداد سؤا نحو الشرق .

ـ تكوين ام الرضمـــة :

يمتد هذا التكوين من جنـوب العـراق الى وادي الدواسـر فـي المملكة العربية السعودية ويتكون من الاحجار الجيرية والدلومايت وهو موجود أيضا في اليمن الجنوبي وتمتد اجزاؤه كذلك الى البحرين وقطر وسلطنة عمان واليمن الجنوبـي ومعظـم اجـزاء المنطقـة الشرقيـة مـن المملكة العربية السعودية والربع الخالي . ويتراوح سمكه مـن ٢٤٠ ـ ٧٠٠ متر وتنتج مياهه من أعماق تتراوح ما بين ٢٥٠ ـ ٦٠٠ متر .

وتختلف نوعية المياه في تكوين ام الرضمة تبعـا لبعـده عـن المناطق الساحلية حيث تتراوح من ٣٠٠ ـ ١٠٠٠ ملجم / لتر ولكنها تصل الى ٤٠٠٠ وأكثر في المنـاطق الساحلية .

وتستخدم مياه هذا التكوين في منـاطـق متعـددة مـن المنطقـة الشرقية من المملكة من قبل بعض المزارعين وكذلك في دولة البحرين ، ومعظم هذه الاستخدامات لاغراض الزراعة أو الشرب .

وفي سلطنة عمان تم تقسيـم هـذا التكويـن الى عـلوي وسفـلي وانتاج السفلي أفضل من العلوي ويبدو أن هنـاك اتصال هيدروليكي بيـن هذا التكوين والتكوين الذي يعلوه في السلطنة أي تكوين الرس وهـذا قد أدى الى سؤ في نوعية مياه ام الرضمة هنـاك .

وقد استدل من بعض الابار النفطية التي حفرت بالقرب من أبو ظبي بدولة الامارات العربية المتحدة على وجود تكوين أم الرضمة هنـاك الا أن نوعية مياهه شديدة الملوحة ويعزي ذلك الى تأثير انحلال بعض الترسبات الملحية السميكة الموجودة في تلك المنطقـة والى انحـدار التكوين الى مستويات عميقة تحت سطح البحر .

ـ تكوين الدمـــام :

يتواجد هذا التكوين في معظم دول مجلس التعاون مثل الكويت والمملكة العربية السعودية والبحرين وقطر وسلطنة عمان ويشتمل علـى

ثلاث طبقات هي العلاه والخبر و "سيلا ومدرا" كلها حجر جيري مع الدولومايت ما عدا الاخيرة فهي تحتوي على الطفل والمارل وكلا الطبقتين الأولى والثانية منتجة لمياه جيدة وهي تسمى باسماء مختلفة في البحرين وقطر وقد تتصل طبقتا العلاه والخبر مكونة طبقة واحدة كما في بقيق والظهران والقطيف حيث يصعب معها التمييز بينهما اما في سلطنة عمان فهو يعتبر وحدة واحدة ولم يتم تقسيمه .

ويعتبر هذا التكوين من أهم التكوينات الاقتصادية نظرا لقلة عمقه وسهولة الحفر فيه وخاصة في المنطقة الشرقية من المملكة العربية السعودية والبحرين وقطر . أما بالنسبة لنوعية المياه فهي تعتبر جيدة الى رديئة وتتراوح نسبة الاملاح الذائبة بين ١٠٠٠-٦٠٠٠ ملجم / لتر كلما اتجهنا شرقا وجنوبا .

وفي البحرين تسؤ باتجاه الجنوب والشرق وهي بين ٢٥٠٠ الى ٣٥٠٠ ملجم / لتر وهويستغل في الزراعة والصناعة وبعض مياه الشرب . ويحتل تكوين الدمام أهمية خاصة في دولة الكويت نظرا لكونه أحد المصادر المائية الاساسية ولانه يوجد في المناطق الصالحة للاستغلال على أعماق مناسبة تتراوح ما بين ٦٠ و ٤٠٠ مترا ومتوسط سمكه ٢٠٠ مترا .

أما في سلطنة عمان فان استخدامه يكاد يكون محصورا في تأمين المياه لبعض عمليات تنمية حقول البترول وبعض المناطق السكنية المتفرقة المحدودة نظرا لسؤ نوعيته هناك .

ـ تكوين النيوجين :

ويستغل هذا التكوين في شرق المملكة العربية السعودية من وادي الدواسر الى وادي السرحان شمالا ويعتبر انتاجه أفضل في منطقتي الاحساء والقطيف - وهو ينقسم الى ثلاث طبقات مختلفة تتراوح سماكتها ما بين ٣٠ - ١٠٠ متر تقريبا وربما الى أكثر من ذلك كما في وادي المياه شمال شرق المملكة .

وفي منطقة الاحساء تعتمد الزراعة بشكل رئيسي على هذا التكوين اذ أن معظم العيون الموجودة هناك تستمد مياهها من هذا التكوين ويتراوح انتاجها ما بين ١٠ - ٣٠ لتر في الثانية . وقد كان انتاج عيون الاحساء اكثر من ذلك بكثير الا أنه انخفض كثيرا في السنوات الاخيرة . أما نوعية المياه فهي تختلف باختلاف الموقع ولكنها تتراوح ما بين ١٠٠ - ٤٠٠٠ ملجم / لتر .

أما في دولة الامارات العربية المتحدة فان سماكة تكوين النيوجين تصل الى ٣٥٠ مترا وتتألف من صخور الانهيدرايت والجير ولهذا نجد أن نوعيته تسؤ في هذه الدولة وخاصة في منطقة جنوب العين . وفي سلطنة عمان تتسع سماكة هذا التكوين الذي يسمى هناك "الفارس" وتتصف بغزارة المياه وضحالة اعماقها وتكون مقبولة نسبيا لأغراض الشرب .

وفي دولة الكويت يطلق على تكوين النيوجين اسم مجموعة الكويت وهي تشكل مصدرا رئيسيا لانتاج المياه الجوفية هناك الا أن نوعيتها ليست جيدة وتزداد ملوحتها باتجاه الشمال الشرقي ما عدا بعض المنخفضات مثل الروضتين وأم العيش حيث النوعية جيدة .

ويوجد في بعض دول المجلس بعض العيون الجارية التي تستمد مياهها عادة من المياه الجوفية كما هو الحال في كل من الاحساء والقطيف والخرج والافلاج من المملكة العربية السعودية وعذاري في دولة البحرين وقد استفادت وزارة الزراعة والمياه من مياه العيون في منطقة الاحساء حيث اقامت مشروعا كبيرا للري والصرف منذ عشرون عاما بهذه المنطقة يتم من خلاله جمع مياه أكبر العيون انتاجا مثل الخدود والجوهرية والحارة وأم سبعة وغيرها وذلك باقامة قنوات للري تسقي حوالي عشرين ألف هكتار من المزارع .

الا أنه نظرا لانخفاض منسوب المياه في تلك العيون فقد اضطرت ادارة المشروع منذ أكثر من عشر سنوات الى تركيب مضخات على معظم العيون لتعويض النقص الحاصل في الانتاج .

وهناك ما يسمى بالافلاج (جمع فلج) وهي عبارة عن قنوات للمياه أما سطحية أو تحت سطح الارض تقام عادة لتحويل بعض المياه من بعض العيون الجارية الى مواقع اخرى يمكن الاستفادة منها في ري المزارع ، وهي نظام تقليدي للري اكتشف منذ مئات السنين ويوجد في كل من سلطنة عمان والامارات العربية المتحدة والمنطقة الغربية من المملكة العربية السعودية ويمكن القول أن الافلاج في السلطنة تساهم بما يوازي ٤٠-٥٠ ٪ من الاحتياجات المائية للزراعة حيث يوجد بها ما يقرب من ٤٠٠٠ فلج وخاصة بالمنطقة الشرقية .

٢ - مياه التحلية :

تعتبر دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية من الدول الرائدة في مجال تحلية المياه المالحة ويوجد بها أكبر محطات معروفة للتحلية .. حيث بلغ عدد المحطات التي انشأت حتى نهاية عام ١٩٩١م ما يربوعلى خمس واربعين محطة يوجد في المملكة العربية السعودية نصف هذا العدد تقريبا ، بما في ذلك الوحدات التي اقيمت بمدينة الجبيل على ساحل الخليج العربي والتي تمد مدينة الرياض وحدها بما يوازي ٣٠٠ مليون جالون يوميا وكذلك محطات جدة والمدينة المنورة والحديثة منها لامداد مكة المكرمة والطائف وعسير ، كما تعتبر دولة الكويت من الدول الرائدة في صناعة تحلية المياه المالحة وقد وصل معدل انتاجها السنوي الى أكثر من ٢٥٠ مليون متر مكعب سنويا ، وكذلك بالنسبة لدولة الامارات العربية المتحدة التي وصل انتاجها الى ٣٤٠ مليون متر مكعب سنويا .

وقد بلغ متوسط انتاج دول المجلس من مياه التحلية لعام ١٩٩١ اكثر من ١٤٠٠ مليون متر مكعب جدول رقم (١) .

وتستخدم مياه هذه المحطات بعد خلطها بمياه جوفية قريبه من مواقع الاستهلاك للشرب والاستعمالات المنزلية المختلفة (علما بان هناك محطات خاصة تتبع بعض الشركات مثل شركات البترول وغيرها غير مشمولة في هذه الاحصائية) .

وبالرغم من تعدد التقنيات المستخدمة في تحلية المياه بدول المجلس الا أن طريقة التبخير الوميضي المتعددة المراحل هي الأهم اذ تستوعب ما لا يقل عن ٩٥% من الوحدات الاخرى العاملة وحوالي ٩٩% من اجمالي القدرة الانتاجية المتاحة .

وهناك طرق اخرى تستخدم في تحلية المياه المالحة مثل التناضح العكسي كما هو موجود في جدة والكويت والبحرين ، وكذلك طريقة البخار المضغوط أو اعادة التسخين الا أنها محدودة جدا .

وتشكل وحدات التبخير الوميضي العاملة في كل من المملكة العربية السعودية والكويت والامارات العربية المتحدة أكثر من ٩٠% من اجمالي الوحدات العاملة ، كما أن انتاج هذه الوحدات يربوعلى ٨٩% من اجمالي القدرة المتاحة لهذه الوحدات لنفس الوسيلة (١) .

وقد ادى النقص الحاصل في المياه الجوفية في دول المجلس جميعها الى تسارع انشاء العديد من هذه المحطات (جدول ١) للوفاء باحتياجات المواطنين من مياه الشرب والاستخدامات المنزلية المتعددة ، مما أضفى الكثير من الارتياح لدى المستهلكين حيث ساعد استخدام هذه المياه الى تحسين نوعية المياه وتقبلها أكثر من مستخدميها بعد أن كانوا يعانون الأمرين سواء بالنسبة لكميات المياه أو لنوعيتها والتي كانت أعلى بكثير من الحد المسموح به من قبل منظمة الصحة العالمية .

الا أن الطلب على المياه أصبح يزداد بمرور الأيام نسبة لزيادة السكان والتطور الكبير الذي تشهده كافة دول المجلس في جميع المجالات والذي صاحبه ارتفاع في الاستهلاك اليومي للمياه ، علاوة على ما تفقده الشبكات المحلية بالمدن الرئيسية من كميات نتيجة لقدم بعضها أو سوء في تنفيذها أو صيانتها .

---

(١) واقع العمالة والتدريب بقطاعي الكهرباء وتحلية المياه بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية / مجلس القوى العاملة - الامانة العامة ، الرياض يوليه ١٩٨٦ م .

جدول رقم (١)

توزيع محطات تحلية المياه المالحة وانتاجها السنوي
في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية
(١٩٩٠)

الدولـــــة	محطات قائمة	محطات تحت الانشـاء	الانتاج السنوي (مليون متر مكعب)
الامارات العربية المتحدة	٨	٢	٣٤٠ر٤
البحريـــــن	٣	—	٧٠ر٠
المملكة العربية السعودية	٢٢	٤	٦٥٦ر٩ (عام ١٤١٠هـ)
سلطنة عمان	١ + (١٤محطة صغيرة)	—	٣١ر٢
قطـــر	٢	—	٨٥ر٠
الكويت	٦	—	٢٣٠ر٠
المجموع	٤٢ + ١٠	٦	١٤١٣ر٥

المصدر : معلومات جمعها المؤلف بمعرفته من التقارير السنوية لبعض المؤسسات والوزارات المسئولة عن تحلية المياه في دول المجلس .

٣ - مياه الصرف الصحي المنقاة : -

نتيجة لقلة المياه الجوفية المتاحة للزراعة بسبب التوسع العمراني والصناعي وما يتطلب ذلك من كميات كبيرة للمياه وكذلك التوسع في اقامة المناطق السكنية الجديدة والمجمعات الكبيرة للاسكان وما تحتاجه تلك المرافق من مياه ، وكنتيجة لما يخرج من هذه التجمعات والمساكن من مياه فائضة .. فقد استدعى الامر في عدد من دول المجلس اقامة محطات لتنقية مياه الصرف وايصال هذه المياه الى بعض المزارع والحدائق والمصانع للاستفادة من تلك المياه ، كما هو جار حاليا في المملكة العربية السعودية وقطر والامارات العربية المتحدة وذلك بهدف تعويض النقص والاستفادة من مياه الصرف الصحي لري الحدائق وبعض المزروعات .

ففي المملكة العربية السعودية مثلا تقوم الادارة الوطنية للري في مدينة الرياض بايصال ما يتراوح بين ١٨٠-١٩٠ ألف متر مكعب يوميا من مياه الصرف الصحي المنقاة الى بعض المزارع خارج مدينة الرياض (جدول ٢) تشمل كل من ديراب والدرعية وعرقة والعمارية لسقي أكثر من ٤٠٠٠ هكتار من مزارع النخيل والاعلاف وبعض مزارع القمح والاشجار العالية .. كما أن جزء آخر من تلك المياه تستخدمه مصفاة البترول بالرياض (٢٠٫٠٠٠ متر مكعب يوميا) لاغراض الغسيل والتبريد .. وهناك مشاريع اخرى مماثلة في كل من المدينة المنورة وجدة والقصيم ومدن المنطقة الشرقية .

وفي الكويت ودولة الامارات العربية المتحدة يجري استخدام كميات مياه الصرف الصحي المنقاة أيضا في ري بعض الحدائق والمسطحات الخضراء في الشوارع ، ويوجد في دولة الامارات العربية المتحدة أكثر من أربع محطات في ابو ظبي ودبي والشارقة والعين يمكن أن تصل طاقتها الاجمالية الى أكثر من ٦٢ مليون متر مكعب سنويا تستخدم مياها في ري الحدائق .

جدول رقم (٢)

المناطق التي تستفيد من مياه الصرف الصحي المنقاة في مدينة الرياض

المنطقة	الكمية (متر مكعب)	المساحة المستفيدة من الري (هكتار)
ديراب	٥٧٫٠٠٠	٢٠٠٠
الدرعية	٥٣٫٠٠٠	٨٠٠
العمارية	٨٠٫٠٠٠	١٢٠٠
المجموع	١٩٠٫٠٠٠	٤٠٠٠
مصفاة الرياض	٢٠٫٠٠٠	للغسيل والتبريد
المجموع الكلي	٢١٠٫٠٠٠	

* المصدر : مصطفى نوري وزملاؤه : مصادر المياه واستخداماتها في المملكة العربية السعودية ، ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي ، الكويت ١٧ - ٢٠ فبراير ١٩٨٦ م .

أما في دولة قطر فان الكميات التي يتم تنقيتها من مياه الصرف الصحي فيستخدم جزء منها في زراعة بعض الاعلاف في منطقة أبو سمرة حيث يجري الاستفادة بما معدله ٤٥ ألف متر مكعب يوميا من هذه المياه والسبقية يستخدم لري بعض الحدائق من اجمالي طاقة محطة التنقية التي تصل الى ٦٥ ألف متر مكعب يوميا .

ويجري حاليا اقامة مشروع صرف صحي في سلطنة عمان بمنطقة العاصمة الكبرى بغرض اعادة استعمال هذه المياه في ري الحدائق الخاصة والعامة بدلا من استخدام مياه الشرب . وينتظر أن ينتج المشروع أكثر من خمسة ملايين متر مكعب من المياه سنويا في منطقة العاصمة الكبرى ، ٣ر٦ مليون متر كعب في منطقة صلالة وهناك محطات صغيرة مقامة في بعض المناطق يبلغ اجمالي انتاجها ٢٨ر٠٠٠ قد مكعب يوميا .

اما في دولة البحرين فان استخدام مياه الصرف الصحي بعد معالجتها فلا يزال في بدايته حيث بدأ منذ عدة اعوام باستخدام هذه المياه في ري منطقة تجريبية مساحتها ١٢ ألف هكتار مزروعة بالاعلاف ويؤمل أن تصل كميات المياه المستخدمة لهذه الغرض الى ٨٠ر٠٠٠ متر مكعب يوميا بنهاية هذا العام . (جدول - ٣)

ثانيا : الاستخدامات الفعلية للمياه والاستهلاك : -

ازداد الطلب على استخدام المياه خلال العقد الماضي بشكل خاص في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية نتيجة لزيادة السكان الملحوظة (جدول - ٤) نظرا لزيادة عدد الوافدين لهذه الدول ممن كانوا ولا يزالون يعملون في العديد من مشاريع التنمية وتنفيذ الخطط الخمسية التي تميزت بطفرة ملحوظة في مشاريع الطرق والاسكان والمدارس والمستشفيات ومشاريع البنية الاساسية ، علاوة على مشاريع التصنيع الضخمة وخاصة في المجمعات الكبيرة مثل مجمعات البتروكيماويات في منطقتي الجبيل وينبع بالمملكة العربية السعودية

جدول (٣)
انتاج مياه الصرف الصحي المنقاة
(الف متر مكعب / سنة)

الدولـــــة	الطاقة الانتاجية السنوية	الاستعمالات الحالية
الامارات العربية المتحدة	٦٢ر٠٠٠	ري حدائق
البحريـــــن	٢٩ر٢٠٠	ري حدائق
المملكة العربية السعودية (مدينة الرياض فقط)	٧٦ر٦٥٠	ري بعض المزارع + استعمالات صناعيـــة
سلطنة عمان	(تحت الانشاء) ١٠ر٢٢٠	ري حدائق
قطـــر	٢٣ر٠٠٠	ري أعلاف
الكويـــت	-	ري حدائق

المصدر : معلومات جمعها المؤلف بمعرفته .

وفي الكويت والبحرين والامارات العربية المتحدة ، كما أن ارتفاع الدخل الذي صاحب الطفرة البترولية منذ منتصف السبعينات قد ادى الى تغيير جذري في عادات المواطنين ونمط استهلاكهم للمياه بصفة خاصة بعد التوسع في بناء المساكن والدور الحديثة حيث أدى ذلك الى ارتفاع نسبة الاستهلاك من ١٦٥ لتر للفرد يوميا عام ١٩٦٥ الى ٣٠٠ لتر للفرد في اليوم مع بداية الثمانينات وازداد هذا المعدل في بعض المدن الرئيسية ليصل الى ٤٠٠ لتر في اليوم للفرد حيث أصبح يضاهي معدل استهلاك الفرد في البلدان الصناعية بل ويتعداه احيانا في بعض المدن .

وتعود بعض اسباب هذه الزيادة الملحوظة في استهلاك المواطنين في دول المجلس الى الاسراف وعدم المبالاة خاصة من اولئك المستهلكين الذين تقل درجة وعيهم وادراكهم لأهمية هذه المياه التي يستهلكونها وكيف وصلت اليهم وما هي الطرق والعقبات التي مرت بها قبل أن تصل اليهم ، اضافة الى انه ليس لدى الكثير شعور بالقيمة الاقتصادية لهذه المياه والمبالغ التي صرفتها الدولة عليها خاصة وأن هذه المياه تعتبر شبه مجانيه في بعض دول المجلس أو أن ما يدفعه المستهلك لا يصل الى ربع التكلفة الحقيقية لهذه المياه .

ومن هنا تبرز اهمية توعية المواطنين الى أهمية هذه الموارد القيمة وضرورة المحافظة عليها وعدم الاسراف في استعمالها .

ويشمل استخدام واستعمالات المياه العديد من الاغراض نذكر منها على سبيل المثال ما يلي : -

١ - الاستخدامات المنزلية :

وهي المياه اللازمة للشرب والاستحمام وغسيل الملابس والاواني وري الحدائق المنزلية وتنظيف المنازل وكل هذه الاستعمالات تستهلك كميات كبيرة من المياه - وللاسف يصر الكثير من سكان المدن على استخدام تلك المياه المتاحة لهم في غسيل الممرات خارج المنازل والقصور وكذلك

غسل السيارات .. علاوة على ما يذهب هباء بسبب عدم صيانة الاجهزة المنزلية وخاصة السيفونات أو ترك بعض الخزاناتُ العلوية تمتلىء وتطفو أحيانا لتسيل المياه في الشوارع .. ورغم ما تقوم به الجهات المسئولة عن المياه من تحذير لهولاء السكان بما في ذلك فصل المياه عنهم واجبارهم على دفع بعض الغرامات الا أن ذلك لم يمنعهم من التمادي في مثل هذه التصرفات .

٢ - الاستخدامات الاجتماعية والصناعية :

ويدخل ضمن ذلك استخدام المرافق الحكومية والمستشفيات والفنادق وشركات الانشاءات وما هو مخصص لري الحدائق والمسطحات الخضراء في الشوارع والميادين أو لأغراض الدفاع المدني وما هو متاح للاغراض الصناعية مثل مصانع البتروكيماويات والمصانع الاخرى المتفرعة منها والحديد والصلب ومواد البناء وتكرير البترول .

ومع أن الموارد التي تغذى هذه المرافق مختلفةٌ نسبة للآستعمال فأننا نرى أن هناك هدرا لبعض هذه المياه وخاصة في المكاتب والمدارس والمستشفيات والفنادق والمساجد بسبب عدم المبالاة أولا باهمية هذه المياه وكذلك اهمال واضح في صيانة السيفونات والخزانات وتركها تتسرب منها المياه على مدى الأربع والعشرين ساعة بدون رقيب أو محاولة اقفالها في الاوقات التي لاتستخدم فيه - الا ماندر - .

جدول رقم (٤)

تطور استهلاك المياه للشرب والاغراض المنزلية
(مليون متر مكعب)

الدولة	١٩٨٥ *	٩١/١٩٩٠**	٢٠٠٠ ***
الامارات العربية المتحدة	٢٢٩	٥٤٨	٨٣٢
البحرين	٨٠	١١٨	١٤٣
المملكة العربية السعودية	٥٣٠	٢٠٠٠	٣٠٠٠
سلطنة عمان	٨٥	١٥٠	٢٠٠
قطر	٧٥	١٠٧	١٥٠
الكويت	١٧٠	٢٩٦	٥٣٠
المجموع السنوي	١١٦٩	٣٢١٩	٤٨٥٥

المصدر :* - نبو شناق ، د . عادل : تحديات الطلب على المياه بدول مجلس التعاون - المؤتمر الرابع لتحلية المياه المالحة واعادة استخدامها - الكويت ٤ - ٨ نوفمبر ١٩٨٩. (انجليزي)

** - معلومات جمعها المؤلف من مصادر مختلفة .

*** - تقديرات

ويتضح من الجدول رقم (٤) الاستخدام الجائر لهذه الموارد من المياه المتاحة سواء من المياه الجوفية أو مياه التحلية وأن هناك ارتفاع كبير في هذا الاستهلاك سيجعل من الصعوبة على الجهات المعنية توفير هذه الكميات الهائلة من المياه مع تصاعد التكلفة الحقيقية لمشاريع انتاج المياه وخاصة بالنسبة للتحلية وقلة ما هو متاح من

موارد المياه الجوفية التي ستواجه عجزا كبيرا سيصعب تأمينه ما لم يتم اكتشاف موارد جديدة أو طرق حديثة لتحلية المياه المالحة ولهذا كان لزاما التفكير جديا في اعداد استراتيجية متكاملة لانتاج المياه وطرق استخدامها والمحافظة عليها بدول المجلس .

٣ - الاستخدامات الزراعية :

تشكل استهمالات المياه في الزراعة ما يتراوح بين ٧٥-٨٠ % من كميات المياه المستخدمة في معظم دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ما عدا دولة البحرين ودولة قطر حيث ينخفض هذا المعدل الى ٦٥% بسبب ضاءلة المساحة الزراعية وقلة المياه المتاحة للزراعة نظرا لاعتمادها بالكامل على المياه الجوفية .(جدول - ٥)

الا أن الملاحظ أن كفاءة استخدام هذه المياه تكون عادة منخفضة بسبب الفاقد الكبير لجزء من هذه المياه بسبب ارتفاع نسبة التبخر واللجوء الى الطرق التقليدية في ري المزروعات مثل طريقة نشر المياه وما يصاحب هذه الطريقة من سؤ استخدام وضياع كميات كبيرة تصل احيانا الى (٥٠%) من كفاءة الري اضافة الى استخدام كميات كبيرة من المياه من قبل المزارعين أكثر مما تتطلبه محاصيلهم مما تسبب في خلق بعض المشاكل المتعلقة بملوحة التربة وزيادة كمياتمياه الصرف مما أثر على الانتاج الزراعي وتدهور الزراعة بشكل عام هو حاصل في منطقتي القطيف والاحساء بالمملكة العربية السعودية وفي ساحل الباطنة في سلطنة عمان وفي البحرين .

ومعروف أن معظم استهلاك المياه سواء الجوفية أو مياه الصرف الصحي المنقاة يذهب للزراعة وجزء قليل من المياه الجوفية مع مياه التحلية يستهلك في المنازل .. واذا ما علمنا أن هذه المياه الجوفية كلهاتقريبا مياه غير قابلة للاستعاضة ما عدا جزء بسيط يتم تغذيته لا يتعدى ٣٠% من الاستهلاك السنوي من المياه الجوفية .. سندرك بلا شك فداحة المشكلة القائمة .

جدول رقم (٥)

تطور استهلاك المياه للاغراض الزراعية (مليون متر مكعب)

الدولة	١٩٨٠م	١٩٨٥م	١٩٩٠م	٢٠٠٠م ***
الامارات العربية المتحدة	٤٥٠	٦٣٠	٨٠٠	١٢٠٠
البحرين	٧٠	٨٠	١٠٠	١٣٠
المملكة العربية السعودية	١٨٥٠	٧٤٠٠	١٤٠٠٠	٢٠٫٠٠٠
سلطنة عمان	٦٥٠	٧٥٠	٨٠٠	١٢٠٠
قطر	٧٠	٩٩	١٣٥	١٨٥
الكويت	٤٠	٦٥	٨٠	١١٠

المصدر :- معلومات متوفرة لدى الامانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية .

- بو شناق "مصدر سابق " .

* خطة التنمية الخامسة "١٤١٠ - ١٤١٥" وزارة التخطيط - المملكة العربية السعودية .

*** احصائيات تقديرية

وقد ساهمت المياه الجوفية منذ القدم (في دول المجلس) بنصيب الاسد في تأمين حاجة الزراعة وكان الاستهلاك قديما يتناسب مع ما كان متاحا وما يتم تعويضه سنويا من المياه بفضل الامطار .. الا أن الوضع خلال العقدين الماضيين قد تغير وأصبح الاستهلاك يفوق الاستعاضة مئات المرات مما ينذر بخطر كبير على ما هو متوفر من هذه المياه الجوفية . فمثلا تشير خطة التنمية الرابعة للمملكة العربية السعودية (١٤٠٥ - ١٤١٠هـ) أن حجم المخزون المائي من هذه المياه يصل الى ٥ر٣٣٧ بليون متر مكعب وأن تغذيته السنوية ٩٥٠ مليون متر مكعب بينما تشير تقديرات اخرى الى أن المخزون يصل الى ٥٠٠ بليون متر مكعب والاستعاضة تصل الى ٢٣٣٨ مليون متر مكعب وسواء صدق التقدير الأول أو الثاني فان هذه الارقام تنذر بالتفكير جديا في مستقبل المياه الجوفيه اذا ما استمر الاستهلاك كما هو قائم حاليا .. وقد ورد في نفس الخطة اشارة واضحة لذلك (الفصل الرابع ص ٩٠):-

"وقد تواجه بعض مناطق المملكة نقصا شديدا في المياه في المستقبل القريب اذا لم تتم اجراءات المحافظة على المياه للتحكم في الاستهلاك الجائر للاحتياطيات المحدودة .. "

وفي الجزء الثامن ص ١٦٩ في نفس الخطة "وأدى النمو الكبير الذي تحقق في الانتاج الزراعي والتوسع في استصلاح الاراضي الى استهلاك كبير في موارد المياه غير القابلة للتجديد في بعض المناطق ، وحيث أن معدلات استهلاك طبقات المياه في عدة مناطق وصلت الى مستويات حرجة فمن الضروري اتخاذ اجراءات فورية في هذه المناطق كمراقبة معدلات الاستهلاك وترشيدها " *

---

* خطة التنمية الرابعة (١٤٠٥ - ١٤١٠هـ) وزارة التخطيط - الرياض - المملكة العربية السعودية .

ومع أن الجهات المسئولة عن موارد المياه تقوم بمراقبة معظم الطبقات المنتجة للمياه الا أن معدل الاستهلاك لا يزال مستمرا وبنفس المستوى أو أكثر من ذلك في بعض المناطق .

اما في دولة الامارات العربية المتحدة فتشير الورقة التي قدمت لندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (الكويت ١٧-٢٠ فبراير ١٩٨٦م) الى الآتي :

"لا شك أن التوسع الزراعي الذي تشهده الدولة أثر تأثيرا مباشرا على استهلاك المياه الجوفية من حيث الكم والكيف حيث أن : -

أ - تعاني بعض المناطق من هبوط مستمر لمستوى المياه في الآبار الجوفية نتيجة للضخ المتزايد وذلك لتلبية الطلب ، بل أن بعض حقول المياه قد اغلقت تماما لجفافها .

ب - تعاني بعض المناطق الساحلية من الزيادة المستمرة في ملوحة المياه .

ج - الارتفاع الملحوظ في اختلاف نوعية المياه من جهة الملوحة مما يؤثر على التربة وانتاجها .

د - المناطق التي كانت تعتمد على مياه الافلاج تعاني من صعوبات في توفير المياه للري بسبب جفاف الافلاج نظرا لقلة الامطار وضعف التغذية الجوفية .

وفي دراسة للجنة الاقتصادية والاجتماعية للامم المتحدة لغربي آسيا عام ٨٥ ، أوضحت أن هناك استنزاف للمياه الجوفية في ثلاث من دول المجلس هي دولة الامارات العربية المتحدة والمملكة العربية السعودية ودولة قطر الا أنه يقل درجة في كل من دولة البحرين وسلطنة عمان (جدول - ٦) .

جدول (٦)

درجة تدهور المياه الجوفية بدول مجلس التعاون

الدولة	ضعف المصادر	فرط الضخ	تداخل مياه البحر
الامارات العربية المتحدة	++	++++	++++
البحرين	+++	+++	++
المملكة العربية السعودية	++++	++++	+++
سلطنة عمان	+++	+++	+++
قطر	++++	++++	+++
الكويت	++	++	++

رموز الدرجة : ++++ ذات معنى + مستوى طفيف

المصدر : تقرير قدرات بلدان غربي آسيا على حماية البيئة ، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا للامم المتحدة ، نوفمبر ١٩٨٥م .

وما ينطبق على دولة الامارات العربية المتحدة نجده أيضا في دولة البحرين ودولة قطر الا أن هذا الاهتمام باوضاع المياه الجوفية لم يرق الى مستوى المواطن فمع ادراك المسئولين لهذه المشكلة وتدني مستويات الانتاج الا أن هذا مع الأسف لا يصل الى المستهلك نفسه ولا شك أن هناك قصور اعلامي في هذه الناحية يتحمل كثير من المسئولين جزء كبير منه .

ثالثا : الأمن المائي والاحتياجات المستقبلية من المياه : -

يستدل من معدلات النمو الحالية للسكان في دول مجلس التعاون أن هناك استمرار في ارتفاع معدلات الاستهلاك يصاحبها التطور الكبير في انشاء المباني والمصانع والمزارع العامة والخاصة ، ومع أن هناك مشاريع جديدة للمياه يتم انشاؤها سنويا لمقابلة هذا التزايد في الاستهلاك الا أن الاستهلاك سيستمر في تصاعد كبير .

وتشير المعلومات المتوفرة لدى الامانة العامة لمجلس التعاون بأن معدلات النمو السكاني في دول المجلس تتراوح بين ١ر٨ - ٥ر٤% سنويا وتعتبر هذه معدلات مرتفعة نسبيا (جدول - ٧) الا أن ما يقابلها من معدلات الزيادة في استهلاك المياه اصبحت في ازدياد متواصل بسبب الاسراف في الاستهلاك .. اصبح بسببها المخططون والمنفذون للمشاريع التنموية في هذه الدول يلاقون مشاكل كبيرة في التغلب على الطلبات وسد حاجتها .

ورغم وقوع هذه الدول ضمن أكبر مناطق العالم جفافا وقلة في سقوط الامطار .. الا أن معدلات الاستهلاك أصبحت لا تتناسب مع ما هو متاح من المياه سواء كانت جوفية أو محلاة أو منقاة .. فالمواطن تعود على نمط من العيش والحياة الرغدة بحيث أصبح لا يعطي أي انتباه الى ما يستهلكه من هذه المياه ..

وعلى افتراض أن معدل الاستهلاك حاليا في الدول الست يصل الى ٣٠٠ لتر / اليوم للفرد بالنسبة لمياه الشرب وهو ما تشير اليه بعض الاحصائيات الغير مكتملة ، ومقارنة ذلك بعدد السكان التقريبي فان الاستهلاك اليومي في هذه الدول يصل الى أكثر من خمسة ملايين متر مكعب هذا عدا استهلاك الصناعة والزراعة التي تم تقديرها بمعدل ٧٥% وقد تفوق هذا المعدل أحيانا .

ونسبة لأهمية هذا الموضوع فان الامر يستدعي اعداد استراتيجية اقليمية للمياه لدول المجلس لمواجهة احتياجات المستقبل يرافق هذه الاستراتيجية خطة متكاملة للطوارىء تضع في الحسبان تأمين الاحتياجات

جدول رقم (٧)
سكان دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية
للفترة ١٩٨٥م - ١٩٨٩م
(ألف نسمة)

الدولة	١٩٨٥	١٩٨٦	١٩٨٧	١٩٨٨	١٩٨٩
الامارات العربية المتحدة	١ر٣٠٤	١ر٣٠٤	١ر٣٠٤	١ر٦٤٠	١ر٧٣٩
البحرين *	٤٠٠	٤١٢	٤٥٧	٤٧٣	٤٨٩
المملكة العربية السعودية *	١٢ر٨٤٦	١٣ر٢٢١	١٣ر٦١٢	١٤ر٠١٦	١٤ر٤٣٥
سلطنة عمان	٢ر٠٥٢	٢ر١١٣	٢ر١٧٧	٢ر٢٤٢	٢ر٣١٠
قطر	٣٤٣	٣٦٩	٣٨٥	٤٠٢	٤١٩
الكويت *	١ر٧١٢	١ر٧٩٠	١ر٨٧٢	١ر٩٥٨	٢ر٠٤٨
المجموع	١٨ر٦٥٩	١٩ر٢٠٩	١٩ر٨٠٧	٢٠ر٧٣١	٢١ر٤٤٠

المصدر :
* - تقديرات مباشرة من الدول "معلومات متوفرة لدى الامانة العامة لمجلس التعاون"
- المجموعة الاحصائية العربية الموحدة - العدد الثاني ، اللجنة الاقتصادية والاجتماعية للامم المتحدة لغربي آسيا ، أبريل ١٩٨٩م .

الرئيسية لأية دولة من هذه الدول من المياه في مثل هذه الحالات .. نأمل من المسئولين عن مرافق المياه في الدول الاعضاء اعطاء هذا الاقتراح حقه من الدراسة وتنفيذه في أقرب وقت ممكن ، خاصة وأن هناك العديد من مراكز البحوث في عدد من دول المجلس يمكنها المشاركة في اعداد مثل هذه الاستراتيجية علاوة على تشابه مصادر المياه بهذه الدول ، وامكانية التنسيق بين تلك المراكز .

أما بالنسبة للاحتياجات المستقبلية فيمكن تقسيمها الى ثلاثة أنواع : -

أ - احتياجات مياه الشرب والاغراض المنزلية .

ب - احتياجات الصناعة .

ج - احتياجات الزراعة .

أ - احتياجات مياه الشرب والاغراض المنزلية : -

سيكون الاعتماد بالنسبة لهذا النوع من المياه منصبا على المياه الجوفية ومياه التحلية ويشمل استهلاك الفرد بالنسبة لمياه الشرب والاغراض المنزلية الاخرى ..

وقد اخذ في الاعتبار عند تقدير هذه الاحتياجات المستقبلية تطور السكان في الدول الست وارتفاع مستوى المعيشة والامكانات المتوفرة وما سيمكن توفيره من مشاريع مستقبلية متعلقة بمياه تحلية المياه المالحة والتي ستشكل مستقبلا النسبة الرئيسية لهذه المياه في معظم دول المجلس ٪ (جدول - ٤) .

ب - احتياجات الصناعة : -

تختلف احتياجات الصناعة من المياه اختلافا كبيرا تبعا لنوعية الصناعة ومنها ما تصل احتياجاتها الى النصف مليون جالون لكل طن انتاج . ففي حين تحتاج بعض الصناعات الى مياه للتبريد هناك صناعات تحتاج الى مياه لعمليات الانتاج نفسها وتدخل ضمنه الا ان المياه

الاولى اكثر استهلاكا كما هو الحال في الصناعات البتروكيماوية مثل انتاج الخيوط السيلولوزية وغير السيلولوزية .

ونسبة للتوسع الكبير الذي تشهده معظم دول المجلس في المجال الصناعي وما تحتاجه العديد من الصناعات وخاصة الكبيرة منها من كميات كبيرة فان الطلب على هذه المياه أصبح في ازدياد مستمر ، وقد اتجهت بعض دول المجلس مؤخرا الى استخدام مياه الصرف الصحي - بعد اعادة تنقيتها - في هذا المجال مثل المملكة العربية السعودية والكويت وقطر . الا أنه من المؤسف أنه ليس هناك احصائيات دقيقة متوفرة لاستخدام هذه المياه في الصناعة في دول المجلس .

ج - احتياجات الزراعة من المياه :

تشكل احتياجات هذا القطاع النسبة الرئيسية من احتياجات المياه بجميع دول المجلس وأن كانت تختلف من دولة لاخرى نسبة لتوفر المساحات القابلة للزراعة والمياه الصالحة للري - كما أن الاتجاه الذي تبنته بعض الدول لتوسيع الرقعة الزراعية وادخال بعض المحاصيل الاستراتيجية وانتاجها بكميات تفوق احتياجاتها الفعلية قد ضاعف من استهلاك المياه الجوفية ، مما ادى الى انخفاض مستوياتها والاتجاه لنضوبها . (جدول - ٨) .

ولهذا يجب اعطاء هذا الجانب من احتياجات المياه جل الاهتمام لتحقيق نوع من التوازن بين ما هو متاح والطلب المتزايد على هذه المياه .. وسيكون للاعلام دور كبير في هذا الشأن بالنسبة لتوجيه المسئولين عن قطاع المياه للحد من استخدام هذه المياه والاتجاه لمشاريع أكثر اقتصادا في استعمال المياه وكذلك توجيه المزارعين الى الطرق الحديثة للري مثل طريقة الري المحوري والري بالرش أو بطريقة التنقيط والتي بدأ في استخدامها في بعض دول المجلس مثل المملكة العربية السعودية ودولة الامارات العربية المتحدة وعدم الاسراف في استخدام المياه بطريقة الري العادية والتركيز بأن تكون في حدود

جدول رقم (٨)

كميات المياه اللازمة للزراعة

متر مكعب / هكتار / للموسم

المحصول	الشعير	القمح	الذرة	كمية الاملاح الموجودة في المياه (جزء في المليون)
طريقة الري				
سطحي	٨٨٠٠	٩٣٠٠	١٥٤٠٠	٥٠٠
رش	٧٠٠٠	٧٦٠٠	١٢٠٠	
سطحي	٩٢٠٠	١٠٢٠٠	١٦٧٠٠	١٠٠٠
رش	٧٢٠٠	٨٢٠٠	١٢٣٠٠	
سطحي	٩٤٠٠	١٠٦٠٠	١٩٢٠٠	١٥٠٠
رش	٧٣٠٠	٨٥٠٠	١٢٦٠٠	
سطحي	٩٦٠٠	١٠٩٠٠	٢٣٨٠٠	٢٠٠٠
رش	٧٤٠٠	٨٦٠٠	١٣٠٠٠	
سطحي	٩٩٠٠	١١٣٠٠	٢٦٦٠٠	٢٥٠٠
رش	٧٦٠٠	٩٠٠٠	١٣٦٠٠	

- وهذه البيانات مأخوذة من متوسط الاستهلاك في عدد من الاماكن التي تمت زراعة هذه المحاصيل فيها في المملكة العربية السعودية والتي توضح الكميات الهائلة من المياه التي يتم استهلاكها سنويا اذا ما نسبت الى المساحات التي تزرع في كل موسم علما بأن استهلاك الاعلاف اكثر من استهلاك الثلاث المحاصيل المشار اليها في البيانات السابقة

المقننات المائية المعروفة وأن تكون أوقات الري في الصباح الباكر أو في ساعات متأخرة من النهار أو في الليل وذلك لتقليل الفاقد من هذه المياه بقدر الامكان .

تكلفة انتاج المياه

تختلف تكلفة انتاج المياه بصفة عامة في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية اختلافا كبيرا نظرا لاعتماد هذه الدول على عدد من المصادر يختلف من دولة لأخرى ، فبينما نجد أن دولة البحرين تعتمد على ثلاثة مصادر رئيسية في تأمين مياه الشرب تشمل تحلية المياه المالحة بطريقة التبخير الوميضي المتعدد المراحل وطريقة التناضح العكسي للمياه مرتفعة الملوحة والمصدر الثالث هو ابار المياه الجوفية .. ومثلها دولة الكويت .. الا أن المملكة العربية السعودية تعتمد اعتمادا كبيرا على المياه الجوفية لمعظم المدن والقرى ما عدا المدن الرئيسية التي أصبحت تعتمد كثيرا على مياه تحلية المياه المالحة بطريقة التبخير الوميضي وكذلك التناضح العكس جزئيا . وقد اتضح في دراسة تجريها الامانة العامة لمجلس التعاون حول الحوافز التي تمنحها دول المجلس لمشاريعها الصناعية والزراعية .. أتضح ان الحصول على معلومات دقيقة في هذا المجال ليست بالأمر اليسير نظرا للتباين الحاصل في عدد الجهات التي تنفذ المشاريع وتعددها واختلاف الوقود المستخدم وتباين اسعاره بين دولة واخرى ، فبينما تتوفر معلومات عن تكلفة الانتاج نجد أن المعلومات الخاصة بامدادات المياه غير متوفرة أو عند توفرها نجد انها غير مستوفية . وقد يكون أحد اسباب ذلك تعدد الادارات والجهات المسؤولة عن تنفيذ المشاريع الخاصة بامدادات المياه بسبب بعدها عن الادارة المركزية لادارة المياه حيث ينعدم التنسيق بين تلك الادارات المتعددة .

رابعا : الوضع الاداري لادارات ومؤسسات المياه :

تتتبع معظم دول المجلس نظام اللامركزية في الادارات والمؤسسات المسئولة عن المياه وهذا النظام علاوة على ما يسببه من تظخم في ميزانية الدولة نظرا لتعدد الجهات والدوائر المسئولة عن المياه .. فانه يسبب تداخلا غريبا في اتخاذ القرارات بالنسبة لتشغيل المنشاءات وتوزيع المياه علاوة على الاختلاف والتباين الحاصل في تصميم وتنفيذ المشاريع الخاصة بالمياه وخاصة بالنسبة لشبكات المياه وايصال المياه الى المستهلكين .

ومع أن معظم دول المجلس قامت بانشاء مجالس عليا للاشراف على السياسات المائية في الدولة الا أن تعدد الجهات والادارات المسئولة عن التنفيذ يسبب ازعاجا كبيرا للمواطنين أنفسهم لكثرة الجهات وتعدد مسئولياتها وضرورة مراجعة العديد منها وخاصة عندما يتطلب الأمر ايصال المياه لمنزل أو ما شابهه والحل الأمثل في رأيي هو تجميع تلك الجهات المتعددة في مؤسسة أو وزارة واحدة مستقلة تكون مسئوليتها الرئيسية هي المياه ولا شيء غير المياه سواء بالنسبة للتخطيط والتصميم أو التنفيذ والتشغيل والصيانة والمحافظة على تلك المصادر وتنظيم استعمالها والمحافظة عليها .

ويحسن بنا في هذه العجالة أن نتطرق الى بعض الجهات الرئيسية المسئولة عن المياه في دول المجلس لنرى التباين المذهل حتى بين الدولة نفسها في توزيع هذه المسئوليات بدلا من ضمها في جهة واحدة .

أ - دولة الامارات العربية المتحدة :

هناك أكثر من وزارة انيط بها مسئولية المياه فيها كوزارة الكهرباء والماء ووزارة الزراعة والثروة السمكية اضافة الى الهيئة العامة لموارد المياه والدوائر المحلية للمياه ونورد هنا أهم اختصاصات كل جهة من هذه الجهات الرئيسية الثلاث :

ـ **الهيئة العامة لموارد المياه :** صدر القانون الاتحادي رقم ٢١ لعام ١٩٨١م في نوفمبر ١٩٨١م يقضي بانشاء الهيئة العامة لموارد المياه في دولة الامارات العربية المتحدة وهي هيئة مرتبطة مباشرة برئيس مجلس الوزراء ولها شخصيتها الاعتبارية الخاصة ومقرها ابو ظبي ومن ضمن مهامها الأتي : ـ

١ ـ جمع المعلومات المتعلقة بموارد المياه وتنسيقها وتصنيفها واجراء الدراسات والبحوث المتصلة بها والمتعلقة بالاحتياجات المائية او لاستنباط الوسائل والحلول لتطوير هذه الموارد أو العمل على اقامة مخزون متوازن لمواجهة متطلبات التنمية الاقتصادية والاجتماعية في الدولة .

٢ ـ وضع سياسة شاملة لموارد المياه على ضؤ المعلومات التي تتوفر لها ونتائج البحوث والدراسات .

٣ ـ اعداد خطة رئيسية متكاملة لموارد المياه واستخداماتها واعادة تقييمها في ضؤ نتائج تطبيق تلك الخطة .

٤ ـ التنسيق بين مشروعات المياه واستخداماتها من قبل جميع القطاعات وانشاء مشروعات نموذجية او تجريبية حول انتاج المياه واستغلالها والمحافظة عليها .

٥ ـ الهيمنة على ادارة موارد المياه من خلال التراخيص وحقوق الامتياز التي تمنحها للغير وللهيئة ان تحتفظ لديها بسجل تثبت فيه جميع الحقوق حول هذه الموارد وخاصة ما يتعلق بضمان حماية حقول المياه من الاستغلال المفرط ومن المخاطر التي تهدد بتلويثها .

٦ ـ ابداء المشورة وتقديم العون التي يطلبها مجلس الوزراء أو أية جهة حكومية فيما يتعلق بموارد المياه .

٧ - اقتراح التدابير والاجراءات التي تكفل وضع سياسة موحدة لقياس المياه والعمل على توحيد اسعارهاأو الرسوم المتعلقة بأي نشاط يتصل باستعمالها .

٨ - انشاء بنك للمعلومات الخاصة بموارد المياه واستخداماتها ونشر هذه المعلومات وتوزيعها بالطرق المناسبة .

٩ - البحث عن موارد بديلة أو تكميلية للموارد الاخرى التي تثبت نضوبها أو ضاءلة مخزونها .

١٠- اتخاذ التدابير التي تكفل تقييم حقوق الاستخدام القائمة لموارد المياه .

- وزارة الكهرباء الماء :

وهي وزارة اتحادية تم انشاؤها ضمن الاجهزة الادارية التابعة لدولة الامارات العربية المتحدة ويقع ضمن مهامها توفير مياه الشرب والاغراض المنزلية سواء من المياه الجوفية أو من مياه التحلية ويشمل ذلك نقلها وتوزيعها وصيانة المرافق التابعة لها وتعتبر المياه الجوفية هي المصدر الرئيسي لمياه الشرب في معظم الامارات ما عدا ابو ظبي ودبي والشارقة ورأس الخيمة التي يوجد بها المحطات الرئيسية لتحلية المياه المالحة .

وهناك دوائر محلية للمياه متعددة تتبع كل امارة من الامارات السبع مستقلة بذاتها مثل دائرة المياه والكهرباء بابو ظبي ودائرة المياه بدبي ... الخ ويقع ضمن اختصاصاتها توزيع المياه في كل امارة على حدة فيما يتعلق بمياه الشرب .

ـ وزارة الزراعة والثروة السمكية :

وهي وزارة اتحادية أيضا مقرها الرئيسي مدينة دبي تعني ضمن مسئولياتها المتعددة بمصادر المياه الخاصة بالزراعة وتوفير مياه الري اللازمة بما في ذلك اعداد الدراسات والمسوحات اللازمة وحفر الآبار ومراقبة المخزون المائي الجوفي وتشمل اختصاصاتها بالنسبة للمياه ما يلي :ـ

١ ـ العمل على مسح مصادر المياه وتنميتها وتطويرها .
٢ ـ مراقبة المياه الجوفية عن طريق محطات المراقبة وجمع المعلومات المتعلقة بتطويرها .
٣ ـ اصدار التراخيص الخاصة بحفر الآبار في المزارع وتقرير الطرق التي يتم الحفر فيها والاشراف على عمليات الحفر بالتنسيق مع كافة الجهات الاخرى المعنية وتحليل عينات المياه .
٤ ـ تنظيم وبرمجة المعلومات المتعلقة بالمياه الجوفية والسطحية .
٥ ـ صيانة السدود ومراقبة تخزين المياه واجراء المسوحات الخاصة بانشاء السدود .
٦ ـ القيام بالابحاث المتعلقة بالري وتصميم شبكات الري الحديثة وتدريب المزارعين على استخدامها وصيانتها .

٢ ـ دولة البحرين :

ويوجد في البحرين أيضا وزارتان مستقلتان تشرفان على أوضاع المياه هما وزارة الاشغال والكهرباء والماء ووزارة التجارة والزراعة اضافة الى المجلس الاعلى للموارد المائية ويمكن ايجاز اختصاصات كل جهة كالآتي :ـ

ـ مجلس الموارد المائية : صدر مرسوم أميري بالقانون رقم ٧ لعام ١٩٨٢م في ١ مارس ١٩٨٢م يقضي بانشاء هذا المجلس برئاسة رئيس مجلس الوزراء البحريني وتشمل مهام مجلس الموارد المائية ما يلي :ـ

١ - رسم السياسة المائية للبلاد على ضؤ نتائج الدراسات والمسوحات المائيـــة .
٢ - حماية وتنمية الموارد المائية بما يكفل استمرارها وكفاءتها.
٣ - العمل على اتخاذ الاجراءات الكفيلة بحسن استغلال المياه لمختلف الاغراض الزراعية والصناعية .
٤ - تنسيق العمل مع الجهات ذات العلاقة باستغلال وضبط جهود الاستغلال بحيث تكمل بعضها .
٥ - النظر في المسائل التي قد تنشأ من جراء تطبيق السياسة المائية .
٦ - تنظيم حفر الآبار والاخطار عنها وغير ذلك من المسائل المتعلقة بالآبار ويشمل ذلك منع حفر الآبار في طبقات معينة أو مناطق معينة على أن يصدر بالتنظيم قرار من وزير التجارة والزراعة.
٧ - مباشرة الاختصاصات في المسائل المنصوص عليها في المواد ٥، ٧، ١٢، ١٧ من المرسوم بقانون رقم ١٢ سنة ١٩٨٠م بشأن تنظيم استعمال المياه الجوفية على أن يصدر بما يبت فيه المجلس من مسائل قرار من وزير التجارة والزراعة .

ـ وزارة الاشغال والكهرباء والماء :

وهي الجهة المسئولة عن تصميم وتنفيذ وتشغيل وصيانة جميع مرافق المياه وخاصة ما يتعلق بتحلية المياه المالحة ويوجد بهذه الوزارة العديد من الادارات المتخصصة منها على سبيل المثال ادارة اسالة المياه التي تقوم بمهام عدة تشمل ادارة وتشغيل محطات الضخ والتوزيع لامداد جميع المناطق الريفية والحضرية بالبحرين .

أما ادارة الطرق والمجاري بنفس الوزارة فتتولى مهمة ادارة وتشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي بتوبلي .. في حين تتولى مسئولية تنظيم استغلال هذه المياه بعد تنقيتها ادارة اخرى بوزارة التجارة والزراعة .

وتشمل مهام الوزارة أيضا مسئولية انشاء محطات التحلية وخزانات المياه ومحطات الخلط والضخ وشبكات المياه وتشغيلها وصيانتها .

ـ وزارة التجارة والزراعة :

وتقوم ادارة مصادر المياه بهذه الوزارة بمهام تنمية وادارة والمحافظة على وتنظيم استغلال المياه الجوفية ويشمل ذلك اجراء الدراسات والبحوث المتعلقة بهذه المياه وتنظيم عمليات حفر الآبار واعداد المواصفات الخاصة بذلك .

كما تقوم ادارة المشاريع بمهام تنظيم واستغلال مياه الصرف الصحي بعد معالجتها وتحديد الحصص الخاصة بتوزيعها على المستفيدين من هذه المياه (أمان ١٩٨٩م) .

٣ ـ المملكة العربية السعودية :

تتعدد الجهات المسئولة عن المياه بالمملكة العربية السعودية فهنساك وزارة التخطيط ووزارة الزراعة والمياه ووزارة الشئون البلدية والقروية ومصالح المياه في المناطق المتعددة من المملكة والمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة ويمكن ايجاز اختصاصات هذه الوزارات والمؤسسات في الآتي : ـ

ـ وزارة التخطيط :

وتشمل اختصاصاتها اعداد خطط التنمية الخمسية للدولة بما فيها ايجاد التوازن الفني في جميع قطاعات التنمية الاقتصادية والاجتماعية والتنظيمية وقد تم اعداد خمس خطط تنموية للمملكة منذ الخطة الاولى ١٣٩٠هـ ـ ١٣٩٥هـ وحتى الخطة الخامسة (١٤١٠ ـ ١٤١٥) وسبق لهذه الوزارة أن نظمت ندوة لتنمية مصادر المياه واستعمالاتها في المملكة خلال الفترة ١٣ـ١٥ جمادي الاولى ١٤٠٢هـ .

ـ وزارة الزراعة والمياه :

وهي الوزارة المعنية باعداد الدراسات والمسوحات والتنقيب عن كافة مصادر المياه الجوفية بالمملكة واصدار رخص حفر الآبار واعداد التصاميم والاشراف على الحفر واعداد مواصفات وتنفيذ مشاريع ايصال المياه من مصادرها الرئيسية سواء كانت مياه جوفيه أو مياه تحلية أو

مياه صرف صحي الى المستهلك النهائي ويشمل ذلك حفر الآبار وتركيب الانابيب واقامة الخزانات اللازمة للتجميع والتوزيع وتنفيذ شبكات المياه بالمدن والقرى وايصالها للمنازل واقامة بعض محطات التنقية الاولية في بعض المدن كما تضطلع هذه الوزارة بدراسة وتصميم وتنفيذ السدود بجميع انواعها واستخدام المياه السطحية الناتجة عن الامطار سواء في تغذية المياه الجوفية أو استعمالها كرافد لمياه الشرب كما هو الحال في مدينة ابها وبعض القرى في عسير حيث تستخدم المياه المحجوزة في بحيرة سد أبها لاغراض مياه الشرب بعد اجراء بعض اعمال التنقية والتعقيم عليها . وقد انيط بهذه الوزارة اعداد خطة وطنية للمياه تشمل حصر المياه بجميع مصادرها الحالية والمتوقعة والطلب على هذه المياه حاضرا ومستقبلا ووضع السياسات والانظمة اللازمة .

كما صدر مرسوم ملكي برقم م/٣٤ في ١٤٠٠/٨/٢٤هـ لنظام خاص بالمحافظة على مصادر المياه في المملكة ولائحته التنظيمية من اعداد وزارة الزراعة والمياه .. ينظم كيفية التعامل مع مصادر المياه والحد من استغلالها وحمايتها من الاسراف والتبذير في استعمالها .

ويشمل مجمل عملها أيضا توزيع مياه الصرف الصحي بعد تنقيتها من حيث اقامة الشبكات اللازمة والتوزيع على المزارعين ومراقبة الاستهلاك .

— <u>وزارة الشئون البلدية والقروية ومصالح المياه</u> :

تقوم هذه الوزارة أيضا بتشغيل مشاريع امدادات المياه لبعض المدن والقرى بعد استلامها من وزارة الزراعة والمياه ويشمل ذلك تكملة بعض المشاريع أو انشاء وحدات جديدة لبعض الاحياء الجديدة بالمدن أو اضافة شبكات جديدة .

ويقع ضمن اختصاصاتها ما يتعلق بالتشغيل والصيانة لمشاريع المياه التي تتسلمها مصالح المياه من وزارة الزراعة والمياه وهي مؤسسات حكومية تضطلع بعمليات التشغيل وصيانة مشاريع المياه .. تقوم كل مصلحة - وهي موجودة عادة في المدن الرئيسية ولها فروع بالمدن

الصغيرة وبعض القرى - بتشغيل كامل مشاريع المياه في المدن من استخراج المياه والاشراف على توزيعها بعد خلطها بمياه التحلية في المدن التي تصلها هذه المياه وايصالها للمستهلك .. وصيانة شبكات المياه ومحطات التنقية والضخ وغيرها .

كما تتولى مصالح المياه عمليات ايصال المنازل بشبكة الصرف الصحي في المدن والقرى والاشراف على هذه الشبكة بما في ذلك محطات تنقية مياه الصرف الصحي وتصميم تلك المحطات وتنفيذها وتشغيلها وصيانتها .

ويشمل عمل مصالح المياه (احيانا) ايصال شبكات المياه لبعض المنازل في الاحياء الجديدة التي لم تشملها الشبكة عند تنفيذها في بداية المشروع كما تقوم هذه المصالح باستيفاء جميع الرسوم المستحقة على المستهلكين سواء لايصال منازلهم بشبكة المياه أو تلك الرسوم الخاصة بالاستهلاك الشهري للمياه والخارج من المنازل كمياه صرف صحي .

اما البلديات فيدخل ضمن مسؤلياتها تصميم وتنفيذ وتشغيل وصيانة محطات الصرف الصحي وانشاء مشاريع تصريف مياه الامطار ودرء اخطار السيول في المدن والقرى .

- <u>المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة</u> :

وهي مؤسسة حكومية مستقلة بذاتها يقوم على رئاسة مجلس ادارتها وزير الزراعة والمياه وتشمل مهامها اقامة محطات التحلية بجميع انواعها وادارة وتشغيل هذه المحطات وتنفيذ انابيب ومحطات الضخ اللازمة لايصال تلك المياه الى المدن والقرى التي تغذى جزئيا بهذه المياه ومركزها الرئيسي مدينة الرياض ولها فروع بكل من مدينة جدة والخبر والجبيل .

وهناك بعض الجهات الاخرى ذات العلاقة مثل هيئة الري والصرف بالاحساء ومدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وشركة الزيت العربية السعودية وبعض الوزارات الاخرى التي لها بعض الاهتمام بالمياه .

٤ - سلطنة عمـــان :

ويوجد بها ثلاث وزارات مسئولة عن المياه اضافة الى مجلس مصادر الثروة المائية وتتوزع مسؤلياتها كالآتـــي : -

مجلس مصادر الثروة المائية : وقد صدر بانشائه مرسوم سلطاني برقم ٧٥/٤٥ في ١٩٨٥/٩/٨م وقبله صدر مرسوم آخر برقم ٧٩/٦٣ في ١٩٧٩/١٢/٤م بانشاء الهيئة العامة لمصادر المياه .

ويعتبر مجلس مصادر الثروة المائية الذي يرأسه جلالة السلطان قابوس هو السلطة العليا لرسم الخطة القومية لتنمية موارد المياه في السلطنة والحفاظ عليها واقرار كافة الخطط والمشروعات التي تتقدم بها الجهات المختصة بالنسبة للمياه قبل البدء في تنفيذها وتشمل اختصاصات المجلس ما يلي : -

١ - تحديد الاهداف واعداد سياسة لتنمية موارد المياه وتقديم المقترحات اللازمة لوضع خطة مياه طويلة الاجل متفقة مع خطط التنمية الاقتصادية في البلاد ورفع تلك الخطة لمجلس التنمية للموافقة عليها .

٢ - اعداد ومناقشة الميزانية السنوية لتنمية موارد المياه وتقديمها الى مجلس التنمية لاحالتها بعد الموافقة عليها الى مجلس الشئون المالية لتنسيقها مع الموازنات الوزارية الاخرى .

٣ - تقديم التوصيات لمجلس التنمية حول الاولوية بين طلبات الدراسات الاستشارية التي تقدم اليه من الوزارات والدوائر الحكومية .

٤ - تقييم اولويات مشروعات تنمية المياه التي تقدم اليه من الوزارات والدوائر الحكومية وتقديم التوصيات بشأنها لمجلس التنمية .

٥ - تنسيق انشطة اجهزة الوزارات والدوائر الحكومية فيما يتعلق بتنفيذ خطة المياه .

٦ - طلب وتلقي تقارير المتابعة والتقارير النهائية المتعلقة بتنفيذ المشروعات والدراسات الاستشارية من الوزارات والدوائر الحكومية .
٧ - التقدم الى مجس التنمية بدراسات استشارية مقترحة في شأن المشروعات والبرامج ذات الاهمية المشتركة بين اكثر من وزارة او دائرة حكومية للموافقة عليها .
٨ - تقديم تقرير سنوي عن متابعة تنفيذ خطة المياه لمجلس التنمية .
٩ - تقديم الخدمات الاستشارية لمجلس التنمية في كل ما يتعلق بمصادر المياه في السلطنة .
١٠- اصدار اللوائح والنظم المتعلقة بتنمية موارد المياه والمحافظة عليها .
١١- اي موضوعات اخرى يحيلها صاحب الجلالة السلطان المعظم أو مجلس التنمية الى مجلس موارد المياه .

- وزارة الكهرباء والماء :

وتتشابه في مهامها مع وزارة الاشغال والكهرباء والماء في دولة البحرين ووزارة الكهرباء والماء في دولة الامارات العربية المتحدة .

- وزارة موارد المياه :

ويتضمن اختصاصها الآتي : -
١ - اعداد الخطة الوطنية لتنمية موارد المياه والحفاظ عليها بالتعاون مع الوزارات والوحدات الحكومية وتنفيذ تلك الخطة بعد اعتمادها.
٢ - اعداد مسودات القوانين واللوائح والانظمة المتعلقة بكل الامور الخاصة بتنمية موارد المياه والحفاظ عليا واصدار اللوائح والانظمة بعد اعتمادها من مجلس مصادر المياه .
٣ - اجراء البحوث والدراسات والمسوحات التي تهدف الى استكشاف المزيد من موارد المياه وايجاد الاساليب الكفيلة بالحفاظ على موارد المياه المتاحة .

٤ - تقدير الميزان المائي وتوافر المياه في مختلف مناطق السلطنة من أجل اغراض التنمية المختلفة .

٥ - اصدار التصاريح الخاصة بحفر آبار المياه أو استكشافها لاجل استخدام المياه من أي مصدر مع مراعاة اللوائح المعمول بها .

٦ - معاينة ومراقبة جميع آبار المياه والتأكد من تقيدها بالشروط الواردة في التصريح .

٧ - اجراء معاينات الاراضي الزراعية الجديدة للتأكد من توافر المياه اللازمة لها ومدى صلاحيتها .

٨ - جمع عينات من مياه الآبار والافلاج بغرض تحليلها من اجل تحديد درجات ملوحتها ووسائل علاجها ومدى صلاحيتها للاستخدامات المختلفة .

٩ - جمع البيانات والمعلومات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية المتعلقة بموارد المياه الجوفية والسطحية والينابيع وتقييم هذه الموارد وتوفير ما تحتاجه من اجهزة ومعدات .

١٠ - انشاء مركز للمعلومات والبيانات الخاصة بموارد المياه بهدف تطويرها واستخدامها الاستخدام الامثل .

١١ - العمل على تأهيل وتدريب الموظفين العمانيين في مجال تنمية موارد المياه .

١٢ - القيام ببرامج للتوعية العامة تبرز أهمية موارد المياه وضرورة التعاون من أجل الحفاظ عليها والتحكم في استخدام المياه بالتنسيق مع الجهات الاخرى .

— <u>وزارة الزراعة والاسماك :</u>

وتنحصر اختصاصاتها بالنسبة للمياه في جميع ما يتعلق بمياه الري وتقدير احتياجات المزارع منها وادخال الطرق الحديثة في الري ، كما تشمل انشاء السدود واعداد الدراسات الخاصة بها ومراقبة المياه بهذه السدود بهدف الاستفادة منها في الري أو تغذية المخزون الجوفي .

٥ - دولة قطـــــر :

ويوجد بها وزارة للكهرباء والماء مسئولة عن توفير مياه الشرب وايصالها للمستهلك بما في ذلك مياه التحلية التي تنتج من محطتي رأس أبو عبود ورأس ابو فنطاس وكذلك مياه المزج المستخرجة من المياه الجوفية ويشمل ذلك جميع ما يتعلق بالتشغيل والصيانة وتنفيذ الشبكات ومحطات الضخ وغيرها من المرافق المتعلقة بايصال المياه الى المستهلكين .

وهناك وزارة شئون البلديات والزراعة وهي مسئولة عن تأمين مياه الري للزراعة واعطاء رخص الحفر للمزارعين ومراقبة المخزون المائي الجوفي بما في ذلك اقامة محطات الرصد المائي والمناخي الزراعي وآبار المراقبة وما تحتاجه من اجهزة ومعدات .

٦ - دولة الكويـــــت :

- وزارة الكهرباء والماء :

نص المرسوم الصادر بانشاء هذه الوزارة بأن تتولى توفير الطاقة الكهربائية والمياه ونقلها وتوزيعها للاغراض الانتاجية والاستهلاكية والعمل على تطويرها بما يتمشى مع احتياجات البلاد وتشمل اختصاصاتها فيما يتعلق بالمياه ما يلي : -

- انشاء وادارة وتشغيل منشاءات توفير المياه بما فيها محطات التحلية وتشغيلها وصيانتها .
- اعمال التنقيب والحفر وانتاج المياه الجوفية .
- اجراء البحوث الهندسية والفنية والتطبيقية المتعلقة بالكهرباء والماء .
- انشاء وادارة وتشغيل وصيانة منشاءات خلط وضخ وتخزين وتوزيع مياه الشرب .
- تحصيل العائدات الناتجة عن تركيب الاجهزة باستهلاك المياه نفسها .
- الاشراف على حفر الآبار بما في ذلك وضع مواصفات الحفر .

— الهيئة العامة لشئون الزراعة والثروة السمكية :

ينص المرسوم الخاص بانشاء هذه الهيئة بانه ضمن مسئوليتها "الاشراف على استعمالات الاراضي والمياه للاغراض الزراعية والسمكية بما يكفل حسن استغلالها والمحافظة عليها" وهو المرسوم رقم ٩٤ لسنة ١٩٨٣م .

— معهد الكويت للابحاث المائية :

تم انشاء هذا المعهد عام ١٩٨١م .. وقد نص مرسوم انشائه على أن يقوم بدراسة موارد الثروة الطبيعية والكشف عنها وسبل استغلالها ومصادر المياه والطاقة وتحسين طرق الاستغلال الزراعي وتنمية الثروة المائية وذلك بالتعاون والتنسيق مع الجهات المختصة بدراسة مصادر الثروة المائية وتنميتها (العوضي ١٩٨٧م) .

وهناك وزارات ومؤسسات اخرى لها علاقة بالمياه بدولة الكويت منها وزارة الاشغال العامة ووزارة التخطيط والهيئة العامة لادارة منطقة الشعيبة الصناعية ومجلس حماية البيئة وغيرها .

خامسا : التعاون الاقليمي بين دول المجلس في مجال المياه :

تعتبر الثروة المائية من أهم المواضيع التي توليها دول المجلس اهتماما خاصا ، وقد نص النظام الاساسي للمجلس في مادته الرابعة على ذلك حيث ورد في الفقرة الرابعة منه ما يلي : -

"دفع عجلة التقدم العلمي والتقني في مجالات الصناعة والتعدين والزراعة والثروات المائية والحيوانية وانشاء مراكز بحوث علمية واقامة مشاريع مشتركة وتشجيع تعاون القطاع الخاص بما يعود بالخير على شعوبها" .

كما تشير الاتفاقية الاقتصادية الموحدة بين دول المجلس والتي بدء في تطبيقها في مارس ١٩٨٣م - في مادتها العاشرة بأن "تعمل الدول الاعضاء على تحقيق التنسيق والتجانس بين خططها الانمائية بهدف الوصول الى التكامل الاقتصادي فيما بينها" .

وتعتبر لجنة التعاون الزراعي والمائي المكونة من وزراء الزراعة بدول المجلس احدى اللجان الوزارية الدائمة التي تعمل فعلا على تحقيق مثل هذا التنسيق والتجانس في مجالات الزراعة ومصادر المياه وقد انبثق عنها عدد من اللجان الفنية منها اللجنة الدائمة للمياه واستعمالات الاراضي ومن بين مهامها الآتي : -

١ - وضع التشريعات المائية الموحدة .
٢ - اقتراح افضل السبل لاستخدامات المياه للزراعة والمحافظة عليها .
٣ - التنسيق في مجال الابحاث والدراسات الخاصة بالمياه الجوفية للتكوينات المشتركة بين دول المجلس والاستغلال الامثل لها .
٤ - اقتراح الندوات الخاصة المتعلقة بالمياه والمحافظة عليها .

ومن بين الاعمال الجيدة التي خرجت بها هذه اللجنة نظام خاص بالمحافظة على مصادر المياه بدول المجلس تم اقراره من قبل لجنة التعاون الزراعي والمائي منذ عام ١٩٨٥م وتستخدمه دول المجلس جميعها .

كما سبق أن اقر المجلس الاعلى في دورته السادسة التي اقيمت بمسقط في نوفمبر ١٩٨٥م السياسة الزراعية المشتركة لدول المجلس والتي تم اعدادها وفق استراتيجية موحدة تعتمد على الاستخدام الامثل للموارد المائية المتاحة وتوفير الامن الغذائي من صادر وطنية .

وهناك لجنة وزارية تختص بالتعاون في مجال الكهرباء وتحلية المياه مكونة من وزراء الكهرباء والماء بدول المجلس انبثق عنها أيضا العديد من اللجان المتخصصة تشمل : -

- لجنة ترشيد الاستهلاك الكهربائي والمائي .
- لجنة توحيد المواصفات الكهربائية والمائية .
- لجنة تبادل المعلومات .
- لجنة توحيد اساليب التشغيل والصيانة .

وقد عملت هذه اللجان على اعداد كثير من اللوائح والانظمة الاسترشادية للدول الاعضاء تضمنت الآتي : -

- لائحة استرشادية لتحلية المياه بالطرق الحرارية .
- لائحة استرشادية لتمديدات المياه .
- لائحة استرشادية للمحطات البخارية للتحلية .
- لائحة استرشادية لنقل المياه .
- لائحة استرشادية لمواصفة قياسية لمياه الشرب .

كما أن الامانة العامة لمجلس التعاون تساند انشاء الجمعيات المتخصصة مثل جمعية علوم وتقنية المياه وتشارك في مجلس ادارتها وحضور الندوات والمؤتمرات المتعلقة بالمياه ومؤازرة كل ما من شأنه تدعيم مصادر المياه والمحافظة عليها .

وتشارك هيئة المواصفات والمقاييس لدول مجلس التعاون ومقرها مدينة الرياض في حضور الاجتماعات التي لها علاقة بالمياه واعداد المواصفات الخاصة بذلك .

وسبق للهيئة أن اعدت عددا من المواصفات القياسية الخليجية التي اعتمدت من قبل مجلس ادارتها المكون من وزراء التجارة والصناعة بدول المجلس منها مواصفات قياسية لمياه الشرب .

سادسا : <u>التحديات التي تواجه دول المجلس لتنمية مصادر المياه</u> :

لا شك أن دول المجلس تواجه تحديات جسيمة ومتعددة في سبيل توفير المياه الصالحة للشرب وتحقيق الرفاهية والأمن لمواطنيها ومواجهة أي

نوع من المخاطر التي لا سمح الله ربما تمر بهذه المنطقة .. لعل أهمها حماية المنشاءات القائمة من محطات للتحلية وما يتبعها من منشاءات وخزانات وشبكات ايصال المياه للمستهلك .

ولعله من المفيد جدا هنا التذكير مرة اخرى باهمية اعداد استراتيجية متكاملة للمياه لدول المجلس تشمل ضمن برامجها المتعددة برنامجا خاصا لاعداد خطة متوازية مع هذه الاستراتيجية للطوارىء وأن الوقت قد حان قبل فوات الاوان بأن نشمر عن سواعدنا ونبدأ في اعداد هذه الاستراتيجية وأن نستفيد من الدروس التي مرت بنا خلال الاحتلال الغاشم لدولة الكويت عام ١٩٩٠م .

ويمكن تقسيم التحديات التي تواجه دول المجلس حاليا بالنسبة للمياه الى الآتي : -

١ - تحديات فنية اقتصادية : -

فالمعروف أن دول المجلس صرفت مبالغ باهضة لكي تضمن وصول المياه الى المستهلك ابتداء من اعداد الدراسات وحفر الآبار وانشاء محطات التحلية الى تمديد الشبكات وايصال المياه للمنازل ثم يأتي المستهلك ليواجه هذه الجهود والمبالغ التي صرفت بالاسراف في استخدام هذه المياه وبعثرتها على غسيل السيارات والاسطح والممرات .. فالمستهلك في أي دولة من الدول الست لا أظنه يعي أنه يدفع فقط ٥ - ١٠ % من التكلفة الحقيقية التي تصرفها الدول كما أن المزارعين يحصلون علىالمساعدات الفنية والمالية لري مزارعهم بدون أية رقابة على استهلاك المياه وهي التي تصل في معظم دول المجلس الى أكثر من ٧٥% من جملة الاستهلاك المحلي للمياه .

أما التحديات الفنية فتتمثل في أن دولنا أصبحت سوقا رائجا للعديد من الشركات والمؤسسات الاجنبية التي أصبحت تضخ انتاجها من الاجهزة والمعدات والمضخات والمكائن وقطع الغيار التي لا يتوقف الطلب عليها - فلماذا لا يتم تكثيف التنسيق بين الدول الاعضاء للحد من الازدواجية أولا ثم الاتفاق على النوعية المناسبة للجميع .. ولماذا لا نتجه الى تصنيع ما نحتاجه .. أليس الهدف واحد والمنتج المطلوب واحد وهو توفير المياه .. لماذا لا نطلب من تلك الشركات التي تقوم بتنفيذ المشروعات الكبيرة اقامة المصانع الخاصة بقطع الغيار محليا وجعلها في متناول يد الجميع وتوحيد مواصفاتها بقدر الامكان وهو جهد كبير لا بد من دعم ومساندة هيئة المواصفات والمقاييس لدول مجلس التعاون للقيام به مستقبلا بالتعاون مع الجهات ذات العلاقة .

٢ - تحديات فنية وأمنية : -

معروف أن مصادر المياه بدول المجلس مصادر محدودة للغاية سبق الحديث عنا في مقدمة هذه الورقة ولا بد من التفكير جديا في ايجاد مصادر بديلة لها أو متممة لها كما أن حمايتها من أية تعديات أو مخاطر قد تحاك ضدها تأتي في مقدمة التحديات التي نشدها .

ومن ضمن البدائل المقترحة كرافد لمصادر المياه الحالية :

أ - انشاء شبكة محلية لتوزيع المياه تربط بين الشبكات المتعددة للمدن في كل دولة من دول المجلس .

ب - انشاء شبكة اقليمية لتوزيع المياه تربط بين الشبكات الرئيسية للمدن في دول مجلس التعاون .

ج - تكثيف الابحاث الخاصة لاستخدام التقنيات الحديثة في تحلية المياه مثل استخدام الطاقة الشمسية .

د - انشاء خزانات تحت الارض لتخزين كميات من المياه الجيدة التي تفوق الاحتياجات اليومية في بعض المدن واستخدامها لاغراض اخرى أو أثناء الطوارىء .

هـ - استخدام الناقلات في جلب كميات من المياه لاستخدامها وقت الحاجة القصوى وفي حالات الطوارىء .

و - زيادة الطاقة الخاصة بمحطات تنقية مياه الصرف الصحي واستخدام المياه الناتجة عن هذا المصدر في ري الحدائق وبعض المزروعات لتخفيف الضغط على المياه الجوفية .

٣ - تحديات بيئيـــــة :

تشكل اخطار البيئة في وقتنا الحاضر تحديات كبيرة للعاملين والمهتمين باوضاع المياه بصفة عامة تتمثل في الآتي : -

- ضرورة مراقبة مصادر المياه الجوفية وغيرها من التلوث .

- اهمية اختبار نوعية المياه في العديد من النقاط سواء في الخزانات أو شبكات توزيع المياه أو في خزانات المستهلك .
- هناك تدهور واضح في المياه المنتجة من بعض طبقات المياه الجوفية من جراء زيادة السحب من هذه الطبقات مما أدى الى تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية وبالتالي تدهور نوعيتها ، كما هو الحال في البحرين ومنطقة الباطنة في سلطنة عمان ولا بد من ايقاف هذا الزحف ، ولعل الخطوة التي اتخذتها حكومة السلطنة مؤخرا في تكثيف اقامة السدود بهدف زيادة تغذية الطبقات المائية القريبة من سطح الأرض ربما يكون احد الحلول الجيدة في هذا الاتجاه .

ورغم الفوائد الجمة التي جلبها اكتشاف النفط بدول المجلس وما هيأته شواطيء الخليج البالغ طولها أكثر من الفي متر من منتزهات وشواطىء جميلة يقضي حولها المواطن بعض وقته في متعة واسترخاء الا أن الاهتمام بموضوع البيئة لم يرق باهتمام المواطنين الى المستوى المنشود ولا تزال الكثير من مدن دول المجلس تواجه تلوث المياه سواء بسبب عدم الاهتمام بما يلقى في مياه الخليج أو بسبب عدم وجود وسائل

فعالة للتخلص من النفايات والمجاري أو لتداخل مياه البحر مع المياه الجوفية وغيرها من العوامل التي تؤثر على مصدار المياه . وهناك قلة في الانظمة والقوانين الخاصة بالمحافظة على البيئة وخاصة بالنسبة للمياه والمحافظة عليها .

ويمكن تلخيص بعض المؤشرات البيئية والصحية على مصادر المياه في الآتي : -

١ - عدم الاهتمام بتصميم والاشراف على حفر آبار المياه مما يؤدي الى تداخل الطبقات المنتجة بعضها ببعض أو تسرب المياه الى الطبقة المنتجة بسبب الاهمال في تنفيذ البئر نفسها .

٢ - سؤ الطرق المستخدمة في التخلص من مياه النفايات من المصانع ومياه الصرف الصحي في العديد من المدن والقرى وهذا يؤدي الى مشاكل كبيرة تؤثر على الطبقات الحاملة للمياه الجوفية وخاصة تلك القريبة من سطح الارض ومياه الاودية ، كما أنهاتؤثر على صحة الانسان - لا سمح الله - عند استعمال تلك المياه اذا ما تلوثت بمياه الصرف الصحي .

٣ - رغم قيام بعض المدن بتنقية جزء من مياه الصرف الصحي واستخدام جزء منها لري بعض الحدائق والمزروعات الا أن جزءا من تلك المياه لم يستغل الاستغلال الامثل وأصبح يشكل بؤرا فاسدة لتكاثر البعوض والحشرات وتلوث المناطق القريبة منها.

٤ - ارتفاع منسوب المياه في شوارع بعض المدن مما يؤثر على المباني والمنشاءات بسبب عدم تصريف مياه الصرف الصحي بطرق حديثة ومقبولة .

٥ - هناك تداخل واضح بين مياه البحر والمياه الجوفية في بعض المناطق الساحلية كما في دولة البحرين وسلطنة عمان بسبب الغلو في استنزاف المياه الجوفية مما يؤدي الى اختلاف في الضغط وتداخل مياه البحر مع المياه الحلوة التي تطغى على الاخيرة وتسبب تدهور نوعيتها وبالتالي عدم استعمالها لاغراض الشرب أو الزراعة .

٦ - قلة الامطار ادى الى تدهور لطبقات المياه الجوفية القريبة من السطح وبالتالي سؤ نوعيتها مما ادى الى هجر الكثير من تلك الآبار بسبب جفافها أو سؤ نوعيتها .

٧ - عدم الاهتمام الكافي بمياه السيول الناتجة عن الامطار في بعض المناطق مثل اقامة السدود للانتفاع بتلك المياه مما يؤدي الى ضياعها سواء بالتبخر أو الاتجاه الى البحر وما تسببه تلك المياه اثناء جريانها من اتلاف للمزارع وانجراف للتربة .

الاستنتاجات والتوصيات :

- نظرا للتباين في عدد الادارات المسؤولة عن المياه في معظم دول المجلس فقد يكون من الأمور الملحة في هذا الصدد توحيد تلك الادارات وتنظيمها وجعلها تحت ادارة أو وزارة مركزية واحدة مسؤولة عن المياه فقط مع الاحتفاظ بعدد من الاقسام والشعب الفرعية اللامركزية لمراقبة تنفيذ المشاريع المحلية وتشغيلها وصيانتها وربما تحتاج بعض الدول الى فروع لتلك الوزارة او الادارة المركزية لمساعدتها في تنفيذ اعمالها حسب مساحة ذلك البلد واتساع مدنه .

- وضع استراتيجية واضحة ومتكاملة للسياسة المائية بدول مجلس التعاون تأخذ في الحسبان أوضاع المياه السائدة في هذه الدول على أن تكون مشتملة على وضع ميزان مائي للمياه يوضح العلاقة بين المتاح من هذه المياه والمتوقع استهلاكه بشيء من العقلانية واستخدام التقنية الحديثة كل ما امكن سواء في الانتاج أو الاستخدام وعلى أن يرتبط اعداد هذه الاستراتيجية باعداد خطة موازية للطوارىء في جميع دول المجلس على المستويين الاقليمي والمحلي .

- التوسع في اتباع نظام الشرائح بالنسبة لاستهلاك المياه نسبة لما حققه هذا النظام من نتائج مثمرة في بعض الدول الاعضاء مع التركيز أيضا في تشديد العقوبات بالنسبة لمسيئي استعمالات المياه .

- الحد من استخدام الطرق التقليدية في ري المحاصيل الزراعية وفي الزراعة بشكل عام وادخال أنظمة الري الحديثة .

- التوسع في اقامة مشاريع تنقية مياه الصرف الصحي والاستفادة من هذه المياه بعد تنقيتها في ري الحدائق والأشجار وأغراض الدفاع المدني .

- الاتفاق على برامج اعلامية موحدة تشمل برامج مرئية ومسموعة ومقروءة حول اهمية ترشيد استهلاك المياه في جميع الدول وعلى أن يتم بثها وتوزيعها في وقت واحد (ان امكن) وتكون مستمرة لفترات زمنية متعددة على مر السنين القادمة .

- التعاون الاقليمي والمحلي حول اجراء البحوث المائية حول استكشاف مصادر جديدة للمياه وتطوير التقنيات الحديثة لتحلية المياه وتنقيتها على أن يصاحب ذلك انشاء شبكة للمعلومات المائية على مستوى الدول الاعضاء بما في ذلك المعلومات الهيدروجيولوجية ومراقبة الانتاج في آبار المياه الجوفية والامطار والسيول وجعلها ميسرة للباحثين وطالبي تلك المعلومات .

المصـــــــادر :

— بوشناق ، د. عادل تحديات الطلب على المياه بدول مجلس التعاون/ المؤتمر الرابع لتحلية المياه المالحة واعادة استخدامها الكويت ٤ـ٨ نوفمبر ١٩٨٩م (انجليزي) .

— النشرة الاقتصادية ـ العدد الرابع ـ الامانة العامة / مجلس التعاون لدول الخليج العربية الرياض ١٩٨٩م .

— التنمية الزراعية في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ـ الامانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية ـ الطبعة الثانية، الرياض ١٩٩٢م .

— التقرير السنوي ـ المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة ـ الرياض ١٤١٠ هـ .

— خطة التنمية الرابعة ١٤٠٥ ـ ١٤١٠ والخامسة (١٤١٠ـ١٤١٥) ـ وزارة التخطيط ـ الرياض ـ المملكة العربية السعودية .

— الدباغ ، تيسير ـ التقنيات والاجراءات اللازمة للحفاظ على المياه في الوطن العربي ـ ندوة الكويت لادارة وتقنية موارد المياه في المناطق الجافة ـ الكويت ٥ـ٧ أكتوبر ١٩٨٧م .

— المقرن ـ عبد اللطيف ـ المحافظة على مصادر المياه في دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية / ندوة الكويت لادارة وتقنية موارد المياه في المناطق الجافة ـ الكويت ٥ـ٧ أكتوبر ١٩٨٧م .

— واقع العمالة والتدريب بقطاعي الكهرباء وتحلية المياه بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية ـ مجلس القوى العاملة ـ الامانة العامة الرياض يوليه ١٩٨٦م .

— الموارد المائية بسلطنة عمان – وزارة الزراعة والاسماك ، مسقط ١٩٨٦م .

— عثمان ، مصطفى نوري – الماء ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية مطبوعات تهامة – الطبعة الاولى ١٤٠٤هـ .

— اطلس المياه – وزارة الزراعة والمياه – الرياض المملكة العربية السعودية .

— أبحاث واوراق متعددة / ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي والخاصة ببعض دول مجلس التعاون لدول الخليج العربية التي قدمت بنفس الندوة / الكويت ١٧–٢٠ فبراير ١٩٨٦م .

— تقرير قدرات بلدان غربي آسيا على حماية البيئة – اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا للامم المتحدة – نوفمبر ١٩٨٥م.

— تقارير متفرقة لوزارات الزراعة بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية .

— معلومات واحصائيات غير منشورة تم تزويدها من قبل وزارات الكهرباء والماء بدول المجلس للامانة العامة .

جَلسة رقم (١)

الموارد المائية في الوطن العربي واستخداماتها وإدارتها

الدكتور إدريس أحمد محمود

(۱) مقدمة

جمعية علوم وتقنية المياه

مؤتمر الخليج الأول للمياه
اكتوبر ١٩٩٢

الموارد المائية في الوطن العربي
واستخداماتها وادارتها

اعداد
دكتور مهندس
ادريس أحمد محمود
خبير المياه والصرف الصحي
الصندوق العربي للانماء الاقتصادي والاجتماعي

الموارد المائية في الوطن العربية
واستخداماتها وادارتها

تستعرض هذه الورقة أوضاع الموارد المائية واتجاهات استخداماتها في الوطن العربي وتبين الورقة ان هناك عجزا في الموارد المائية المتاحة كما تطرح الورقة التوصيات اللازمة لتنمية هذه الموارد حتى تلبي احتياجات التنمية الاقتصادية والاجتماعية حاضرا ومستقبلا في الوطن العربي بما يكفل الوصول الى تحقيق الأمن المائي العربي المنشود.

١- مقدمة

يعتبر الماء عنصرا اساسيا لحياة الانسان والحيوان كما انه يشكل الركيزة الرئيسية للتنمية لما له من آثار مباشرة على الانشطة الاقتصادية والاجتماعية وعلى الاخص في مجالات الصحة والزراعة والصناعة. وكما قال المولى عز وجل في محكم كتابه " وترى الأرض هامدة فاذا انزلنا عليها الماء اهتزت وربت وانبتت من كل زوج بهيج " وقال تعالى " وجعلنا من الماء كل شيء حي ".

ومن سر خلق الله سبحانه أن جعل كميات الماء في الكرة الارضية ثابتة ومتجددة دوريا وبصورة مستديمة وذلك بما يعرف بالدورة الهيدرولوجية. وقد بينت الدراسات المائية أن الموارد المتاحة من المياه والمتمثلة في حوالي ١٪ من اجمالي موارد المياه تفوق الطلب عليها وأنها كافية لمقابلة الطلب المتزايد على المدى البعيد. وقد سيء فهم هذه النتائج وساد الاعتقاد في بداية هذا القرن بأن الموارد المائية هي موارد وفيرة وغير قابلة للنضوب وعليه يمكن استخدامها دون ضوابط، وهذا ما تم بالفعل في النصف الاول من القرن الحالي مما نتج عنه ان احتلت موارد المياه دورا ثانويا في حسابات عمليات التنمية الاقتصادية والاجتماعية. وقد تزامن مع هذا المفهوم الخاطىء نمو كبير في عدد السكان وتطور في نمط الحياة أديا الى ازدياد الطلب على المياه لكافة الانشطة الاقتصادية والاجتماعية. وقد كان من نتائج ذلك أن برزت أزمات مائية حادة في مناطق متعددة من العالم مع بداية الخمسينات، كانت واضحة في دول العالم الثالث وخاصة الواقعة منها في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث اجتمعت فيها كافة العوامل المؤدية لذلك نوجز أهمها بما يلي:-

١- على الرغم من أن كميات المياه الصالحة للاستعمال على وجه الكرة الارضية كافية لمقابلة الاحتياجات الحالية والمستقبلية على مستوى العالم الا ان توزيعها على المناطق المختلفة متفاوت ويتميز بقلته في " المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية " والذى تقع عليها غالبية دول العالم الثالث مما يجعل الموارد المتاحة في هذه المناطق غير قادرة على مقابلة الاحتياجات المتزايدة.

٢- شهدت معظم دول العالم الثالث نموا سكانيا فاق معدلها المعدل الوسطي العالمي ولم يواكب هذا النمو تطور مماثل في طرق التحري عن الموارد المائية وتطوير سبل استغلالها واستخدامها مما ظهرت معه ازمات مائية في أنحاء متفرقة منها.

٣- ان رغبة دول العالم الثالث في اللحاق بالدول المتقدمة أو ما يسمى بالدول الصناعية زاد من العبء على مواردها الطبيعية وخاصة الموارد المائية.

واذا نظرنا الى الوطن العربي نجد أن الوضع اكثر خطورة مما هو عليه في متوسط دول العالم الثالث ويعزي ذلك الى الأسباب الرئيسية التالية:-

١- ان الجزء الاعظم من اراضي الوطن العربي يمتد عبر اقاليم مناخية جافة وشبه جافة، ويترتب عن ذلك شح المياه المتجددة في غالبية المناطق وندرتها في المناطق الصحراوية. اضافة الى ذلك فان تجدد المياه في معظم الاحواض المائية المنتشرة في الاقطار العربية غالبا ما يكون غير منتظم في الكم والزمن.

٢- ان جزءا هاما من الغذاء في الوطن العربي يعتمد على الزراعة المطرية لانتاج الحبوب وتأمين المراعي. وعليه فا أي تقلبات مناخية وتدني في معدلات هطول الامطار الموسمية وعدم انتظامها يؤدي بصورة مباشرة الى تقلص الرقعات المزروعة وانحسار في المراعي. وقد تزداد هذه التقلبات المناخية لتؤدي الى جفاف حاد قد يتسبب في احداث كوارث اقتصادية واجتماعية ومضاعفات بيئية خطيرة مثل المجاعة والتصحر وتعري التربة، وهذا ما شهدته فعلا بعض الاقطار العربية ابان العقدين الماضيين.

أدركت الاقطار العربية مؤخرا المخاطر المحيطة بها فيهما يتعلق بالموارد المائية المتاحة وبذلت جهودا حثيثة لاستكشاف مواردها المائية لمواجهة فترات الجفاف الحادة التي اصابت اجزاء كبيرة في بعضها في مطلع عقدي الستينات والثمانينات، وعلى أثر ذلك قامت بتنفيذ مشروعات عديدة لاستثمار موارد المياه وسد حاجات المجتمع المتزايدة منها خلال العقود الثلاثة المنصرمة.

ولكن، كما اشرنا سابقا فان مواجهة الطلب المتزايد على المياه للأغراض المختلفة لم يتخذ المسار العلمي السليم اذ كانت تتم مواجهة هذا الطلب، والازمات المائية التي كانت تظهر، عن طريق استغلال المخزون المائي الجوفي دون التقيد بامكانات الاحواض الجوفية على المدى البعيد. وقد أدى ذلك الى ظهور آثار سلبية في العديد من الاحواض المائية الجوفية العربية كانخفاض منسوب مياهها و/أو تدني نوعيتها أو زحف المياه المالحة نحوها خاصة في الاحواض الجوفية المحدودة الامتداد أو المخزون والمشاطئة للبحار، وقد ولد ذلك قلقا حول مستقبل مثل هذه الاحواض.

وكما سيتضح في الفقرات التالية ان ابعاد مشكلة الموارد المائية في الوطن العربي وحجمها وآثارها سوف تزداد مستقبلا خاصة مع تزايد الطلب على الماء. وهذا يقتضي ان يتوفر تفهم واهتمام اكثر عمقا لتوافر موارد المياه وتخطيط بعيد المدى لاستخداماتها يتناسب وحجم المشكلة ونمط تطورها والازمات المتوقع نشؤها مستقبلا حتى يتسنى وضع تخطيط طويل الامد لمعالجة كل وضع حسب ظروفه. ةيتطلب ذلك تحديد وحصر الموارد المائية المتاحة وسبل استخدامهاتها بم يكفل التوازن بينهما والانظمة المؤسسية والتشريعات اللازمة لتحقيق ذلك.

٢- الموارد المائية في العالم وفي الوطن العربي

٢-١ الموارد المائية في العالم

ان مخزون المياه على سطح الارض ثابت على مدى الزمن كما اشرنا في المقدمة ويقدر بحوالي ١,٤ مليار كم٣ منها حوالي ٤٢ مليون كم٣ فقط مياه عذبة (حوالي ٣٪) والباقي مياه مالحة في المحيطات والبحار. الا ان حوالي ٧٧,٢٪ من هذه المياه العذبة غير متاحة للاستغلال لانها تشكل غطاءا من الجليد الدائم في المناطق القطبية، وان حوالي ٢٢,٤٪ منا مياها جوفية والباقي المقدر بحوالي ٠,٤٪ متمركز في البحيرات والمستنقعات والانهار. وتؤمن الدورة الهيدرولوجية المياه اللازمة للحياة في الارض باتاحة مياه متجددة، اذ ان حوالي ٤٥٣ الف كم٣ من المياه تتبخر من مياه المحيطات والبحار وان حوالي ٩٠٪ منها يجد طريقه مرة اخرى الى هذه المحيطات والبحار على شكل امطار والباقي المقدر بحوالي ٤١ الف كم٣ تنقله الرياح حول الارض فيندمج مع حوالي ٧٢ الف كم٣ من المياه التي تتبخر من سطح الارض اليابسة ليتساقط في نهاية المطاف على شكل امطار*. وهذه الدورة لتحول المياه هي التي تسهم في استمرار الحياة على وجه الارض. ويقدر ان نصف مياه الامطار التي تهطل على اليابسة تتسرب الى باطن الارض وتغذي المياه الجوفية والباقي ينتهي به المطاف الى الانهار ثم يجد طريقه مرة اخرى الى المحيط لتكملة الدورة الهيدرولوجية. ويلخص الجدول التالي مخزون المياه العذبة الثابت منها والمتجدد سنويا على مدار الكرة الارضية:

جدول رقم (٢-١) مخزون المياه العذبة الثابت والمتجدد في الكرة الارضية**
(الف كم٣)

	مياه سطحية				اجمالي المتاح
	مياه جوفية	جليد	بحيرات***	انهار	للاستغلال
المخزون المائي	١٠٥٠٠	٢٤١٠٠	٩١	٢,١	١٠٥٠٢,١
المياه المتجددة	٢,٢	-	-	٤٤,٨	٤٧,٠
اجمالي	١٠٥٠٢,٢	٢٤١٠٠	٩١	٤٦,٩	١٠٥٤٩,١

يتبين من الجدول اعلاه ان المخزون المائي الجوفي اعلى بكثير من المخزون المائي السطحي الا ان كمية المياه المتجددة السطحية تفوق كمية المياه المتجددة الجوفية. ولكن من ناحية اخرى فان توزع الموارد المائية المتجددة يتفاوت بين قارة واخرى ويتفاوت بصورة اكبر في داخل القارة نفسها بين منطقة وأخرى. وبالتالي نجد ان بعض مناطق العالم تحظي بفائض مائي بينما بعضها الآخر تواجه عجزا مائيا وهذه يقع أغلبها في قارتي اسيا وافريقيا.

---

* المصدر: تقرير مجموعة العمل II عن ادارة الموارد المائية (١٩٨٨) المقدم للجنة التخطيط الانمائي (الامم المتحدة).

** UNESCO World Water Balance and Water Resources of the Earth Studies and Reports in Hydrology 25, 1978, English ED.

*** مياه البحيرات غالبيتها في البحيرات الخمس بامريكا واعتبرت غير متاحة.

٢-٢ الموارد المائية في الوطن العربي

٢-٢-١ المخزون المائي والموارد المتجددة

كما اسلفنا فان الوطن العربي يمتد عبر اقاليم جافة وشبه جافة (صحراوية وشبه صحراوية) حيث يتأثر جزء محدود منه بمناخ البحر الابيض المتوسط في حين ان بقية مناطقه يغلب عليها الجفاف. وهذا بدوره يؤثر بشكل مباشر على معدل هطول الامطار وأنظمة جريان المياه السطحية ومخزون المياه الجوفية التي تصبح غير منتظمة. ونظرا لندرة المياه السطحية باستثناء المناطق المجاورة للانهار الكبرى (النيل ودجلة والفرات) وتلك المحاذية للشواطىء وبعض الانهار الموسمية، فان معظم الاحتياجات المائية في الوطن العربي يتم تأمينها عن طريق استثمار المياه الجوفية التي تشكل المصدر المائي الوحيد، وهي تتوافر في معظم المناطق العربية بكميات متفاوتة قد تصل الى احواض كبرى ذات مخزون جوفي كبير كما هو الحال في اقاليم الصحراء الكبرى في ليبيا والجزائر وتونس أو في اقليم شبه الجزيرة العربية.

ولندرة الموارد المائية في بعض المناطق العربية، لجأت حديثا بعض الاقطار العربية الى تحلية مياه البحر ومعالجة مياه المجاري والمصانع لتوفير مصادر مياه غير تقليدية وبهذا فانه يمكن تصنيف الموارد المائية المستغلة حاليا في الوطن العربي الى نوعين: تقليدية وغير تقليدية ولا نتوسع في البحث عن موارد المياه غير التقليدية باعتبار ان مساهمتها كميا في التنمية على مستوى الوطن العربي ضئيلة رغم اهميتها لبعض الاقطار العربية كمصدر حيوي لمياه الشرب.

ومن المعروف ان الموارد المائية التقليدية تنقسم الى متجددة وغير متجددة. أما الموارد المتجددة فهي تلك الموارد التي لا ينجم عن استخراجها لفترات طويلة اي هبوط في المنسوب اذا كان معدل الاستخراج لا يتعدى معدل التغذية. واما الموارد غير المتجددة فهي تلك التي ينجم عن استثمارها هبوط في المنسوب. ومن الموارد المائية المتجددة تلك التي تقع على طول سواحل البحر الابيض المتوسط الشرقية والجنوبية حيث تتميز هذه المناطق بهطول امطار يبلغ ما بين ٤٠٠ و ٦٠٠ مم مما يساعد على تغذية هذه الموارد وتجدد مياهها دوريا. اما الموارد المائية غير المتجددة فيتواجد أغلبها في باطن اقليمي الصحراء الكبرى وشبه الجزيرة العربية واللذان يتميزان بامتدادهما الكبير وضخامة مخزونهما المائي الا ان معدل تغذيتهما ضئيل، وحتى لو حدثت تغذية فانها تكون قليلة مقارنة بحجم المخزون الجوفي ويتم استغلال بعض الخزانات الجوفية فيهما حاليا بصورة استنزافية وخاصة في المنطقة الشرقية من شبه الجزيرة العربية. وقد ادى ذلك الى زيادة معدل تدهور نوعية مياهها.

٢-٢-٢ الموارد المائية في الوطن العربي

ان مخزون المياه العذبة في الوطن العربي يقدر بحوالي ٧٧٣٤ كم٣ اي ما يعادل حوالي ٠,٠٧٪ من المخزون العالمي وان كمية المياه المتجددة تبلغ حوالي

٣٣٨ كم٣/سنة أي ما يعادل حوالي ٠,٧٪ من الموارد المائية المتجددة في العالم، ومن ناحية اخرى فان مساحة الوطن العربي تبلغ حوالي ٩,٤٪ من مساحة القارات وان سكان الوطن العربي يقدرون بحوالي ٤٪ من سكان العالم. ونتيجة لذلك يقدر ان نصيب الفرد من الموارد المائية على مستوى الوطن العربي باكمله يبلغ حوالي ١٧٥٠ م٣/سنة وهذا يقل كثيرا عن المعدل الوسطي العالمي البالغ حوالي ١٢٩٠٠ م٣/سنة، كما ان هذا المعدل يتفاوت بين بلد وآخر اذ يبلغ حوالي ٥٢٠٠ م٣/سنة في العراق وينخفض الى حوالي ١١٠ م٣/سنة في الكويت كما هو مفصل في الجدول التالي:-

جدول رقم (٢-٢) الموارد المائية التقليدية في الوطن العربي*

القطر	(١) الموارد المائية السطحية (مليون م٣/سنة	٢ الموارد المائية (مليون م٣/سنة) الوارد السنوي RECHARGE	(٣) المخزون	(٤)=(١+٢) مجموع الموارد المتجددة (مليون م٣/سنة	(٥) عدد السكان الحالي ١٩٨٥ مليون نسمة	(٦)=(٤-٥) نصيب الفرد من مجموع الموارد المتجددة (م٣/سنة)
الاردن	٩٠٠	٥٩٠	١٢٠٠٠	١٤٩٠	٢,٦٥	٥٦٠
الامارات	١٥٠	١٣٠	٥٠٠٠	٢٨٠	٠,٧٧	٣٦٠
البحرين	-	٩٠	-	٩٠	٠,٣٧	٢٤٠
تونس	٢٦٣٠	١٧٢٠	١٧٠٠٠٠	٤٣٥٠	٧,٣٣	٥٩٠
الجزائر	١٣٠٠٠	٤٢٠٠	١٥٠٠٠٠	١٧٢٠٠	٢٢,٣٥	٧٧٠
جيبوتي	٢٠٠	-	-	٢٠٠	٠,١٩	١٠٥٠
السعودية	٣٢١٠	٢٣٤٠	٣٥٤٠٠٠	٥٥٥٠	١٠,١٢	٥٥٠
السودان	٦٠٦٥٠	٩٠٠	٣٩٠٠٠	٦١٥٥٠	٢٢,٠٠	٢٨٠٠
سوريا	٢٢١٠٠	٢٩٣٠	-	٢٥٠٣٠	١٠,٦٠	٢٣٦٠
الصومال	٨١٦٠	٣٣٠٠	-	١١٤٦٠	٥,٨٦	١٩٦٠
العراق	٨٠٠٠٠	١٠٠٠	-	٨١٠٠٠	١٥,٦٠	٥١٩٠
عمان	١٤٧٠	٥٦٠	-	٢٠٣٠	١,٠٢	١٩٩٠
فلسطين	٤٠٠٠	٩٥٠	-	٤٩٥٠	٤,٣٦	١١٣٠
قطر	-	٥٠	٢٥٠٠	٥٠	٠,١٨	٢٨٠
الكويت	-	١٦٠	-	١٦٠	١,٥٠	١١٠
لبنان	٤٨٠٠	٣٠٠٠	١٣٠٠	٧٨٠٠	٣,٤٣	٢٢٧٠
ليبيا	١٧٠	٢٥٠٠	٤٠٠٠٠٠	٢٦٧٠	٣,٦٦	٧٣٠
مصر	٦٢٠٠٠	٤٥٠٠	٦٠٠٠٠٠	٦٦٥٠٠	٤٦,٩٢	١٤٢٠
المغرب	٢٣٠٠٠	١٠٠٠٠	٢٠٠٠٠٠	٣٣٠٠٠	٢٤,٣١	١٣٦٠
موريتانيا	٥٨٠٠	١٥٠٠	٤٠٠٠٠٠	٧٣٠٠	٢,٠٠	٣٦٥٠
اليمن الشمالي	٢١٠٠	١٠٠٠	-	٣١٠٠	٢,٢٥	١٣٨٠
اليمن الجنوبي	١٤٠٠	٤٠٠	-	١٨٠٠	٥,٨١	٣١٠
الاجمالي	٢٩٥٧٤٠	٤١٨٢٠	٧٧٣٣٨٠٠	٣٣٧٥٦٠	١٩٣,٢٨	١٧٥٠

---

* ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦)، نقلا عن المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والاراضي القاحلة، الموارد المائية في الوطن العربي وآفاقها المستقبلية للدكتورين جان خوري وواثق رسول اغا ص (٦٢١) و (ب) تنمية الموارد المائية في الوطن العربي وترشيد استخداماتها للمهندس شوقي اسعد والدكتور نبيل روفائيل ص (٧١٥-٧١٦) وبيانات اضافية محدثة من مصادر اخرى متفرقة.

ان هذه الاحصائيات تعطي مؤشرا واضحا عن انخفاض نصيب الفرد من الموارد المائية وبالتالي عن عمق المشكلة المائية نتيجة للعجز المائي كما سيتضح في الفقرات اللاحقة. ويزيد المشكلة تعقيدا عدم انتظام التغذية المائية والجريان والهطول اثناء السنة الواحدة ومن سنة لاخرى. ويتوقع ان تتسع ابعاد العجز المائي على المدى البعيد. وقد دلت الدراسات المناخية على المستوى المحلي والاقليمي والعالمي ودراسة سجلات القرن الحالي على حدوث تغيرات مناخية ووجود دورات جافة ومطيرة متعاقبة يمكن ان تمتد الى خمس او عشر سنوات متتالية. وقد لوحظت احدى هذه الدورات على امتداد الوطن العربي والتي امتدت منذ اوائل العقد الحالي.

٣-١ الطلب على المياه

لمعرفة حجم الطلب على الموارد المائية في الوطن العربي لابد من تحديد فترة زمنية كتقدير الاحتياجات المائية فيها والتي حددت من عام ١٩٨٥ الى عام ٢٠٣٠ آخذين بالاعتبار الزيادة المتوقعة في معدل نمو السكان والنشاط الزراعي والصناعي وتوافر الموارد المائية في الوطن العربي.

٣-١-١ الطلب للشرب والأغراض الاهلية الاخرى

نتيجة لتفاوت الاستهلاك بين الاقطار العربية المختلفة فقد تم تقسيم البلاد العربية الى ثلاث مجموعات استنادا الى الاستهلاك الفعلي المتشابه في عام ١٩٨٥ والأخذ في الاعتبار زيادة الاستهلاك باضطراد حتى نهاية فترة الاسقاط في عام ٢٠٣٠ كما هو مبين في الجدول التالي:-

جدول رقم (٣-١) الطلب على المياه للشرب والاغراض الاهلية

المجموعة	اقطار المجموعة	الاستهلاك اليومي للشرب والاغراض الاهلية (لتر / للفرد)*				
		١٩٨٥	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
(١)	السعودية، قطر، الكويت، البحرين، عمان، الامارات	٢٠٠	٢٣٠	٢٦٠	٢٨٠	٣٠٠
(٢)	سوريا، الاردن، لبنان، تونس، المغرب، العراق، ليبيا، فلسطين	١٢٠	١٥٠	١٧٥	٢٠٠	٢٢٠
(٣)	السودان، مصر، موريتانيا، الجزائر، الصومال، جيبوتي، اليمن الجنوبي، اليمن الشمالي	٧٥	١٠٠	١٢٠	١٣٥	١٥٠

* المصدر:

ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦)، نقلا عن المركز العربي لدراسة المناطق الجافة والاراضي القاحلة، تنمية الموارد المائية وترشيد استخدامها للمهندس شوقي أسعد والدكتور نبيل روفائيل ص (٧٢٣).

بناء على معدلات الطلب الواردة في الجدول رقم (٤-١-١) للاقطار العربية على كميات المياه فانه يمكن تقدير احتياجاتها من المياه اللازم تأمينها للشرب والاغراض الاهلية الاخرى بحدود ٧,٢ مليار م٣ في عام ١٩٨٥ وترتفع الى حوالي ٣٦ مليار م٣ في عام ٢٠٣٠ كما هو مفصل في الجدول التالي:-

جدول رقم (٣-٢) اسقاط طلب الماء للشرب والاغراض الاهلية*

مليون م٣

القطر	١٩٨٥	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
الاردن	١١٦	٢١٦	٣٣٣	٤٥٠	٥٨١
الامارات	٥٦	٩٦	١٤٠	١٨٤	٢٣٣
البحرين	٢٧	٤٦	٦٧	٨٧	١١١
تونس	٣٢٢	٥٩٩	٨٩٥	١٢٤٨	١٦١١
الجزائر	٦٠٣	١٢٢٧	١٨٧٤	٢٥٥٤	٣٣٧٧
جيبوتي	٥	١٠	١٦	٢١	٢٨
السعودية	٧٣٨	١٢٦١	١٨٣٢	٢٤٠٦	٣٠٥٦
السودان	٥٤٦	١١١٠	١٦٩٥	٢٣١٠	٣٠٥٤
سوريا	٤٦٦	٨٦٥	١٢٩٣	١٨٠٥	٢٣٣٠
الصومال	١٥٨	٣٢١	٤٩١	٦٦٩	٨٨٤
العراق	٨٦٣	١٢٩٠	١٩٢٨	٢٦٩١	٣٤٧٤
عمان	٧٤	١٢٧	١٨٤	٢٤٢	٣٠٧
فلسطين	١٩٢	٣٥٥	٥٣٢	٧٤٢	٩٥٨
قطر	١٣	٢٢	٣٢	٤٢	٥٤
الكويت	١٠٩	١٨٧	٢٧١	٣٥٦	٤٥٣
لبنان	١٥١	٢٨٠	٤١٩	٥٨٥	٧٥٥
ليبيا	١٦١	٢٩٩	٤٤٧	٦٢٤	٨٠٦
مصر	١٢٦٧	٢٥٧٨	٣٩٦٠	٥٣٦٢	٧٠٩٠
المغرب	١٠٧٠	١٩٨٥	٢٩٦٦	٤١٣٩	٥٣٤٣
موريتانيا	٥٣	١٠٧	١٦٤	٢٢٣	٢٩٥
اليمن الجنوبي	٦١	١٢٣	١٨٩	٢٥٧	٣٤٠
اليمن الشمالي	١٥٧	٣١٩	٤٨٨	٦٦٤	٨٧٩
اجمالي الطلب على الماء	٧٢٠٨	١٣٤٢٣	٢٠٢٠٦	٢٧٦٦١	٣٦٠١٩

---

* المصدر:

ندرة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦)، نقلا عن المركز العربي للمناطق الجافة والاراضي القاحلة، تنمية الموارد المائية وترشيد استخداماتها للمهندس شوقي أسعد والدكتور نبيل روفائيل، ص (٧٢٤).

كما يتبين من الجدول رقم (٤-١-١ب) تفاوت الاحتياجات بين مجموعات الدول العربية اذا ما قسمت جغرافيا كما هو موضح في الجدول التالي رقم (٤-١-١ج):-

جدول رقم (٣-٣) تقديرات احتياجات مجموعات الاقطار العربية
من الموارد المائية لاغراض الشرب في عام ٢٠٣٠ م*
(مليار م٣)

مجموعات الاقطار العربية	الاحتياجات المائية في عام ٢٠٣٠م
أ) مجموعة شبه الجزيرة العربية	
- السعودية	٣,٠٦
- الكويت	٠,٤٥
- اليمن الجنوبي	٠,٣٤
- اليمن الشمالي	٠,٨٨
- عمان	٠,٣١
- الامارات العربية	٠,٢٣
- قطر	٠,٠٥
- البحرين	٠,١١
مجموع فرعي (أ)	٥,٤٣
ب) مجموعة المغرب العربي	
- الجزائر	٣,٣٨
- المغرب	٥,٣٤
- تونس	١,٦١
- ليبيا	٠,٧٦
- موريتانيا	٠,٣٠
مجموع فرعي (ب)	١١,٣٩
ج) مجموعة بلاد المشرق العربي	
- سوريا	٢,٣٣
- العراق	٣,٤٧
- الاردن	٠,٥٨
- لبنان	٠,٧٦
- فلسطين	٠,٩٦
مجموع فرعي (ج)	٨,١٠
د) اقطار الاقليم الوسط	
- مصر	٧,٠٩
- السودان	٣,٠٥
- الصومال	٠,٨٨
- جيبوتي	٠,٠٣
مجموع فرعي (د)	١١,١
المجموع الاجمالي (أ+ب+ج+د)	٣٦,٠ مليار م٣

* اعد هذا الجدول بناء على بيانات الجدول رقم (٣-٢) لاغراض هذه الورقة.

ويشير هذا الجدول الى أن مجموعة دول شبه الجزيرة العربية وتشمل السعودية، الكويت، البحرين، الامارات العربية المتحدة، قطر، واليمن الجنوبي، عمان، اليمن الشمالي ستحتاج في عام ٢٠٣٠ الى ٥,٤ مليار م٣، بينما تحتاج بلاد المغرب العربي وتشمل الجزائر، المغرب، تونس، موريتانيا وليبيا الى ١١,٤ مليار م٣. اما احتياجات بلاد المشرق العربي وتشمل سوريا، العراق، لبنان، الاردن، وفلسطين، فهي ٨,١ مليار م٣ في حين يقدر طلب الاقليم الوسط ويشمل مصر والسودان والصومال وجيبوتي حوالي ١١,١م٣.

٣-١-٢ الطلب على المياه للزراعة*

استند في تقدير الطلب على المياه للزراعة الى احصائيات المنظمة العربية للتنمية الزراعية. ولحساب الطلب على المياه للزراعة تم تبنى الفرضيات التالية*:-

١- تأمين كامل الاحتياجات الغذائية لسكان الوطن العربي خلال فترة الاسقاط وهذا يتماشى مع الاستراتيجية المقررة في هذا الصدد.

٢- تحديد متوسط استهلاك الفرد في كل قطر من المنتجات الزراعية المختلفة التي تحتاج الى مياه الري استنادا الى معدل الاستهلاك الفعلي والذى افترض انه ثابت خلال فترة الاسقاط.

٣- تحديد كمية الانتاج الزراعي اللازمة لكل محصول زراعي مروي في كل قطر لتلبية احتياجات السكان.

٤- تحديد متوسط الانتاجية الحالية لكل محصول من المحاصيل الزراعية المروية وعلى ضوئه حددت الانتاجية عند بداية ونهاية فترة الاسقاط التي اعتبرت هدفا يجب تحقيقه للوصول الى الأمن الغذائي العربي.

٥- تحديد المساحات المطلوب زراعتها لتأمين الانتاج الزراعي اللازم.

٦- تحديد القيمة المتوسطة للمقننات المائية للمحاصيل الزراعية المروية لتحديد الطلب على المياه للزراعة مع الأخذ في الاعتبار ترشيد استعمال المياه.

---

* تمت الاستعانة باحصائيات المنظمة العربية للتنمية الزراعية العدد (٤) عام ١٩٨٤ والعدد (١) لعام ١٩٨٤ وبيانات الكتاب الاحصائي السنوي للبلاد العربية الصادر من مجلس الوحدة الاقتصادية العربية الامانة العامة في عام ١٩٨٢ وتقرير منظمة ECWA، وندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦).

استنادا الى الفرضيات السابقة امكن تحديد الطلب على المياه للزراعة كما هو مبين في الجدول التالي:-

جدول رقم (٣-٤) اجمالي المساحات المزروعة والانتاج الزراعي والطلب على الماء للزراعة*

الموضوع	الوحدة	١٩٨٥	التنبؤات ٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
المشرق العربي						
المساحة المزروعة	١٠٠٠ هـ	١٠١٤٣	١١٦٥٧	١٢٢٧٩	١٢٧٦٥	١٢٦٤٤
الانتاج الزراعي	١٠٠٠ طن	٢٧٤٣٨	٣٩٥٢٧	٤٩٨١٠	٦٠١٥١	٦٩٥٣٠
الطلب على الماء للزراعة	مليون م٣	٦٣٣٤٦	٧١٨٤٢	٧٥٢١٩	٧٧٩٩٦	٧٧٦٥١
شبه الجزيرة العربية						
المساحة المزروعة	١٠٠٠ هـ	٣٠٠١	٣٤٧٥	٣٦٩٤	٣٨٥٦	٣٩٧١
الانتاج الزراعي	١٠٠٠ طن	٩٢٥٠	١٢٨٦٧	١٦٠٧١	١٩٤٤٠	٢٢٧٠٣
الطلب على الماء للزراعة	مليون م٣	٢١٥٦٤	٢٤٩١٩	٢٦٤٧٣	٢٧٧١٦	٢٨٥٨٧
الاقليم الاوسط						
المساحة المزروعة	١٠٠٠ هـ	١٥٠٩٨	١٧١٦٥	١٨١٢٠	١٨٨٨٥	١٩٤٣٤
الانتاج الزراعي	١٠٠٠ طن	٨١٨٤٨	١٠٥٨٩٢	١٢٨٧١٧	١٥٢٣٣١	١٧٦٤٢٨
الطلب على الماء للزراعة	مليون م٣	١١٨٩١٦	١٣٣٨٠٨	١٤١٠٧٧	١٤٧٠٦٧	١٥١٦٢٣
المغرب العربي						
المساحة المزروعة	١٠٠٠ هـ	١٣٢٧٩	١٥٣٥٩	١٦٢٧٥	١٦٩٢٢	١٧٥٦٣
الانتاج الزراعي	١٠٠٠ طن	٤٥٢٤٤	٥٩٩٦٤	٧٣٦٨٠	٨٧٧٥٢	١٠٢١٠٢
الطلب على الماء للزراعة	مليون م٣	٧٨٦٥٢	٨٩٦٨٩	٩٤٥٩٨	٩٧٨٩٢	١٠١٦٦٩
اجمالي المساحات المزروعة	١٠٠٠ هـ	٤١٥٢١	٤٧٦٥٦	٥٠٣٨٨	٥٢٤٢٨	٥٣٦١٢
اجمالي الانتاج الزراعي	١٠٠٠ طن	١٦٣٧٨٠	٢١٨٢٥٠	٢٦٨٢٧٨	٣١٩٦٨٣	٣٧٠٧٦٣
اجمالي الطلب على الماء للزراعة	مليون م٣	٢٨٢٤٧٨	٣٢٠٢٥٨	٣٣٧٣٦٧	٣٥٠٦٧١	٣٥٩٥٣٠
احتياجات مائية أخرى		١٤١٢٤	١٦٠١٣	١٦٨٦٨	١٧٥٣٤	١٧٩٧٧
الطلب الكلي على الماء للزراعة	مليون م٣	٢٩٦٦٠٢	٣٣٦٢٧١	٣٥٤٢٣٥	٣٦٨٢٠٥	٣٧٧٥٠٧

* المصادر:

(١) المنظمة العربية للتنمية الزراعية، برنامج الامن الغذائي العربي (١٩٨٠).

(٢) الكتاب السنوي للاحصاءات الزراعية المجلد ٣٤ لعام (١٩٨٤).

(٣) ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦) ص (٧٢٩).

وتجدر الاشارة الى أن الطلب على المياه للزراعة في بعض البلدان العربية قد لا يكون واقعيا لندرة الموارد المائية أو عدم صلاحية الارض لبعض الزراعات أو التخلف في استغلال احدهما او كليهما. وفي هذه الحالة يمكن اللجؤ الى توفير الاحتياجات الغذائية اللازمة من بعض البلدان العربية الاخرى ذات الامكانات المناسبة للموارد المائية وصلاحية الاراضي.

٣-١-٣ الطلب على المياه للصناعة

ركزت بعض الدول العربية منذ منتصف الخمسينات على التنمية الصناعية عن طريق تنفيذ العديد من المشروعات الصناعية سواء القطرية او المشتركة، فقامت باجراء الدراسات والمسوحات لتقدير مواردها الطبيعية خاصة في مجال التعدين والمعادن ولقيام بعض الصناعات التحويلية المرتبطة بالانتاج الزراعي، هذا بالاضافة الى التنقيب عن النفط والذى بدأت عملياته منذ الاربعينات لتشمل استخراج المشتقات البترولية منه والصناعات البتروكيميائية. ويتوقع ان تزدهر الصناعة في المجالات المذكورة في الوطن العربي خلال فترة الاسقاط الممتدة من عام ١٩٨٥ حتى عام ٢٠٣٠.

ومن الصعوبة بمكان التنبؤ بتفاصيل وافية عن تطور حجم الصناعات في الاقطار العربية المختلفة. ولذا قدر الطلب على المياه للاغراض الصناعية منسوبا الى الطلب للشرب والاغراض الاهلية الاخرى، ويزداد تدريجيا خلال فترة الاسقاط وبانتظام بحيث يتنامي مع التطور المرتقب في هذا القطاع، كما هو مبين في الجدول التالي:-

جدول رقم (٣-٥) الطلب على المياه للصناعة منسوبا الى الطلب لمياه الشرب*

الرقم	المجموعة	النسبة (٪) ١٩٨٥	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
١	الصومال، جيبوتي، موريتانيا، البحرين، الامارات	٠,٢٥	٠,٥	٠,٦٥	٠,٨	١,٠
٢	مصر، السودان، السعودية، الجزائر، المغرب	٠,١	٠,٢٥	٠,٣٥	٠,٤	٠,٥
٣	العراق، سوريا، اليمن الجنوبي، اليمن الشمالي، قطر	٠,٢٥	٠,٤١	٠,٥٥	٠,٦٥	٠,٧٥
٤	الكويت، لبنان، الاردن، عمان، تونس، ليبيا	٠,٥	٠,٦٦	٠,٨٠	٠,٩	١,٠

---

* المصادر: الكتاب الاحصائي السنوي للبلاد العربية العدد (٥)، مجلس الوحدة الاقتصادية العربية، الامانة العامة (١٩٨١) و (ب) المجموعة الاحصائية لمنظمة اللجنة الاقتصادية لغربي اسيا العدد (٧)، الامم المتحدة اللجنة الاقتصادية و (ج) ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي (فبراير ١٩٨٦)، ص (٧٢٥).

تم تحديد هذه النسب بعد الأخذ في الحسبان الاعتبارات التالية :-

١- توزيع الدول الى اربع مجموعات على اساس امكانياتها التصنيعية الحالية واحتمالات تطور النشاط الصناعي فيها.

٢- مرحلة تطور النشاط الصناعي فيها.

٣- عدد السكان ونموه في كل قطر.

٤- تكامل التصنيع مع الانتاج الزراعي.

بناء على الفرضيات اعلاه تقدر كميات المياه المطلوب توفيرها للاغراض الصناعية في عام ٢٠٣٠ بحوالي ٢٢,٣ مليار م٣ مقابل ١,٣ مليار لعام ١٩٨٥، وعليه يكون متوسط الطلب الصناعي على المياه في عام ١٩٨٥ حوالي ٧ م٣/للفرد في العام ويزداد تدريجيا ليصل الى حوالي ٤٢,٤ م٣/للفرد في العام بحلول عام ٢٠٣٠، اي بزيادة سنوية يبلغ متوسطها حوالي ٤٪. ويبين الجدول التالي احتياجات الصناعة من المياه المقدرة في كل من الاقطار العربية حتى عام ٢٠٣٠.

جدول رقم (٣-٦) اسقاط الطلب الصناعي للماء*

(مليون متر٣)

القطر	١٩٨٥	٢٠٠٠	٢٠١٠	٢٠٢٠	٢٠٣٠
الاردن	٥٨	١٤٣	٢٥٨	٤٠٥	٥٨١
الامارات	١٤	٤٨	٩١	١٤٧	٢٣٣
البحرين	٧	٢٣	٤٣	٧٠	١١١
تونس	١٦١	٣٩٥	٧١٦	١١٢٣	١٦١١
الجزائر	٦٠	٣٠٧	٦٥٦	١٠٢٣	١٦٨٩
جيبوتي	٢	٥	١٠	١٦	٢٨
السعودية	٧٤	٣١٥	٦٤١	٩٦٢	١٥٢٨
السودان	٥٥	٢٧٨	٥٩٣	٩٢٤	١٥٢٧
سوريا	١١٧	٣٥٥	٧١١	١١٧٣	١٧٤٨
الصومال	٤٠	١٦٠	٣١٩	٥٣٥	٨٨٤
العراق	٢١٥	٥٢٩	١٠٦٠	١٧٤٩	٢٦٠٦
عمان	٢٧	٨٤	١٤٧	٢١٨	٣٠٧
قطر	٣	٩	١٨	٢٧	٤١
الكويت	٥٥	١٢٣	٢١٧	٣٢٠	٤٥٣
لبنان	٧٥	١٨٥	٣٣٥	٥٢٧	٧٥٥
ليبيا	٨٠	١٩٧	٣٥٨	٥٦٢	٨٠٦
مصر	١٢٧	٦٤٥	١٣٨٦	٢١٤٥	٣٥٤٥
المغرب	١٠٧	٤٩٦	١٠٣٨	١٦٥٦	٢٦٧٢
موريتانيا	١٣	٥٤	١٠٧	١٧٨	٢٩٥
اليمن الجنوبي	١٥	٥٠	١٠٤	١٦٧	٢٥٥
اليمن الشمالي	٣٩	١٣١	٢٦٨	٤٣٢	٦٥٩
اجمالي	١٣٤٤	٤٥٣٢	٩٠٧٦	١٤٣٥٨	٢٢٣٣٤

* انظر مصادر الجدول رقم (٤-١-أ).

٥- استراتيجية وخطط تنمية مرافق المياه

ان التخطيط لقطاع المياه كان متواضعا حتى وقت قريب. وقد ساعد قرار الأمم المتحدة باعلان العقد الدولي للمياه والصرف الصحي على قيام الدول النامية بوضع خطة لعقد الثمانينات. وبنهاية عام ١٩٨٣ قامت حوالي ٦٠ دولة بوضع خطة للعقد ولكن تفاوتت توعياتها بين بلد واخر. ففي بعض الدول لم تكن الخطط سوى امانـي. واتسمت غالبية الخطط التي وضعت انذاك بعدم الواقعية، اذ أن الاستثمارات المطلوبة لتحقيق خطة تنمية القطاع فاقت اجمالي التمويل الخارجي المتاح لكافة القطاعات مجتمعة. وقد أغفلت كافة خطط تنمية الموضوعة الجانب المؤسسي وتنمية الموارد البشرية والتمويل الذاتي وهذه الجوانب تشكل عقبات رئيسية واختناقات في طريق تطوير خدمات القطاع.

كلنا يدرك ان الخطة القطرية للقطاع هي من أهم المرتكزات اللازمة للتنمية الفعالة للقطاع وتطويره. ومن أهم ما تحققه الخطط هو معالجة أمور السياسات العليا وتحديد الاحتياجات المؤسسية والبنيات الاساسية ووضع الاسبقيات ووضع الموازنات الاستثمارية والتشغيلية. وهذه الخطط ستكون بدورها الاساسي للحوار بين البلدان المستفيدة والجهات الممولة للدخول في التزامات مشتركة يتفق عليها في ضوء استراتيجيات معلنة وبرنامج عمل محدد مما سيساعد الجهات التمويلية على تطوير وتمويل المشاريع التي تتفق والأهداف التنموية. ومن الضروري أن تعطي خطة تنميةالقطاع كافة المجالات المرتبطة به والاهتمام بالمجالات الاجتماعية والاقتصادية والمؤسسية حتى يتسنى استقطاب اهتمام الدولة بالتنمية المستارعة وتحسين اطار السياسات العامة. والهياكل المؤسسية التي تكفل تنمية أفضل للقطاع.

يجب أن تكون خطط تنمية القطاع واقعية تعكس السياسات والأولويات القطرية والا تكون مجرد تنفيذ للمعونات والتمويل المقدم من الجهات التمويلية. ومن أجل ذلك لابد من توافر المقومات الاساسية التالية لهذه الخطط:

(أ) أن تكون متوازنة مع الموارد المتاحة.
(ب) ان تكون جزءا من البرامج الشاملة للاستثمار.
(ج) أن تعكس الخطط سياسة الحكومة التنموية والأولويات المرتبطة بها.

(٥-١) المعلومات والاحصائيات

ان العقبة الأولى التي تواجه التخطيط السليم هو اما عدم توافر المعلومات الاحصائية اللازمة للوصول الى تقدير سليم للاحتياجات المستقبلية من ناحية، أو عدم تطابقها بين الجهات المتعددة العاملة في مرفق المياه والصرف الصحي، أو الأثنين معا. ولكن يتم التخطيط المتوازن لابد من معرفة الموارد المتاحة كما ونوعا وتوزيعها الجغرافي من ناحية ومعرفة الاحتياجات الحالية وتقدير الاحتياجات المستقبلية.

ونلاحظ في غالبية بلداننا أن المعلومات مبعثرة من جهات عديدة يغيب التنسيق فيما بينها مما يجعل تجميع المعلومات والتأكد من صحتها عملية شاقة تعجز أي جهة من هذه الجهات القيام بها بالاضافة الى مسؤولياتها الأساسية المناطة بها. وعليه فان موضوع المعلومات والاحصائيات يحتاج الى معالجة جذرية لتسهيل عملية التخطيط حتى تتفادى استنزاف الموارد المائية وهذه الموارد المالية وتكفل حسن استغلال الموارد البشرية المحدودة.

(٥-٢) توازن الخطة مع كافة الموارد المتاحة

لكي تكون الخطة الموضوعة واقعية لابد أن نأخذ بعين الاعتبار الموارد المتاحة. وتشمل هذه الموارد ثلاثة مرتكزات رئيسية هي: الموارد الطبيعية، الموارد البشرية، الموارد المالية. وما لم يتوافر التوازن بين الخطة وهذه المرتكزات فلا يتوقع أن يتم تحقيق ما ورد فيها من أهداف وما ينبثق عنها من مشاريع. وسيترتب عن ذلك سلبيات تؤثر على مسار الخطط أهمها عدم تحقيق طموحات المواطنين التي ترجمت في الخطة وعدم الثقة بمصداقية الحكومة والخطط التي تضعها، وهذا بدوره سيؤدي الى عدم امكانية استقطاب الطاقات البشرية اللازمة للمشاركة في تحقيق مشاريع الخطة وعدم الأخذ بكل ما يقال مأخذ الجد. وفي هذا المجال نلاحظ في العديد من بلدان العالم الثالث أن الخطط التي تضع هدفها الاستهلاك المحلي والمكسب السياسي الوقتي ولم تضع اصلا لتحقيق ما ورد فيها من أهداف ومشاريع. ومن ناحية أخرى نلاحظ في العديد من الحالات أن المشاريع التي يتم تنفيذها لا ترتكز على تخطيط سليم مسبق وانما تتبلور نتيجة لضغوط سياسية من قبل تجمعات سكانية مؤثرة أو أنها أنشئت لمعالجة وضع قد تأزم.

(٥-٢-١) الموارد الطبيعية: ان أهم وأول مدخل لوضع خطة واقعية متوازنة لتطوير مرفق المياه وهو تحديد الموارد المائية المتاحة القابلة للاستغلال وتقييم وضعها من ناحية كمياتها ونوعياتها، ومن ثم تحديد طرق استغلالها بالصورة المثلى التي تضمن عدم نضوب كمياتها والمحافظة على نوعياتها على المدى البعيد. ولسوء الحظ فان هذا الجانب لم يحظ بالاهتمام اللازم الا في السنوات الأخيرة بعدما بدأ المسؤولون واضعوا السياسات يحسون فعليا. وكلنا يعلم بعدة أمثلة لبلدان تعاني من هذه المشكلة. وقد يأخذ تدني الموارد المائية كما ونوعا عدة أشكال أهمها: استغلال الموارد المتاحة بصورة استنزافية مما قد يؤدي الى تناقص المخزون المائي أو زحف مياه غير صالحة الى الموارد المتاحة خاصة في الموارد المائية الجوفية، أو

التخلص من لمياه المستعملة سواء صناعيا أو منزليا في مجاري الموارد المائية مما يؤدي الى تلوثها وعدم صلاحيتها للاستعمال. وتجدر الاشارة هنا الى ظاهرتين يتسم بهما عصرنا الحالي هما: طاقة الانسان غير المحدودة للبناء والابتكار، تقابلها طاقته الكبرى للتدمير والتخريب. وكما نلاحظ في عصرنا الحالي فان الاحتياجات المتزايدة لعدد متكاثر دفع الانسان لسلوك طريق قصير النظر عند استغلاله للموارد الطبيعية مما نتج عنه خلل في التوازن الطبيعي والنظام البيئي والذي يتمثل بالنسبة للموارد المائية في تلوثها.

(٥-٢-٣) الموارد البشرية: ان تطوير مرفق المياه والتخطيط له يرتكز في المقام الأول على العنصر البشري خاصة وأن ايفاد مشكلة الموارد المائية وحجمها وآثارها سوف تزداد مستقبلا مع تزايد الطلب عليها وشح الموارد المتاحة. وهذا يقتضي ان يتوافر تفهم واهتمام اكثر عمقا للموارد المائية وتخطيط بعيد المدى لاستخداماتها يتناسب وحجم المشكلة ونمط تطويرها والازمات المتوقع نشؤها مستقبلا بما يكفل معالجة كل وضع حسب ظروفه. ومن أجل ذلك يمكن حصر الحاجة للموارد البشرية المدربة في أربعة مجالات رئيسية هي: التخطيط، الدراسات والتصاميم، التنفيذ، التشغيل والصيانة، وعلى الرغم من التطور الذي حدث في مقدرة البلدان النامية على تنفيذ مشاريع المياه الا أنه مازال هناك نقص في العناصر البشرية المدربة في كافة المجالات وقصور في استقطابها بصورة فعالة وعليه لابد من ايلاء تنمية الموارد البشرية وتدريبها والاهتمام والاولويات اللائقة بها في كافة المجالات التقنية والادارية والمالية.

(٥-٢-٣) الموارد المالية: ان حجم وطموحات أي خطة تحكمه الموارد المالية المتاحة حتى لو توافرت الموارد الطبيعية والبشرية. وهنا تأتي أهمية واقعية الخطة بحيث تتناسب مع الموارد المالية الممكن توفيرها من المصادر المحلية والخارجية. وفي بعض البلدان توضع خطة يمكن تسميتها تمنيات لانها لا تعكس الواقع. ويمكن الحكم سلفا على أن تنفيذها بالكامل لا يمكن تحقيقه. وبما أن مصادر التمويل الخارجية لا يمكن تحديد حجمها بصورة دقيقة عند وضع الخطة فقد نهجت بعض البلدان نهجا واقعيا بان حددت المشاريع اللازم تنفيذها لتحقيق أهداف الخطة. وبناء على الموارد المالية المحلية والخارجية الممكن استقطابها بصورة واقعية وفي حدود امكانية سدادها مستقبلا يتم تقسيم المشاريع الى مجموعتين: الأولى تخطي بالاولوية العالية ويتم تمويلها من الموارد المتوقع تأمينها، والثانية يتم تنفيذها في حالة توافر موارد مالية اضافية اثناء تنفيذ الخطة. وقد برهنت هذه الطريقة جدواها خاصة في البلدان ذات الموارد المالية المحدودة كما

أنها تجنب هذه البلدان مشكلة تراكم الدين الخارجي الذي هو الآن من أهم مشاكل العالم الثالث. وعموما اذا كان هناك تخطيط سليم ويأخذ بعين الاعتبار الطاقة الاستيعابية فانه ليس من العسير تأمين التمويل اللازم في هذا الاطار.

٦- ادارة مرافق المياه

(٦-١) تطور ادارة مرافق المياه

شهدت أنظمة الحكم والادارة في المنطقة العربية تحولا من نظام الحكم والادارة المركزي الى النظام اللامركزي بحيث تتولى السلطات المحلية ادارة شؤون المنطقة المحيطة بها. وقد تفاوتت درجات اللامركزية المطبقة بين قطر وآخر. ففي النظام المركزي كانت الخدمات تتبع الجهات المركزية ذات الاختصاص، فمثلا خدمات صحة البيئة في وزارة الصحة، الطرق ومرافق المياه في وزارة الأشغال العامة، وخدمات الكهرباء والانارة في وزارة الكهرباء أو الطاقة، الخ ... اضافة لذلك كانت توجد ادارة محلية محدودة المسؤوليات تتولى ادارة الخدمات التي لا توجد لها جهات مركزية متخصصة مثل الأسواق التجارية، ضريبة العقارات الخ...

أما بالنسبة للحكم والادارة المركزية فقد تفاوتت درجات هذه اللامركزية حيث بقيت بعض الخدمات ضمن مسؤوليات الوزارات المركزية وبعضها تحول الى الادارات المحلية وذلك استنادا الى الطبيعة الفنية لتلك الخدمات أو الى عوامل سياسية. ولكن يمكن القول عموما بأن هناك بعض الخدمات التي ظلت ادارتها تحت الأجهزة المحلية مثل خدمات المجاري والصرف الصحي وخدمات صحة البيئة والعقارات والأسواق. ومن ناحية أخرى فان هناك أربعة قطاعات خدمية بقيت اداراتها ضمن النظام والادارة المركزية المتخصصة هي: الكهرباء، والاتصالات، ومياه الشرب، والصحة العلاجية (مستشفيات، مستوصفات). وقد تبين بعد الممارسة العملية أن وضع هذه الخدمات في اطار المركزية التقليدية قد أضر بها وقلل من فاعليتها ولذلك ولكي تظل هذه الخدمات تحت مظلة السيطرة المركزية من ناحية وتتخلص من التقييد المركزي الذي قد يشل من المرونة في العمل، استحدث نظام المؤسسات العامة. وقد أصبح لهذه المؤسسات استقلالا عن الوزارات المركزية بحيث تمكنت من وضع قوانين مالية وادارية لا تتقيد حرفيا بقوانين الوزارات، الا أنه ما زال عملها مركزيا من الناحية الجغرافية بحيث تتولى مسؤولية القطاع المعني على نطاق القطر. وبمعنى آخر فان الواقع يقول أن المؤسسات تمكنت من التخلص من قيود القوانين المالية والادارية المركزية ولكنها مازالت تصرف أعمالها بطريقة مركزية تقلل كثيرا من كفاءة عملها. وفي أغلب الأحيان كان انشاء هذه المؤسسات لتمكين العاملين فيها من التخلص من التقييد الحكومي المباشر للاستفادة ماديا واداريا ولم تنشأ للهدف الأساسي وهو زيادة فاعلية العمل ورفع كفاءة الخدمات.

(٦-٢) تنظيم ادارة مرافق المياه

كما أسلفنا فان حديثنا هذا سيقتصر على مجالي مياه الشرب والصرف الصحي كعنصرين هامين في مرافق المياه وأن الجوانب التي ستبحث في اطارهما يمكن تعميمها على القطاعات الخدمية الأخرى. ويمكن القول بان درجة فاعلية خدمات مرافق المياه والاستفادة منها تكاد تتناسب تناسبا طرديا مع كفاءة وفاعلية الأجهزة التي تشرف عليها بكل مافي ذلك من أبعاد اقتصادية وادارية وقانونية وفنية.

(٦-٣) تنظيم خدمات مياه الشرب

هناك نوعان من خدمات مياه الشرب أحدهما خدمات المياه للمناطق الريفية والآخر خدمات مياه الشرب للمدن. وبما أن موضوعنا يتعلق بالخدمات البلدية في المدن العربية فسوف لا نتطرق لهذه الخدمات في الريف، ولكن يمكن القول بأن خدمات مياه الشرب في المناطق الريفية غالبا ما تخضع للادارات المحلية تحت اشراف وزاري مباشر ولم تلحظ تغيرات في تنظيمها كما حدث في حالة مياه الشرب للمدن. وقد يعزى ذلك لأسباب عديدة منها صغر حجم مشاريع مياه الريف وكثرة عددها وتباعد أماكنها بالاضافة الى أسباب سياسية عديدة. وعلى العكس من ذلك فان تنظيم وادارة خدمات مياه الشرب في المدن مر بتغيرات كبيرة خاصة في الآونة الأخيرة ويمكن تلخيص تطورها بما يلي:

(٦-٣-١) **الادارة المركزية:** ان تنظيم وادارة خدمات مياه الشرب للمدن ظل تحت السيطرة المركزية من خلال وزارة الأشغال العامة (أو مسمى آخر مشابه) طيلة فترة الاستعمار الاجنبي للبلدان العربية. وبعد أن استقلت هذه البلدان تباعا ظل الحال على ما كان عليه لفترات تفاوتت من بلد لآخر. وقد كانت مسؤوليات وزارة الاشغال العامة خلال تلك الفترة محدودة ومحصورة في انشاء وصيانة المباني الحكومية وادارة مشاريع مياه الشرب والكهرباء مما مكنها من تنفيذ مسؤولياتها هذه المحدودة بصورة مرضية خاصة أنه آنذاك كانت هذه الخدمات محصورة في العواصم وجزء ضئيل من المدن الرئيسية الأخرى. أما بعد الاستقلال ونتيجة لتطلعات سكان المدن وحرص الحكومات الوطنية على ارضائهم بدأ التوسع في الخدمات البلدية عددا وحجما اضافة الى ظهور متطلبات أخرى زادت من أعباء ومسؤوليات وزارة الاشغال مثل الاسكان والطرق وزيادة حجم اعبائها السابقة المتعلقة بالمباني الحكومية والتي توسعت هي الأخرى خاصة في مجال المنشآت التعليمية والصحية. وأما هذا التوسع في المسؤوليات اتضح أن وزارة الاشغال بتكوينها التقليدي السابق غير قادرة على تنفيذ هذه المسؤوليات الجديدة مما اضطرها الى توسيع هيكلها التنظيمي وزيادة حجم العمالة والتشعب في المسؤوليات أديا الى تدني كفاءة الاداء مما استدعى اعادة النظر في

المسؤوليات المنوطة بها. وكان من نتائج ذلك، في أغلب الحالات، انسلاخ مسؤولية الاسكان ومسؤولية الطرق عن هذه الوزارة وتحويلها الى وزارات أخرى أو انشاء وزارات جديدة خاصة بكل منهما.

(٦-٣-٢) **الادارة المحلية:** بعد أن استمرت وزارة الاشغال العامة تمارس مسؤولياتها الجديدة المحصورة في مجالات المنشآت الحكومية وقطاعي المياه والكهرباء تبين أن قطاعي المياه والكهرباء توسعا نتيجة لوعي المواطنين واصرارهم على أن هذه الخدمات هي من حق لابد من توفيره لهم، اضافة الى أنهما يحتاجان الى تقنية متخصصة تختلف عن باقي القطاعات العامة. ونتيجة لذلك رؤي أنه من الأنسب ان توكل ادارة هذين المرفقين، خاصة مرافق مياه الشرب، الى الادارات الاقليمية كما أن هذا التوجه سيساعد على ترسيخ معنى اللامركزية والحكم الاقليمي الذي برز كمطلب مساعد على التنمية المتوازنة لكافة مدن القطر. وبعد أن تحولت ادارة مياه الشرب الى الادارات المحلية تبين أن هذه الادارات تفتقر الى الكفاءات الفنية المتخصصة اللازمة لتسيير منشآت مياه الشرب. وأدى ذلك الى التوسع العشوائي غير المخطط لهذه الخدمات وتدني مستوى ادائها. ومن هنا برزت ضرورة اعطاء هذا المرفق الاهتمام اللازم وتوفير الكوادر الفنية المتخصصة اللازمة له ووضع خطط مدروسة لتحسين مستوى هذه الخدمات مما أدى الى فكرة انشاء المؤسسات العامة المتخصصة لمياه الشرب في المدن.

(٦-٣-٣) **المؤسسات العامة المتخصصة:** أمرت ادارة وتنظيم قطاع مياه الشرب للمدن بتغيير ثالث هو اسناد مسؤولية هذا القطاع لمؤسسة عامة متخصصة تتولى التخطيط والتنفيذ والتسيير لمنشآت المياه في كافة مدن القطر ومنح قانون انشاء اداراتها الاستقلال المالي والاداري عن الوزارات الحكومية وعن القوانين الحكومية المالية والادارية ليتسنى لها تصريف أعمالها بما يحقق حسن اداء الخدمات وتطويرها مع اخضاعها الى اشراف الوزير المختص. وقد تبين بعد الممارسة العملية لهذا التنظيم الذي مازال قائما في أغلب البلدان العربية أن الاستقلال المنشود وخاصة الاستقلال المالي يصعب تحقيقه من الناحية الفعلية لأن ذلك يتطلب أن تكون المؤسسة قادرة على الاكتفاء المالي الذاتي والذي هو مرتبط مباشرة بما تتقاضاه المؤسسة من المستفيدين لقاء الخدمات التي تقدمها من خلال تعرفة بيع المياه. وبما ان تحديد التعرفة يخضع لموافقة الحكومة المركزية التي تعتبر أن له ابعادا سياسية ولأنه يمس حياة الناس اليومية، فغالبا لا توافق الأجهزة الحكومية على تطبيق التعرفة اللازمة لتمكين المؤسسة من تمويل مشاريعها الجديدة وتشغيل وصيانة واستبدال المشاريع القائمة. وهنا

تتدخل السلطات المركزية لتخفيض التعرفة التي تقترح واعدة بأن تغطي جزءا من العجز المالي الناتج بدعم سنوي للمؤسسة. وتخصيص مبالغ منفصلة للمشاريع الجديدة ضمن الخطة الانمائية للدولة. ومعنى ذلك اننا رجعنا عمليا الى ربط هذه المؤسسات ماليا بالحكومة المركزية بيد أنه كان من المفترض أن تكون مستقلة عنها. وعليه نجد خدمات المياه في الغالبية العظمى من المدن العربية لا ترقى الى مستوى تطلعات المواطنين. ويمكن القول بأن الاستقلال المنشود لهذه المؤسسات لم يتحقق الا في مجال رواتب ومخصصات العاملين التي عدلت بحيث تزيد عن مخصصات العاملين في وزارات الدولة.

٤-٦ **تنظيم خدمات المجاري والصرف الصحي:**

(٦-٤-١) **الادارة المركزية:** ان مسؤولية خدمات المجاري كانت ضمن مسؤوليات وزارة الاشغال العامة قبل وبعد استقلال البلدان العربية كما كان هو الحال بالنسبة لخدمات مياه الشرب، وبذلك كانت تدار مركزيا باتباع نظم واجراءات الحكومة المركزية. واستمر هذا الوضع لفترة أطول مما استمرت عليه ادارة مرافق مياه الشرب. ويعزى ذلك في المقام الأول لسببين رئيسيين أولهما محدودية هذه الخدمات في المدن اذ كان التخلص من مساه المجاري غالبا ما يتم بطريقة بدائية نسبيا ولم تكن هناك خدمات مجاري بالمعنى المعروف والمتمثل في شبكة مجاري ومحطات للمعالجة، وثانيهما هو أن خدمات المجاري كانت مقتصرة على المنشآت والمباني الحكومية التي تتولى وزارة الأشغال العامة مسؤولية انشائها وصيانتها. وبانتشار وعي السكان لجأوا الى التخلص من مياه المجاري عن طريق منشآت منزلية مثل أحواض التجميع والتحليل (Septic Tanks). ومن هنا تبينت ضرورة تفريغ هذه الأحواض دوريا مما شكل عبئا على وزارة الأشغال من ناحية تنظيم هذا العمل وتوفير وتشغيل الآليات اللازمة له مثل عربات الصهاريج وأماكن تفريغ مياه المجاري المنقولة من الوحدات السكنية العديدة. من هنا برزت ضرورة تحويل ادارة خدمات المجاري الى الادارات المحلية خاصة وأن انشاء الوحدات الفرية في المنازل للتخلص من مياه المجاري بدأ يخضع لموافقة السلطات المحلية ضمن الموافقات التي تمنحها لتشييد المباهي والمساكن الخاصة.

(٦-٤-٢) **الادارات المحلية:** بعد أن تحولت خدمات المجاري والصُرل الصحي الى الادارات المحلية وبخاصة الى المجالس البلدية برزت مشكلة رئيسية الا وهي عدم جاهزية هذه المجالس لادارة هذا المرفق وانشغالها بالمسؤوليات التقليدية التي كانت تتولاها. وكان من نتاج ذلك عدم توافر الكوادر المؤهلة اللازمة لبلورة وتخطيط وتنفيذ وتشغيل وصيانة مشاريع المجاري والصرف الصحي وفشل البلديات في استقطاب هذه الكوادر لعدم حماسهم للانضمام الى الأجهزة البلدية اعتقادا منهم أنهم سيكونون معاملين على أساس أنهم جسم دخيل على الكوادر التقليدية وسوف لا يحظون بالاهتمام المشجع. ومن هنا يلاحظ أن الخدمات في هذا القطاع لم تتطور كثيرا خاصة بالمقارنة مع خدمات مياه الشرب. ويبين الجدول التالي مقارنة بين مستوى الخدمات في قطاع مياه الشرب وقطاع المجاري لسكان المدن في بعض الدول العربية المتوافرة عنها معلومات حديثة.

جدول رقم (٦-١) معدل خدمات المياه والمجاري
لسكان المدن في بعض البلدان العربية
في نهاية عام ١٩٨٥

البلد	نسبة سكان المدن من اجمالي السكان (٪)	نسبة سكان المدن الحاصلين على خدمات مياه الشرب: توصيلات منزلية (٪)	صنابير عام (٪)	النسبة الاجمالية (٪)	نسبة سكان المدن الحاصلين على خدمات المجاري: توصيلات منزلية لشبكة المجاري (٪)	منشآت خاصة (٪)	النسبة الاجمالية (٪)
البحرين	٨٠	١٠٠	-	١٠٠	٣١	٦٩	١٠٠
تونس	٥٣	٩١	٩	١٠٠	٥٤	٣٠	٨٤
الجزائر	٦٧	غ.م	غ.م	٨٥	غ.م	غ.م	٨٠
جيبوتي	٧٥	٣٩	١١	٥٠	٣٩	٣٩	٧٨
السعودية	٨٠	٨٦	١٤	١٠٠	٧١	٢٩	١٠٠
الصومال	٢٥	٢٩	٢٩	٥٨	-	٤٤	٤٤
العراق	٦٥	١٠٠	-	١٠٠	٣٩	٦١	١٠٠
عمان	٢٣	٨١	٩	٩٠	٧٩	٩	٨٨
المغرب	٤٤	٦٨	٣٢	١٠٠	٦٢	غ.م	غ.م
موريتانيا	٣٥	١٥	٥٨	٧٣	٣	٥	٨
اليمن الشمالي	١٠	٦٠	٤٠	١٠٠	٥١	٣٢	٨٣

المصدر: المرجع (١) العقد الدولي لمياه الشرب والصرف الصحي، الوضع في منتصف العقد، هيئة الصحة العالمية، سبتمبر ١٩٨٧.

ان الجدول أعلاه يبين أن خدمات المياه في عدد من البلدان العربية تشمل الغالبية العظمى من سكان المدن ولكن بالنظر الى الاحتياجات الفعلية للسكان نجد أن كميات المياه الموزعة عليهم تقل كثيرا عن احتياجاتهم الفعلية مما يؤدي على عدم استمرارية خدمات المياه على مدار الساعة، وبالتالي يعتبر مستوى خدمات المياه في الغالبية العظمى من المدن العربية متدني ولا يرقى الى مستوى الاحتياجات الفعلية من ناحيتي شمول الخدمة لكافة السكان وتلبية احتياجاتهم الفعلية.

٧- تمويل خدمات مرافق المياه

(٧-١) **الموارد الذاتية:** ان الموارد الذاتية للجهات المسؤولة عن خدمات مياه الشرب أو الصرف الصحي تتكون في المقام الأول من ايرادات بيع المياه أو رسوم خدمات المجاري والصرف الصحي. وكما أسلفنا سابقا نجد أن تعرفة بيع المياه المعمول بها في الدول العربية في مجال مياه الشرب لا تغطي تكلفة الانتاج والتوزيع ناهيك عن تكلفة التوسع والتجديد اللازمين لتحسين الخدمة ومواكبة التوسع والتطور السريع الذي يحدث في المدن العربية. وأما في مجال المجاري والصرف الصحي فان الوضع المالي أسوأ مما عليه في مجال المياه. وبما أن مسؤولية المجاري والصرف الصحي في غالبية المدن العربية تقع على عاتق الأجهزة البلدية فيها فان تحصيل واستغلال رسوم للمجاري يواجه مشاكل عديدة منها:-

- تحديد مقدار الرسوم ودورة تحصيلها.
- عدم وجود مردود مباشر للمشتركين كما هو الحال في المياه وعدم اقتناعهم بدفع الرسوم.
- عدم التمييز، على مستوى البلديات، بين الرسوم المختلفة التي تتقاضاها وتوجيه استغلالها في مجال تطوير خدمات المجاري.

ومن هنا يتضح سبب تدني خدمات المجاري في المدن العربية مقارنة بخدمات المياه.

(٧-٢) **الدعم المركزي الحكومي:** ان عدم تمكين الجهات المسؤولة عن توفير خدمات مياه الشرب والمجاري من تنمية مواردها الذاتية عن طريق تطبيق تعرفة نظير هذه الخدمات بما يكفل لها المقدرة المالية على تمويل نفقاتها الجارية واستثماراتها الجديدة من جهة، وحرص الحكومة على توفير الخدمات الأساسية في هطين القطاعين من جهة أخرى، استوجب قيام الحكومة بسد جزء من العجز بين الموارد والنفقات. وباستثناء الدول النفطية والقادرة على تقديم دعم كبير، فان الدول الأخرى قاصرة عن تحقيق تطلعات المواطنين والجهات المسؤولة عن هذه الخدمات بما يكفل خدمة تفي بالاحتياجات الجارية والمستقبلة. ونتيجة لذلك نرى أن غالبية الدعم المقدم من الحكومات المركزية موجه لمقابلة المصاريف الجارية، وأن جزءا قليلا منه موجه للاستثمارات الجديدة التي يتم تنفيذها بعد أن يصل مستوى الخدمات الى معدل متدني لا يمكن تجاهله. وفي أغلب هذه الحالات تسعى الحكومات لتأمين تمويل خارجي للاستثمارات الجديدة، ومن هنا يأتي دور المؤسسات التمويلية والدول المانحة.

٧-٣ دور المؤسسات التمويلية

(٧-٣-١) **العقد الدولي للمياه والصرف الصحي:** كان لمؤتمر المياه الذي عقد في ماردي بلاتا عام ١٩٧٧ الأثر الكبير في الاهتمام بخدمات المياه والصرف الصحي. وقد برز هذا الاثتمام بصورة ملحوظة منذ بداية العقد الحالي. وقد تجسد هذا الاثتمام في ناحيتين هما:

أ- اهتمام الدول المانحة والمؤسسات التمويلية بقطاعي المياه والصرف الصحي والاستجابة لطلبات الدول لتمويل مشاريع في هذيه المجالين.

ب- اهتمام الدول المستفيدة بتوجيه اولوياتها نحو طلب تمويل لمشاريع خدمات المياه والصرف الصحي أو تدبير تمويل ذاتي لها.

وقد تمثل كل ذلك في زيادة مضطردة للمشاريع التي تم تمويلها ومبالغ التمويل الذي أتيح. ولكن يبدو من نتائج ذلك أن الدول المستفيدة لم تتمكن من الاستفادة من هذه الظروف المواتية لتحسين خدمات المياه والمجاري بصورة أكبر عن طريق استقطاب كل مجالات التمويل المتاحة من قبل المؤسسات التمويلية. وقد يعزى ذلك لعدم وجود دراسات جدوى وتصاميم للمشاريع، والتي تعتبر من العناصر الهامة لدى المؤسسات التمويلية التي تمكنها من دراستها وتحديد موقفها من تمويلها. وهذا بدوره يعيدنا الى النقطة التي سبق ذكرها بخصوص عدم توافر المعلومات وغياب الكوادر المؤهلة أو نقصها وتعدد الجهات المسؤولة عن قطاع المياه والصرف الصحي.

(٧-٣-٢) **دور المؤسسات العربية التمويلية في تمويل خدمات مرافق المياه**

(أ) أسلوب العمل: ان أسلوب عمل المؤسسات العربية يكاد يكون متشابها، وتعتمد مداخلتها في تمويل المشاريع في قطاع ما وفي بلد ما في المقام الأول على طلب رسمي من الأجهزة الحكومية المختصة والتي غالبا ما تكون وزارة التخطيط أو وزارة المالية أو وزارة الاقتصاد. وهناك معايير رئيسية تؤخذ في الاعتبار عند تقييم الطلب أهمها ما يلي:

- ان يكون المشروع المطلوب تمويله واردا ضمن مشاريع الخطة الانمائية.
- ان يكون المشروع مدروسا وأثبتت جدواه ويفضل أن تكون الدراسة شاملة للجدوى الاقتصادية والفنية والتصاميم الفنية.

ويتضح من أسلوب العمل المذكور أن المبادرة تأتي من الدولة المعنية ولا تفرض المؤسسات التمويلية رأيها في تحديد مشروع معين لتمويله. ومن هنا ياتي التفاوت في حجم مساهمة كل مؤسسة بين القطاعات المختلفة وبالتالي التفاوت بين مساهمات المؤسسات العربية التمويلية في قطاعي مياه الشرب والمجاري نفسه. ولكن يمكن القول أنه نتيجة لتزايد اهتمام الدول العربية بهذين القطاعين منذ بداية العقد الحالي فان مساهمات المؤسسات التمويلية العربية فيهما تزايدت على مر السنين. كما أن المؤسسات نفسها بدأت تعطي هذين القطاعين اهتماما خاصا. ونتيجة لذلك فقد زادت مساهمة المؤسسات التمويلية العربية في مشاريع المياه والمجاري من حوالي ٧٥٠ مليون دولار بنهاية عام ١٩٨٥ الى حوالي ١٠٣٠ مليون دولار بنهاية عام ١٩٨٨، أي بنسة زيادة بلغت حوالي ٣٧٪ ومتوسط زيادة سنوية بلغ حوالي ١١٪. اضافة الى ذلك هناك مساهمات اضافية في قطاع المياه ضمن المشاريع متعددة الأغراض كمشاريع السدود. وقد ساهم الصندوق العربي للانماء الاقتصادي والاجتماعي بنصيب كبير من هذا التمويل اذ بلغ اجمالي ما قدمه لهذا القطاع بنهاية عام ١٩٨٨ حوالي ٤٥٠ مليون دولار، أي بنسبة حوالي ٣١٪ من اجمالي ما قدمته المؤسسات التمويلية العربية وحوالي ١٤٪ من اجمالي مساهماته في كافة القطاعات. اضافة لذلك فان نصيب البلدان العربية من التمويل الذي قدمته هذه المؤسسات خلال الفترة ١٩٨٤ - ١٩٨٨ بلغ حوالي ٧٠٪ من اجمالي عملياتها التمويلية.

ويبين الجدول التالي تطور مساهمات المؤسسات التمويلية العربية لقطاع المياه والمجاري على مستوى كافة دول العالم الثالث ونصيب البلدان العربية من هذه المساهمات خلال الفترة ١٩٨٤-١٩٨٨:

جدول رقم (٧-١) العمليات التمويلية للمؤسسات العربية في البلدان العربية

(مليون دولار أمريكي)

السنة	اجمالي التمويل لقطاعي المياه والمجاري	نصيب البلدان العربية من التمويل لقطاعي المياه والمجاري	الزيادة السنوية في التمويل للبلدان العربية	نصيب البلدان العربية من التمويل لقطاعي المياه والمجاري
١٩٨٤	١٠١٢	٧٣٠		٧٢٪
١٩٨٥	١٠٣٨	٧٤٨	٢٪	٧٢٪
١٩٨٦	١٢٣٠	٨٠٨	٧٪	٧٢٪
١٩٨٧	١٢١٥	٨٦٣	٧٪	٧١٪
١٩٨٨	١٤٤٨	١٠٢٨	٢٠٪	٧١٪

المصدر: العمليات التمويلية لمؤسسات التنمية العربية الوطنية والاقليمية (خلاصة تجميعية)، أمانة التنسيق بالصندوق العربي للانماء الاقتصادي والاجتماعي (١٩٨٤-١٩٨٨).

وكما اسلفنا فان مساهمة المؤسسات التمويلية في المشاريع مدخلها بمبادرة من الدولة المعنية. ونتيجة لذلك نجد تفاوتا ملحوظا في هذه المساهمة بين الأقطار العربية المختلفة. وعلى سبيل المثال يبين الجدول التالي مساهمات الصندوق العربي في مشاريع مياه الشرب والمجاري في البلدان العربية ومنه يتضح هذا التفاوت:

جدول رقم ٧-٢ عمليات الصندوق العربي التمويلية في قطاعي المياه والمجاري في البلدان العربية

(مليون دولار أمريكي)

البلد	عدد المشاريع	مبلغ المساهمة	نسبة المساهمة من الاجمالي (٪)
الأردن	٢	٩,٧	٢
تونس	٣	٢٧,٢	٦
الجزائر	١	٥٨,٦	١٣
السودان	٣	٤٩,٣	١١
سوريا	٣	٦٩,٠	١٥
الصومال	١	١٧,٢	٤
عمان	١	٢٠,٧	٥
مصر	٢	٦٢,١	١٤
المغرب	٢	١٨,٣	٤
موريتانيا	١	١,٤	-
اليمن الشمالي	٤	٦١,٠	١٣
اليمن الجنوبي	٦	٥٧,٩	١٣
المجموع		٤٥٢,٤	١٠٠

٨- الخلاصة والنتائج

يستنتج مما سبق أن هناك قصورا في مستوى خدمات مياه الشرب والمجاري في المدن العربية سببه عدة عوامل يمكن تلخيص أهمها بما يلي:

٨-١ أجهزة التخطيط: ان تلبية احتياجات المدن من مياه الشرب والمجاري يتطلب وجود وحدات تخطيط ذات كفاءة هندسية واقتصادية تستطيع أن تضع أو تطور الاستراتيجيات والخطط لتنمية خدمات مياه الشرب والمجاري وتعطسها في الخطط الانمائية، ومن ثم تبلور مشروعات يمكن تنفيذها. ويساعد وجود أجهزة تخطيط

كفوءة على زيادة الاستفادة من الامكانيات المتاحة. وبالنظر الى الوطن العربي نجد أن هذه الوحدات غير موجودة في كثير من البلدان بالفاعلية المطلوبة، وحيثما وجدت فان اداءها في بعض الأحيان ينحصر في تجميع قائمة بمقترحات المشاريع التي ترد اليها من الجهات المستفيدة ومحاولة التوفيق بينها دون استراتيجية واضحة المعالم أو دون دراسات متعمقة. وعليه فانها بحاجة الى مزيد من الكفاءات المتخصصة والصلاحيات اللازمة التي تجعلها أكثر فاعلية.

٨-٢ أجهزة التنفيذ: ان الماء عنصر أساسي في التنمية ولابد من وجود جهات متخصصة تقوم بتخطيط وتنفيذ وادارة مشاريع المياه والمجاري. وقد بينت التجارب أن كفاءة خدمات المياه والمجاري تتناسب تناسبا طرديا مع كفاءة وفاعلية الأجهزة التي تشرف عليها بكل ما في ذلك من أبعاد تشريعية وتطليقية ومؤسسية لصيانة مشاريع المياه والمجاري وتطويرها أو تجديدها، وما ينضوي تحت ذلك كله من عمليات متشابكة تتطلب دقة في التوقيت ومراجعات حذرة في المتابعة مع النظر الدائم للاحتياجات المستقبلية.

٨-٣ التشريعات المائية: ان الخطوة الأولى لضمان فاعلية المؤسسات المعددة والمختصة بتخطيط وتنفيذ منشآت مياه الشرب والمجاري تتطلب وجود تشريعات لتنظيم هذه الخدمات، وتوزيع المسؤوليات والاختصاصات على الجهات المشرفة على ادارتها، وتنظيم العلاقات بين هذه الجهات، على ان تكون هذه التشريعات متناسبة مع المفاهيم المتطورة للاحتياجات ومنسجمة مع الموارد المتاحة، سواء كانت هذه الموارد مائية أو مالية أو بشرية، حتى يتحقق أكبر قدر من الكفاءة في تغطية الاحتياجات المتزايدة. وتجدر الاشارة هنا الى أن مجموعة من البلدان العربية لم تضع بعد مثل هذه التشريعات كما أن البعض الآخر لديه تشريعات الا أنها تحتاج الى مراجعة لجعلها مواكبة للمفاهيم المتطورة في مجال هذه الخدمات.

٨-٤ توثيق المعلومات: توجد في كل قطر عربي معلومات متعددة عن خدمات مياه الشرب والمجاري، ولكن تعدد الجهات العاملة في هذا المجال كثيرا ما يؤدي الى تشتت هذه المعلومات بحيث يصعب الحصول على معلومات متكاملة دون الرجوع الى كل جهة من هذه الجهات على حدة، وما ينتج عن ذلك من مشاق وصعوبة في حصر هذه المعلومات ومن ضياع الجهد عندما لا تطابق بعضها البعض. ومن اجل ذلك، ولكي تكون أجهزة التخطيط والتنفيذ

٩- التوصيات

٩-١ ترشيد استغلال الموارد المائية تدل الدراسات ان هناك هدرا في استعمالات الموارد المائية المتاحة حاليا في كافة القطاعات المستغلة لها. وتشكل عمليات الري المتبعة حاليا أعلى مصادر هذا الهدر التي تقدر كفاءتها بحوالي ٤٠ الى ٥٠٪ فقط. وبما ان استهلاك المياه للأغراض الزراعية يمثل حوالي ٨٣٪ من جملة الطلب على المياه فان جملة ما يهدر قد يصل الى حوالي ٧٠ مليار م^{3}. وبما أن الطلب على المياه يفوق طاقة الموارد المتاحة حاليا وتلك التي يمكن تنميتها فان هذه الأوضاع لا يمكن أن تستمر خلال فترة الاسقاط وتحتم اتباع اجراءات لترشيد استعمال المياه وذلك تفاديا لاستنزاف الموارد المائية الجوفية.

ويكن تلخيص أوجه الترشيد المشار اليه بما يلي:-

٩-١-١- زيادة كفاءة منشآت الري الحالية لتقليل الهدر عن طريق تطهير قنوات الري من الحشائش والترسبات، واتباع طرق الري الحديثة كالري بالرش أو التنقيط، وتبطين قنوات الري.

٩-١-٢- اتباع المقننات المائية المقررة للمحاصيل المختلفة والعمل على تكثيف الدراسات والبحوث لهذه المقننات لتحديد افضل معدلاتها لتحقيق أعلى انتاجية ممكنة.

٩-١-٣- ترشيد توزيع استغلال الموارد المائية جغرافيا عن طريق الجر من المناطق ذات الموارد الفائضة الى المناطق محدودة الموارد.

٩-١-٤- اعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي بعد معالجتها، والتوسع في استخدام المياه قليلة الملوحة لزراعة بعض المحاصيل الزراعية التي يمكنها تقبل معدلات هطه الملوحة.

٩-٢ توصيات ندوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي لعله من المناسب أن نورد فيما يلي توصيات تدوة مصادر المياه واستخداماتها في الوطن العربي التي عقدت في الكويت خلال شهر فبراير ١٩٨٦ لأنها تشكل أرضية علمية لتحديد التوجهات والسبل التي ينبغي اتخاذها حول الأمن المائي العربي:

٩-٢-١- **على المستوى القطري:**

١- تبني سياسات مائية قطرية محددة واعداد خطط للتنمية المائية في اتجاه تحقيق التوازن المائي بين الموارد المتاحة والطلب عليها.

٢- تولي جهاز مركزي في كل قطر الاشراف على تنفيذ السياسة المائية القطرية واقتراح مشروعات التنمية المائية لتحقيق الأمن المائي والتنسيق الكامل بين الادارات العاملة في مجالات المياه واتباع نظرة شمولية في تنمية الأحواض المائية وتكامل مشروعاتها.

٣- دعم امكانية المؤسسات العاملة في مجال المياه وتوفير التمويل الكافي لتنفيذ مشروعات تنمية الموارد المائية.

٤- التنسيق بين الجهات المسؤولة عن المياه وتلك المسؤولة عن التخطيط فيما يتعلق بتنظيم النمو السكاني وتوزعهم الجغرافي.

٥- تخطيط مشاريع المدن والقرى والأرياف والمشروعات الصناعية بما يؤمن احتياجاتها المائية ويتلاءم مع امكانات المصادر المائية المتاحة مع الحرص على حفظ التوازن البيئي.

٦- دراسة تأثير دورات الجفاف على الموارد المائية والعمل على التخفيف من آثارها.

٧- تطوير شبكات الرصد المائية وتحسين وسائل رصد الاستخدامات المختلفة للمياه وتدعيم قاعدة المعلومات وانشاء نظم لحفظها، بغرض تقييم أفضل للموارد المائية.

٨- مواصلة اجراء المسوحات المائية المختلفة واعداد الخرائط لذلك وتحديثها.

٩- العمل على معالجة مشاكل المشروعات المائية القائمة ورفع كفاءتها.

١٠- اجراء البحوث التطبيقية لتنمية الموارد المائية ولتقليل الفواقد المختلفة وترشيد استخدامات المياه الخاصة في الري.

١١- تنفيذ المشروعات الرائدة التي تستهدف توطين التقنيات الملائمة خاصة في مجال تنمية واستثمار الموارد المائية غير التقليدية مثل تحلية المياه واعادة استعمال مياه الصرف الزراعي ومياه الصرف الصحي بعد معالجتها.

١٢- تنفيذ مشروعات رائدة لحصاد مياه الأمطار والتغذية الصناعية للطبقات المائية الجوفية.

١٣- الاهتمام بمعالجة مشكلة الاطماء في خزانات السدود وتقليل الفاقد بفعل التبخر من المسطحات المائية.

١٤- اتباع طرق ترشيد استخدامات المياه بكافة الأساليب وخاصة من خلال:

أ- اعداد التشريعات المائية وتطوير النافذ منها بالتحديث المستمر لتنمية الموارج المائية المختلفة وتنظيم استخدامات المياه وحمايتها من التلوث.

ب- تعميق الوعي من خلال التعليم والاعلام بابراز أهمية الموارد المائية كثروة وطنية يجب المحافظة عليها.

١٥- انتهاج سياسة تطوير معاهد التأهيل والتدريب والتنسيق بينها وتحسين امكانياتها وتحديث مناهجها وتعريب الكتب والمصطلحات العلمية بما يؤمن الاعداد الجيد للكوادر الفنية العاملة في قطاع المياه بكل مستوياتها ويكفل التكامل المرغوب بين هذه المعاهد على الصعيد القومي على أن يكون التركيز في برامجها التدريبية على موضوعات تنمية وادارة الموارد المائية وتشغيل وصيانة المشاريع المائية.

١٦- حث وتشجيع المنظمات العربية المختصة على تعزيز برامجها التدريبية في مختلف مجالات المياه وخاصة فيما يتعلق باعداد الكوادر الفنية في المستويات المتوسطة والتنسيق والتعاون لهذا الغرض مع المنظمات الدولية ذات العلاقة.

١٧- تعميق الاهتمام باعداد الكوادر القيادية في مجال المياه مع التوسع في توفير فرص التعليم العالي في علوم المياه.

٩-٢-٢ **على المستوى القومي:**

١٨- تشجيع تنفيذ المشروعات المائية العربية المشتركة وحث المؤسسات المالية العربية على زيادة المساهمة في تمويلها.

١٩- التوجه نحو انتاج التجهيزات المائية اللازمة والملائمة للبيئة العربية وتوحيد مواصفاتها وكذلك تطويع التقنيات الصناعية وتوطينها بعد اختبار ملاءمتها.

٢٠- دعم المراكز العربية العاملة في قطاع المياه والتعاون معها لتعزيز دورها في تنمية وتطوير قطاع المياه في الوطن العربي.

٢١- استقطاب الخبرات العربية وتنظيم تعاونها في تخطيط ودراسة وتنفيذ وادارة المشروعات المائية والتدريب.

على المستوى الدولي:

٢٢- السعي نحو عقد اتفاقيات دولية لحفظ الحقوق المائية العربية في الأنهار المشتركة.

٢٣- حث مؤسسات التمويل والتنمية الدولية على المساهمة في دراسة وتمويل المشروعات المائية في الوطن العربي.

٢٤- تشجيع برامج التعاون الفني بين الدول العربية والدول الأخرى وكذلك المنظمات والمراكز الدولية في مجالات تنمية الموارد المائية وترشيد استخداماتها.

ويمكن أن نختتم ورقتنا هذه بالدعوة الى ضرورة رفع درجات التعاون والتنسيق فيما بين المنظمات والمراكز العلمية العربية والاقليمية والدولية التي لها علاقة بتنمية الموارد المائية وذلك بهدف وضع استراتيجية دولية مستقبلية ترتكز على المحاور التالية:

أ- تبني الطرق والوسائل السريعة لتوفير المياه الصالحة للشرب في المناطق الأكثر عرضة لشحة الموارد المائية.

ب- العمل على توفير وتطوير موارد مائية كافية لتأمين احتياجات التنمية بشقيها الاقتصادي والاجتماعي.

ج- تأهيل وتطوير الموارد البشرية ومؤسسات المياه لرفع كفاءة ادارة الموارد المائية.

د- تبادل المعرفة وجلب التكنولوجيا الحديثة في مجال المياه وتوطينها والاستفادة منها.

هـ- ايجاد قاعدة معلوماتية مشتركة على هيئة مصرف معلومات للموارد المائية.

و- دعم الابحاث التطبيقية القطرية والاقليمية والدولية للتحري عن المصادر المائية وسبل استغلالها والحفاظ عليها.

ز- مراعاة الاعتبارات البيئية عند التخطيط والتنفيذ لمشاريع الموارد المائية.

الإدارة المتكاملة لموارد المياه في البحرين

مركز البحرين للدراسات والبحوث

الادارة المتكاملة لموارد المياه بالبحرين

اعداد
فريق العمل بمشروع تنمية موارد المياه
تحت اشراف لجنة بحوث المياه
مركز البحرين للدراسات والبحوث
ص . ب ٤٦٩ - المنامة - البحرين

الخلاصة

لقد أصبحت ادارة موارد المياه وفق منهج علمي متكامل ضرورة تفرضها محدودية موارد المياه وتزايد الطلب عليها . وتشمل الادارة المتكاملة لموارد المياه ادخال التعديلات على متغيرات النظام المائي بهدف تنظيم العلاقة بين الموارد المتاحة والطلب عليها وبما يكفل التنمية المستديمة لهذه الموارد . وتناقش الورقة دور التخطيط في تحقيق ادارة موارد المياه . كما تقدم إطاراً تحليلياً لعملية التخطيط بالاضافة الى عرض المخطط التنفيذي لمشروع استراتيجية تنمية واستخدامات المياه في البحرين كنموذج تطبيقي يمكن الاستفادة منه في تحديد العلاقات بين عناصر عملية التخطيط والخطوات التنفيذية لدراسات التخطيط المائي .

المقدمة

١ - المياه هي عصب الحياة وركيزة أساسية في عمليات التنمية ، وموارد المياه العذبة في العالم محدودة بصفة عامة وتتفاقم محدوديتها بزيادة الطلب والمنافسة عليها بين قطاعات الاستخدام المختلفة . ومن ثم تولي دول العالم اهتماما خاصا لتنمية موارد المياه وتطوير سبل استثمارها . ولقد أصبحت إدارة موارد المياه وفق منهج علمي متكامل ضرورة من ضروريات التنمية . والبحرين بحكم ظروفها البيئية والمناخية القاحلة ليست ببعيدة عن تلك التوجهات . ولقد أدى النمو المضطرد لقطاعات التنمية

المختلفة وتزايد معدلات النمو السكاني والتوسع العمراني الى زيادة كبيرة في الطلب على المياه مما ترتب عليه زيادة معدلات استغلال المياه الجوفية حيث تعدت كميات المياه المستخرجة من الخزانات الجوفية حدود التنمية المستديمة وهو ما تسمح بتعويضه القدرة الطبيعة للنظام المائي . وعليه اختل الميزان المائي وبات المصدر الوحيد للمياه مهددا بفقدان صلاحيته للاستخدام ، وأصبح من الضروري أن يتم التعامل مع الموارد المائية واستخداماتها من خلال مخطط مائي قومي يهدف الى تحقيق الادارة المتكاملة لموارد المياه بما يضمن تنظيم العلاقة بين الموارد المتاحة و الطلب عليها في إطار الوفاء بالاحتياجات المائية مع تحقيق التنمية المستديمة للموارد المائية .

٢ – وفي نطاق الجهود الرامية الى ذلك ، يقوم مركزالبحرين الدراسات والبحوث بعمل دراسات التخطيط المائي للدولة ، ويجري العمل بهذه الدراسات وفقا لمخطط تنفيذي تم وضعه للوفاء بمتطلبات عملية التخطيط كمنهج علمي يستهدف تحقيق الادارة المتكاملة لموارد المياه بالدولة وتناقش هذه الورقة الاطار التحليلي لعملية التخطيط مع تقديم المخطط التنفيذي لدراسات التخطيط المائي بالدولة وعرض أنشطة الدراسة بالمراحل المختلفة للمشروع كنموذج عملي يجمع الاعتبارات الفنية والعملية وعلى أساس المشاركة في عملية التخطيط بين المتخصصين وقطاعات الاستخدام والجمهور العام من أجل تحقيق الادارة المتكاملة لموارد المياه .

التخطيط وإدارة موارد المياه :

٣ – تهدف الادارة المتكاملة لموارد المياه الى تنظيم العلاقةبين الموارد المائية المتاحة واستخدامتها بما يكفل الوفاء بالاحتياجات المائية مع ضمان التنمية المستديمة لهذه الموارد . ويتم تحقيق ذلك عن طريق إدخال التعديلات على متغيرات القرار بالنظام المائي ويلعب التخطيط دورا رئيسيا في وضع برامج الادارة لموارد المياه . ذلك باعتبار أن عملية التخطيط هي الاسلوب العلمي لتعريف المشكلة المائية وتحليلها وصياغة بدائل الحلول ثم اختبارها للوصول الى استراتيجية من شأنها تحقيق أفضل موائمة بين المتاح من موارد والطلب عليها وهو ما تستهدفه الادارة المتكاملة لموارد المياه .

٤ – وتبدا عملية التخطيط بتقييم الموارد المتاحة وتحليل الاستخدامات المائية ويشمل ذلك الاسقاطات المستقبلية للطلب على المياه وامكانيات التوسع في المصادر المائية وكيفية تحقيق الموائمة بينهما ويتم التعبير عن هذه الكيفية من خلال المعايير التي تعكس مدى الملائمة من النواحي الاقتصادية والاجتماعية والبيئية وكذلك من ناحية التركيب المؤسسي ومدى ما تسمح به السياسات العامة من احداث تغييرات في انماط الاستخدام المائي ويجب تعريف حدود امتداد النظام المائي المعنى بعملية التخطيط كما

يجب أن تكون عملية التخطيط في إطار زمني محدد حيث أن ذلك كله يعتبر عاملا أساسيا في تقرير طبيعة وحجم المعلومات والبيانات اللازمة لتحليل الاستخدام المائي .

٥ – وتخلص دراسات تقييم الموارد وتحليل الاستخدام المائي الى تعريف المشكلة المائية وأبعادها بما يخدم صياغة اهداف التخطيط والتي يتحدد من خلالها كيفية التعامل مع المشكلة المائية وما يجب أن تتناوله مقترحات الحلول . وعند صياغة اهداف التخطيط فإن ما تفرضه طبيعة التعامل مع المياه ، من حيث أن لاغنى عنها ولا بديل لها ، قد يجعل هذه الاهداف تتجه مباشرة ومن البداية الى التركيز على جانب واحد فقط هو الطلب على المياه مما يجعل أهداف التخطيط تنحصر في دائرة ترشيد استخدام المياه . ورغم أهمية هذا الجانب إلا أن الادراة المتكاملة لابد أن تشمل كل من الموارد والطلب وهو ما يجب أن تعكسه صياغة اهداف التخطيط . كما يجب أن تتضمن عملية تحديد الاهداف تحليل الاهتمامات بالمشكلة المائية على المستوى العام وعلى مستوى المتخصصين والمشتغلين بشئون المياه ، حيث يتم ترجمة هذه الاهتمامات الى أهداف مرغوب تحقيقها ومع تقدم العمل في أنشطة التخطيط فإنه لابد من إعادة فحص وتقييم ما تم صياغته من اهداف ومن ثم تصفيتها للوصول الى أهداف محدده ومعرفه تعريفا كاملا .

٦ – يتبع تحديد وتعريف اهداف التخطيط صياغة ووضع بدائل الحلول والخطط البديلة التي تخاطب هذه الاهداف ، مع مراعاة أن يكون كل من البدائل المقترحة قابل للتنفيذ ومتوافق مع الظروف التشريعية والاجرائية بالاضافة الى الاعتبارات الاجتماعية والبيئية . وعادة يتم التوسع في اقتراح البدائل بالمراحل الأولية لعملية التخطيط ، إلا أنه مع تقدم الدراسات تكون هناك عملية مستمرة لبلورة وتنقيح الخطط البديلة ينتج عنها اسقاط البعض من هذه البدائل وادماج وتكامل البعض الأخر بما يجعل الخطط البديلة اكثر واقعية واكتمالا ووضوحا . ويلي ذلك إجراء تحليل موضوعي لتعريف وقياس التأثيرات المتوقعة والمترتبة على تنفيذ كل من هذه الخطط البديلة من النواحي الاقتصادية والاجتماعية والبيئية . وتمثل عملية تقييم التأثيرات الاساس لتحديد مدى ما يحققه كل بديل من مساهمات إيجابية أو سلبية . ويتم ذلك من خلال قياس ما يحدثه تنفيذ كل خطه بديلة من تغييرات على كل من العوامل المختلفة المقترنة بتنفيذ هذه الخطة و الذي يتحدد من الفرق بين ما يتم قياسه من قيم هذه العوامل عند تنفيذ الخطة وبدون تنفيذها فيما يعرف بالتحليل المقارن تحت ظروف تنفيذ الخطة وظروف عدم تنفيذها .

٧ – ويلي ذلك اختبار كل خطة من الخطط البديلة لتحديد مدى تقابل التأثيرات المترتبة عليها مع أهداف التخطيط وقياس درجة نجاح كل من هذه البدائل في الوفاء بمتطلبات عملية التخطيط ، بما يتيح المقارنة بين الخطط البديلة وإجراء عملية الاختيار للخطة الاكثر ملائمة ، وذلك إعتبار أن أفضل الحلول هو اكثرها توافقا مع معايير التقييم من

حيث الصلاحية والاكتمال والفاعلية والكفاءة الاقتصادية ومدى الاستجابة لأهداف التخطيط . وجدير بالذكر أن دور التخطيط في الادارة المتكاملة لموارد المياه لايقف عند حد تقديم الخطة الملائمة للتنفيذ بل يمتد الى مراحل التنفيذ ومابعد التنفيذ . ويرجع ذلك الى أن الظروف المستقبلية التي تطرأ أثناء تنفيذ الخطة أو بعدها غالبا ما تتأثر بعوامل خارجية يصعب التنبؤ بها أو أخذها في الاعتبار عند صياغة واختبار واختيار الخطة الملائمة ، ولذلك فإن وضع برنامج نظامي لمراقبة ورصد تنفيذ الخطة وتقييم التأثيرات الفعلية المترتبة عليها هو جزء لاينفصل عن عملية التخطيط باعتبارها عملية ديناميكية تتطلب المتابعة والتحقيق والتحديث .

٨ – وسوف يتم فيما يلي عرض المخطط التنفيذي لدراسات التخطيط لموارد المياه بدولة البحرين ، والذي يتم من خلال مشروع استراتيجية تنمية واستخدامات المياه في البحرين ، كنموذج عملي لتطبيق ما سبق عرضه من إطار تحليلي لعملية التخطيط بهدف تحقيق الادراة المتكاملة لموارد المياه .

دراسات التخطيط لموارد المياه بدولة البحرين

٩ – تهدف دراسات التخطيط المائي بمشروع استراتيجية تنمية واستخدامات المياه في البحرين الى وضع مخطط مائي قومي لتحقيق الادارة المتكاملة لموارد المياه وذلك بما يتلائم وطبيعة المشكلة المائية ، آخذين في الاعتبار الوضع المائي الحالي ومتطلبات النمو والتوسع المستقبلي لاستخدامات المياه و ما يترتب عليه من أعباء على الموازنة المائية وما يتطلبه ذلك من جهود لتخفيف تلك الاعباء عن طريق ترشيد استخدام الموارد المتاحة والتوسع في استخدام الموارد غير التقليدية من تحلية المياه المالحة واعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة إضافة الى تحسين قيمة استخدام الموارد المائية من خلال التوظيف الأمثل لهذه الموارد وفيما يعرف ذلك كله بتنمية موارد المياه ، ويتم ذلك من خلال إطار علمي يجمع المتغيرات المائيه وعلاقاتها التبادلية حيث يتم تحليل وصياغة بدائل الحلول الممكنه ثم اختبارها للوصول الى استراتيجية من شأنها تحقيق أفضل مواءمة بين المتاح والطلب ، وفيما يعرف ذلك كله بالتخطيط لادارة موارد المياه .

المخطط التنفيذي للدراسات

١٠ – ينقسم المخطط التنفيذي حسب طبيعة الدراسات الى ثلاث مراحل رئيسية . وتختص المرحلة الاولى بتنفيذ الدراسات التشخيصية بهدف تحديد حجم المشكلة المائية وعناصرها ومتغيراتها وبذلك يتم رسم الصورة المائية المتكاملة وتوفير البيانات والعلاقات الاساسية بما يخدم أهداف التخطيط ويمهد لوضع الخطط البديلة لتحقيق هذه الاهداف

وهو موضوع المرحلة الثانية من المشروع والتي تتعامل فيها الدراسات مع المشكلة المائية من النواحي العلاجية والوقائية حيث يتم تحليل البيانات من مخرجات المرحلة الأولى وصياغة بدائل الحلول المقترحة واجراء الاختبار والتقييم ثم الاختيار لتحقيق الاسلوب الامثل لعلاج المشكلة المائية وتحديد الاجراءات الوقائية اللازمة لسلامة وأمن الوضع المائي المستقبلي . والمرحلة الثالثة تختص بالنواحي التنفيذية للخطة المائية ويتم فيها التعاون والتنسيق مع الاجهزة التنفيذية بالدولة حيث تقوم مجموعة تخطيط الموارد المائية بمتابعة تنفيذ وتقييم التأثيرات الفعلية وتحديث الاستراتيجية لتتمشى مع ما قد يطرأ من متغيرات باعتبار أن التخطيط المائي عملية ديناميكية تتطلب الاستمرارية والمتابعة والتحديث . ويوضح الشكل رقم (١) المخطط التنفيذي للمشروع وفيما يلي عرض لما يتضمنه من دراسات بكل مرحلة من المراحل الثلاث المشروع .

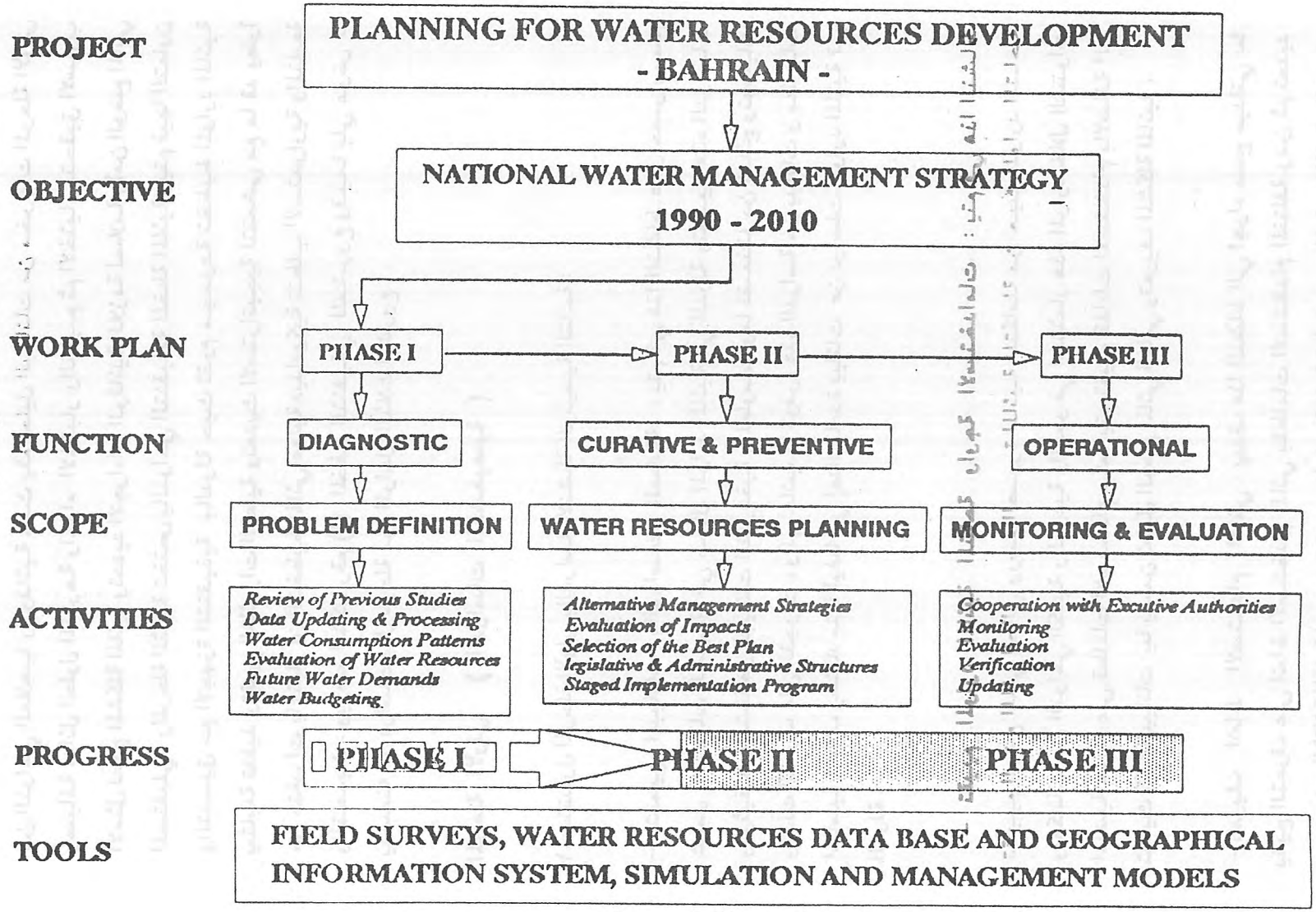
المرحلة الأولى (الدراسات التشخيصية)

١١- تتناول المرحلة الأولى بالدراسة الانشطة الرئيسية التالية :

- **تجميع البيانات والدراسات السابقة** : يتم في هذا النشاط عمل حصر ومسح شامل للدراسات السابقة في مجال الموارد المائية في الدولة وتجميع هذه الدراسات وتوثيقها واستخلاص البيانات التاريخية والمعلومات وما تضمنته من نتائج وتوصيات وكذلك التعرف على الفجوات ، والى جانب ما توفره هذه الدراسة من بيانات و معلومات اساسية فسوف يستفاد منها أيضا في إعداد قاعدة بيانات عن دراسات الموارد المائية في الدولة .

- **تقييم الموارد المائية المتاحة واوجة الاستخدامات** : يتم في هذا النشاط تقييم الوضع المائي الحالي ورسم الصورة المائية المتكاملة من حيث الموارد المتاحة وامكاناتها من النواحي الكمية والنوعية والنمو في استثمار هذه الموارد خلال السنوات الماضية موزع على قطاعات الاستخدام ، كما يتم تقييم كفاءات الاستخدام بالاضافة الى تحديث كافة البيانات بما يضمن تمثيل الوضع المائي الحالي وتعريف المشكلة المائية .

- **تعريف انماط الاستخدام المائي** : يهدف هذا النشاط الي اجراء مسح ميداني بما يتيح التعرف على انماط الاستخدام المائي بقطاعات الاستخدام المختلفة ومن ثم تحديد مستويات الثقافة المائية لدى مستخدمي المياه وكيفية تعاملهم مع الموارد المائية والتعرف على أوجه القصور وما يمكن اتخاذه لرفع كفاءة الاستخدام هذا بالاضافة الي تحديد الاعتبارات العملية للتخطيط ومشاركة الجمهور العام بالرأي في عملية التخطيط وتشمل هذه الدراسة القطاعات الزراعية والسكانية والخدمية والصناعية من مستخدمي المياه .



شكل رقم (١) المخطط التنفيذي لدراسات التخطيط المائي بدولة البحرين

- **الاحتياجات المستقبلية للمياه** : يتم في هذا النشاط عمل الاسقاطات المستقبلية للاحتياجات المائية موزعة على مصادر المياه وأوجه الاستخدام المختلفة من خلال تحليل بيانات خطط التوسع المستقبلي لقطاعات الاستخدام وسوف تشمل اسقاطات الاحتياجات وامكانية تنمية الموارد مقدرة حتى عام ٢٠١٠ .

- **إنشاء قاعدة بيانات الموارد المائية** : يهدف هذا النشاط الى انشاء قاعدة بيانات يتم من خلالها استخدام الحاسب في حفظ وتخزين واسترجاع ومعاملة البيانات المختلفة بالمشروع مع امكانية تطويرها وربطها بنظام معلومات جغرافي . بما يتيح معالجة وتحليل البيانات للأغراض المختلفة .

المرحلة الثانية للمشروع (الدراسات العلاجية والوقائية)

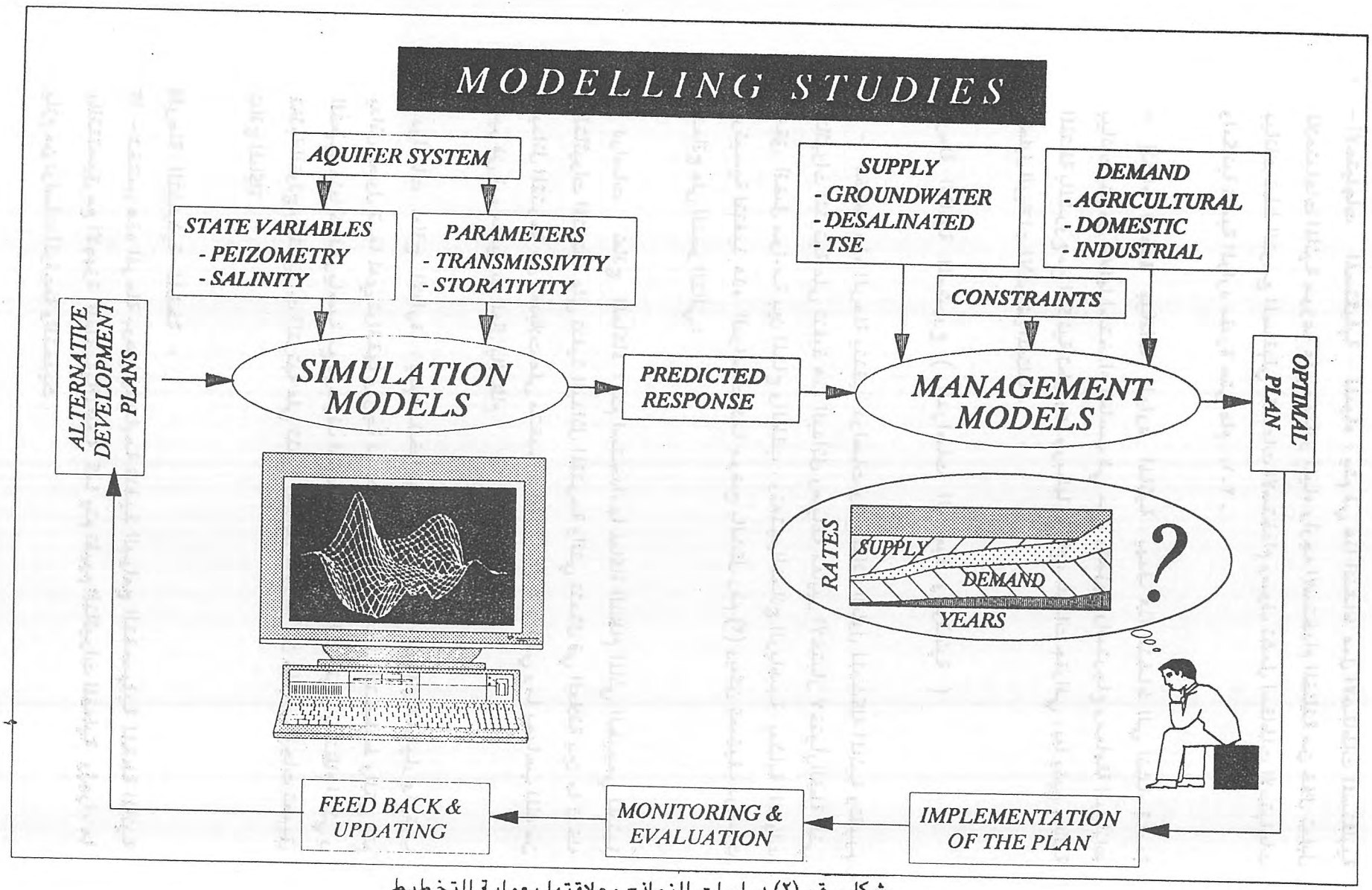
١٢ - تختص هذه المرحلة بتنفيذ دراسات وضع بدائل الحلول للمشكلة المائية وتقييم التأثيرات المترتبة على تنفيذ هذه البدائل وصياغة معايير الاختبار لاختيارالخطة التي تحقق أفضل مواءمة بين المتاح والطلب . وتعتبرالنماذج الرياضية بمثابة الادوات الرئيسية لتنفيذ هذه الدراسات كما موضح بالشكل رقم (٢) ويمكن تصنيف دراسات النماذج على النحو التالي :

- **دراسات نماذج المحاكاة** : يتم استخدامها لمحاكاة النظام المائي الطبيعي للتنبؤ بالتأثيرات المترتبة على تنفيذ البدائل المقترحة والتي تتمثل في العلاقة بين ما تدخله البدائل المقترحة من تعديلات على متغيرات القرار بالنظام المائي وما يصاحب ذلك من تغير في قيم متغيرات الحال بالنظام .

- **دراسات نماذج الادارة** : يتم استخدامها لاجراء عملية المقارنة والاختيار وترتيب بدائل الحلول تبعا لمدي توافقها ودرجة نجاحها في تحقيق أهداف التخطيط والتي يتم التعبير عنها كدالة رياضية مع توصيف المحددات لمتغيرات الحال والقرار بالنظام المائي و تغذية النوذج بالتأثيرات المترتبة علي تنفيذ البدائل المقترحة من خلال مخرجات تطبيق نماذج المحاكاة .

المرحلة التنفيذية للخطة :

١٣ - تختص هذه المرحلة بوضع ومتابعة تنفيذ البرامج التفصيلية للخطة المائية بالتنسيق مع الاجهزة التنفيذيةالمعنية كما يتم تقييم التأثيرات الفعلية وإجراء ما يلزم من دراسات المراجعة والتحديث .



شكل رقم (٢) دراسات النماذج وعلاقتها بعملية التخطيط

النتائج والتوصيات :

١٤ - إن الادارة المتكاملة لموارد المياه واستخداماتها من خلال مخطط مائي هي ضرورة تفرضها طبيعة الوضع المائي في عصر تتفاقم فيه محدودية موارد المياه وتزايد الطلب والمنافسة عليها بين قطاعات الاستخدام المختلفة ، وذلك باعتبار أن التخطيط هو الاسلوب العلمي لتعريف المشكلة المائية وتحليلها للوصول الى استراتيجية من شانها تحقيق أفضل مواءمة بين المتاح والطلب ، وتوفير الاحتياجات المائية مع ضمان التنمية المستديمة لموارد المياه من أجل مستقبل تنموي ينعم بالأمن المائي .

١٥ - إن الادارة المتكاملة لموارد المياه تعنى أن يشمل الاطار التحليلي لعملية التخطيط، كما سبق عرضه، تكامل كل من الموارد المائية على إختلاف مصادرها وكافة قطاعات ومجالات الاستخدام المائي مع القضايا والاهتمامات المائية على مستوى كل من الجمهور العام والمتخصصين ، حيث أن هذا التكامل اساسي في تحديد الاعتبارات العملية للتخطيط وتحقيق التوافق بين أهداف عملية التخطيط والسياسات العامة أو ما قد يتواجد من خطط مركزية بقطاعات الاستخدام المختلفة .

١٦ - إن دور عملية التخطيط لا ينتهي عند حد اختيار الخطة الاكثر ملائمة وتوافقا مع أهداف التخطيط بل يمتد الى متابعة تنفيذ الخطة وتقييم ما يترتب عليها من تأثيرات فعلية وإجراء ما يلزم من تحديث ، كما أن مراقبة ما يطرأ من تغيرات على النظام المائي وإعادة تقييم الموارد المائية واستخداماتها كلما تطلب ذلك يؤكد على أن التخطيط عملية ديناميكية ومستمرة .

١٧ - إن ما تم عرضه في هذه الورقة من إطار تحليلي لعملية التخطيط والمخطط التنفيذي لدراسات التخطيط المائي بدولة البحرين يقدم نموذجا تطبيقيا يمكن الاستفادة منه في تحديد العلاقات بين عناصر عملية التخطيط والخطوات التنفيذية لدراسات التخطيط المائي .

المراجـــع :

1 - Petersen,M.S.,Water Resources Planning and Development, Prentice Hall - Inc., Englewood Cliffs, N.J.,1984 .

2 - United Nations Economic Commission for Europe, Proceedings of the Seminar on Long - Term planning of water Manangement, Bulgaria, 1976

3 - Khater, A., Dannish, S. and Ansari,M., Planning for Water Resources Develoment in Bahrain, Proceedings of the International Seminar on Planning for Groundwater Development in Arid Regions, Cairo,1991 .

تنوية

فريق العمل بمشروع تنمية موارد المياه

د. سامي عبدالله دانـــــش	مدير المشروع – مركز البحرين للدراسات والبحوث
د. أحمـــــد خاطـــــر	رئيس المشروع – مركز البحرين للدراسات والبحوث
باحث محمـــد الانصـــاري	منسق المشروع – مركز البحرين للدراسات والبحوث
هيدرجيولوجي أول مبارك أمان	ادارة مصادر المياه – وزراة التجـــارة والزراعـــة
د. وليـــد زبـــاري	جامعـــة الخليـــج العربـــي
د. خالـد فـــاروق الخطـــيب	مـــركز البحـــرين للدراســـات والبحـــوث
أنسة فتحية فيصل الدوسري	اخصائيـــة كمبيوتـــر
السيدة خلود ابراهيم عتيـــق	سكـــرتـــاريـــة

لجنة بحوث المياه

مهندس/ جميـــل العلـــوي	وكيل وزارة الاشغال والكهرباء والماء لشئون الكهرباء والماء
مهندس / رســـول مسيـــب	الوكيل المساعد لشئون المياه بوازرة الاشغال والكهرباء والماء
مهندس / خليفة ابراهيم المنصـــور	مدير ادارة التوزيعات بوازرة الاشغال والكهرباء والمـــاء
هيدرلوجي / مبارك أمان النعيمـي	رئيس الحفر بإدارة مصادر المياه بوزارة الزراعة والتجـارة
الدكتور / ابراهيـــم لـــوري	أستـــاذ مساعـــد – جامعـــة الخليـــج العربـــي
الشيخ محمد بن عبد الوهاب الخليفة	مدير إدارة البحوث الزراعية بوزارة الزراعة والتجـــارة
مهندس /علـــي اســـد	رئيس قسم مشاريع المجاري– شئون الاشغال العامـــة
مهندس / محمـــود مسيـــب	رئيس قسم الصيانة – بالهيئـة البلديـة المركزيـــة

جَلسة رقم (٢)

(٢) منق تسلج

Aquifer Storage Recovery (ASR): Ensuring Water Supply Reliability for the Gulf Region

A paper presented at the Water Sciences and Technology Association, First Gulf Water Conference, Dubai, October 10-14, 1992.

Author: R. David G. Pyne, PE., Senior Engineer, CH2M HILL Consulting Engineers, PO Box 147009, Gainesville, Florida 32614-7009, U.S.A. (904-331-2442)

Abstract

1. An increasing proportion of potable water supplies for the Gulf region are obtained from desalination plants that are vulnerable to unforeseen loss due to natural and other disasters. Furthermore, brackish water reserves are declining in many areas at an accelerating rate. During the past few years, technology has developed to store potable water in brackish limestone, sand and other types of aquifers similar to those found in the Gulf region. This "aquifer storage recovery" (ASR) technology has been applied successfully at 12 sites within the United States and is being developed at about 35 additional sites in the US and three other countries. The same wells used for recharge are also used for recovery of the stored water. Relative to other water management measures ASR is very cost-effective, typically reducing capital costs by at least 50%. With appropriate design and operation, the same volume of water stored can usually be recovered without the need for retreatment other than disinfection. This technology could be applied in the Gulf region in conjunction with desalination facilities, to ensure water supply reliability. A series of strategic water reserves would be established at key locations, each designed and operated to maintain a reserve of about one year's supply or more. Once filled, the same reserves would also be used to help meet seasonal peak demands, recharge brackish water reserves and other objectives.

The paper reviews ASR development and presents three selected case studies of ASR application in the United States. These were constructed to meet seasonal peak demands, emergency water supply and drought protection, storing water in limestone and sand aquifers containing brackish water and seawater, respectively, and a sandstone aquifer containing potable water. Three representative proposed ASR applications in the Gulf region are presented, including sites within Kuwait, Saudi Arabia and Oman. Each of these is planned in conjunction with desalination facilities to provide a strategic water reserve for emergency supplies while also meeting other secondary objectives such as seasonal peak demands, recharging brackish water reserves, and salinity intrusion control. Technical issues are discussed, including various aspects of ASR well, wellhead and wellfield design to ensure successful operation. A phased approach that is usually followed on ASR projects is presented, along with a discussion of ASR economics.

Introduction

2. Desalination of salt water has placed the Gulf states in a leadership role worldwide with

the development and implementation of desalination technology, contributing greatly to the economic and cultural success and standard of living in this region. Demand for high quality water has increased steadily, and has been met primarily through salt water desalination combined with increased development of local aquifers.

3. However, recent events in the Gulf region have demonstrated the vulnerability of regional desalination water sources to emergency shutdown, whether due to regional hostilities, potential intake of oil with the source water, or due to other reasons. At the same time, brackish groundwater reserves from aquifers underlying the Gulf states continue to decline.

4. The issue confronting many water managers is one of ensuring reliability of water supplies in the face of these challenges. The concept of developing "Strategic Water Reserves" has attained heightened interest, to provide adequate emergency supplies when principal sources are out of service. The key to development of such strategic reserves lies in their proper location, design, construction and operation to ensure that they will, in fact, be viable under design conditions. While storage reservoirs of concrete and steel, above and below-ground, may aid in achieving reliability objectives, the volumes of water that can be stored usually provide an emergency supply for only a few days. In contrast, an emergency supply of several months' duration or more may be desirable.

5. One technology that has been developing rapidly in the United States during the past 12 years appears to address this need quite well. Known as "Aquifer Storage Recovery" or "ASR," this is the storage of potable water through wells in suitable aquifers during times when the water is available, with recovery of the stored water from the same wells when needed to meet potable demands. Typically the same volume of water stored is recovered without the need for retreatment other than disinfection. Storage zones include an increasingly wide variety of hydrogeologic and water quality conditions, however several existing ASR systems store water in brackish limestone and sand aquifers very similar in character to those underlying major portions of the Gulf region. ASR is a very cost-effective water management practice, making efficient use of existing water supply, treatment and transmission facilities, and also making use of underground storage volume provided at little cost by nature. ASR is not high technology, but neither is it low technology. It has a unique design and operational approach that distinguishes ASR wells from conventional wells for either production or injection.

6. The opportunity for the Gulf region would be to match ASR systems with existing desalination facilities, to ensure adequate supplies of high quality water and with acceptable reliability. ASR systems would be located wherever possible at, or close to, existing desalination facilities or transmission pipelines supplied by those facilities. Other logical locations would be beneath major demand centers or other locations of strategic importance. Careful consideration of aquifer hydrogeologic and water quality characteristics are essential in the proper siting of ASR systems. Secondary objectives can also be met with such systems, such as meeting peak seasonal demands, combatting salt water intrusion or recharging brackish aquifers to replenish declining reserves.

ASR Development

7. Although the modern development of ASR technology has occurred recently in the United States, the first people to use this water management approach were perhaps the bedouins of the Kara Kum Plain in the vicinity of the Caspian Sea. Historically, these people excavated long ditches radially around their water storage sites to convey the runoff from infrequent rainfall for storage beneath sand dunes. They knew that recharge occurred beneath the dunes even though it did not occur elsewhere in the desert due to the presence of a thin layer of silts and clays near the surface. Hand-dug wells were used for water supply and were cased with brush. Water for livestock was always withdrawn from those wells that were as far as possible from the center of the sand dune while still yielding water of acceptable quality. Drinking water was obtained from wells at the center of the sand dune. During more severe droughts when the wells would become too salty, the bedouins would add sand to the bottom of the wells to reduce upflow of saline water through the bottom. When this too became insufficient, they would move to sites with "reserve" water in storage, that were not used for routine needs.

8. More recently, in the United States, this same concept has developed using conventional drilled or bored wells and vertical turbine or submersible pumps.
The first such ASR system began operation in 1969 in New Jersey, storing potable water in a brackish sand aquifer to meet seasonal peak demands and also to form a salinity intrusion barrier in the coastal city of Wildwood. Since that time, a total of 12 ASR systems have been placed in operation, as shown in Table 1. Approximately 35 additional ASR systems are in various stages of development, ranging from investigation to design, construction, testing or expansion. As shown in Figure 1, these systems are distributed widely throughout the country. Most of these are in confined aquifers, although ASR storage in unconfined aquifers is feasible in many cases.

9. Of particular significance to the Gulf region, Table 2 lists the geology of the storage zone utilized at each of the sites in operation or under development. Four of the twelve sites currently in operation store water in limestone, artesian aquifers, while three utilize sand aquifers and one utilizes a sandstone aquifer. These are generally the aquifer types found in the Gulf region. Furthermore, six of the twelve operational ASR sites store potable water in brackish aquifers, with total dissolved solids concentrations ranging from about 800 to 1500 mg/l. All of these recover the same volume of water stored, while meeting potable drinking water TDS standards. One of the sites approaching completion of testing is storing potable water in a seawater aquifer with a native water TDS concentration of 37,000 mg/l. Two other Florida sites are conducting ASR tests in limestone artesian aquifers with native water TDS concentrations of about 4000 and 5000 mg/l.

10. Most of the ASR experience pertinent to the Gulf region occurs in Florida, which has four operational ASR sites and seven others in development, all but one in brackish or seawater aquifers. Storage zones are predominantly limestone, with one well screened in a sand aquifer. A brief review of ASR status at two of these Florida sites and one

site in Texas provides a basis for comparison with potential ASR applications in the Gulf region:

Cocoa, Florida

11. The City of Cocoa is located on the east coast of Florida, due east of Orlando. The Cocoa water system serves approximately 150,000 people, including Cape Canaveral and the Kennedy Space Center. Since groundwater along the coast is saline and surface water supplies are highly variable in both quantity and quality, the City chose to develop inland fresh groundwater supplies during the 1950's. The distance from the end of the wellfield to the end of the distribution system in the service area is about 80 km. The Claude H. Dyal water treatment plant is rated at 167 Ml/d and provides softening of the groundwater. Faced with the need to meet increasing peak demands exceeding the design capacity of their wellfield and treatment plant, the City proceeded with development of several alternatives, including additional supply wells, a surface water reservoir, and ASR wells. The ASR system became operational in 1987 and was expanded during 1991 to a recovery capacity of 30 Ml/d. The storage zone is a brackish, limestone aquifer at a depth of about 90 to 110 m. Annual storage volume is expected to be about 0.4 mcm (1 billion US gallons). All of the stored water is recovered without the need for retreatment other than disinfection. The system is designed to distribute recharge proportionally to six ASR wells at variable rates between 11 and 23 Ml/d, and to recover from all wells at a combined rate of up to 30 Ml/d. Key valves and pumps are computer monitored and electrically controlled. Future ASR expansions will be located either at the treatment plant or at logical locations in the distribution system where recovered water can help to maintain system pressures during peak demand conditions.

Marathon, Florida

12. The Florida Keys Aqueduct Authority supplies water to permanent and seasonal residents of this island chain in southern Florida. The aqueduct crosses 42 bridges and 190 km of transmission pipeline through an area frequented by hurricanes. As a result this water system is highly vulnerable to catastrophic failure. Planned provision of emergency ground storage reservoirs was expected to cost about US$70 million. The Authority began investigations to evaluate the feasibility of utilizing ASR technology to store drinking water underground in a suitable aquifer beneath major pumping stations and population centers. A phased program was implemented, including an initial feasibility assessment followed by test hole drilling and then construction and testing of prototype test facilities. The storage zone is a thin sand aquifer containing seawater at a depth of about 135 m. Testing is approaching successful completion with plans underway to expand the facility at this site to include initially three more wells, each with a target storage capacity of about 60 to 120 Ml. Under emergency conditions when the water source from the wellfield and water treatment plant is not in service, each well would recover to the transmission or distribution system for about one month while emergency repairs are completed. A secondary goal of the ASR system is to meet

seasonal peak demands that occur during winter months, thereby reducing power costs for transmission. Water stored during spring months is available to provide emergency supplies during the hurricane season between June and October. If no hurricane damage occurs, then this water can be recovered to meet peak season demands during the subsequent winter. Estimated cost of the ASR system is under US$5 million, representing a substantial savings to the Authority. This is the first project in the world to successfully store potable water in a seawater aquifer. Recovery efficiency is climbing with successive ASR cycles and, as of May 1992, had reached 71%.

Kerrville, Texas

13. Several decades of groundwater production at rates exceeding natural recharge caused aquifer water levels in this area to fall over 100 m. As a result, the City of Kerrville entered into an agreement to purchase water from the Upper Guadalupe River Authority (UGRA), which then constructed a dam on the Guadalupe River and an associated 19 Ml/d water treatment plant in 1980. As demand continued to climb, the UGRA was faced with the need to construct an off-stream reservoir at an estimated cost of US$30 million. UGRA elected to evaluate the feasibility of ASR as a water management alternative. A test well and several monitor wells were constructed at the water treatment plant site and a series of ASR test cycles were conducted. Results were then incorporated in a hydrogeologic model to evaluate the storage capacity of the aquifer and the response of water levels due to recharge and recovery operations that are likely to occur under normal climatic conditions and also under extreme drought conditions. The investigation showed that ASR could fully utilize the natural storage capacity available in the aquifer and eliminate the need for the offstream reservoir, at a cost of about US$3 million. In addition, the water treatment plant expansion that had been planned could be delayed since peak demands can be met from ASR wells and average demands can be met from the plant. The first ASR well is now operational and a second well also became operational during June 1992. The storage zone is a confined sandstone and conglomerate aquifer at a depth of about 200 m. System operation will recharge the aquifer whenever excess treated water is available from the treatment plant and aquifer water levels are below a target elevation. Recovery will occur to meet seasonal peak demands and also extended drought demands. As a result of ASR operations, water levels in the local aquifer will be restored to predevelopment levels.

ASR Applicability in the Gulf Region

14. Three representative sites were selected in the Gulf region, to illustrate how ASR technology may help to ensure water supply reliability and also achieve other secondary objectives. The project conceptual design at each site is based upon limited available information and is not intended to be a complete assessment of ASR feasibility at each site. The three sites are in Kuwait, Saudi Arabia and Oman.

Kuwait:

15. Seawater distillation capacity is about 1140 Ml/d from four distillation plants. This

supply is augmented by brackish water wellfield capacity totalling about 480 Ml/d and a very small supply from two freshwater wellfields. Water consumption from all sources averaged about 540 Ml/d in 1988, with highest use during the summer and lowest use during the winter. About 37% of this consumption was from the brackish water wellfields, which have been experiencing a steady decline in water levels. Maximum daily demand during 1988 was about 650 Ml/d. The ratio of maximum month demand to average month demand for freshwater is about 1.45. Total groundwater in storage is about 16 days' supply at average rates.

16. Potential loss of one or more distillation plants could have a significant impact upon the ability of Kuwait to supply and distribute a potable supply with adequate quantity and quality. Consequently the development of a strategic water reserve designed and operated to provide a one year supply of water and located close to Kuwait City may provide considerable benefit. Other Kuwait strategic reserve sites could be distributed as appropriate so that the recovered water could be directed to different points within the transmission and distribution system.

17. For purposes of this paper, it is assumed that the initial site would have a recovery capacity of about 70 Ml/d and would store 25 mcm of potable water. The storage zone would be the Dammam limestone, which is brackish with total dissolved solids concentrations of about 4000 to 5000 mg/l. Aquifer thickness is around 200 m and occurs at depths of about -60 m to -260 m. Land surface is about 90 m elevation. Potentiometric surface gradient is about 2 m/km to the northeast. Aquifer transmissivity is estimated at 160 to 400 m2/d while storativity is about 3.4 x10-4 to 8.9x10-4.

18. Individual well recharge and recovery rates would have to be determined from appropriate testing, however preliminary estimates are that recharge rates would average about 1.3 Ml/d while recovery rates would average about 2 Ml/d. The wellfield would include about 40 wells, arranged on a grid pattern or possibly four parallel lines of 10 wells each, with a spacing of about 200 m between wells. The area encompassed by the wellfield would be about 2 sq km, allowing for a small buffer zone around the wellfield.

19. The strategic reserve would be filled during the first two years of operation, using available desalination capacity. Once filled, the reserve would be operated seasonally to help meet peak demands during summer months and to improve the quality of stored water. Experience has shown that successive cycles of operation at the same volume tend to improve the quality of recovered water by flushing brackish water out of the storage zone around each well. Depending upon well design and operation, recovered water quality would be very similar to recharge quality after perhaps three operating cycles, requiring only disinfection to meet potable standards. The stored water would be contained within the wellfield area and would not be subject to contamination or evaporation losses. Groundwater flow to the northeast is very slow and should not interfere with recovery efficiency.

20. The Dammam limestone formation occurs throughout most of the Gulf region, with varying thickness, water quality and hydraulic characteristics. Other strategic reserve sites in Kuwait and elsewhere could be developed to utilize the storage potential of this aquifer, the characteristics of which are very similar to limestones of the Floridan aquifer. As discussed previously, Florida now has 4 operational ASR sites with 7 others in various stages of development, all but one in brackish limestone aquifers.

Saudi Arabia:

21. The largest saltwater distillation plant in the world is located at Al Jubail, with a capacity of about 950 Ml/d. This plant supplies water to Riyadh through long, parallel transmission pipelines. Ensuring water supply reliability entails consideration of two challenges: potential loss of the distillation plant and potential loss of one or more transmission pipelines. Consequently strategic water reserves could be located at various points along the transmission line between Al Jubail and Riyadh, depending upon need and also depending upon hydrogeologic opportunities.

22. Review of available hydrogeologic data suggests that three aquifers may potentially be available for strategic reserve purposes: the shallow Neogene deposits, the underlying Dammam limestone and the deeper Umm Er Radhuma formation. Based upon ASR experience at other locations, it may be possible to stack the strategic reserves vertically, utilizing two or three of these aquifers and common recharge and recovery piping to sets of wells, each set penetrating a different aquifer. In this way a large storage volume and recovery rate could be developed in a relatively small area. The Dammam limestone has been discussed above, as it may be utilized in Kuwait. Consequently the remaining discussion here is for the Neogene and Umm Er Radhuma formations.

23. With a typical thickness of 30 to 300 m, these surficial deposits include sands, marls, limestones and siltstones. In some areas, particularly near wadis, these sediments may include locally productive aquifers however the areal extent of these aquifers is usually not widespread. Based upon limited experience with these deposits, it is probable that geochemical considerations may limit the usefulness of Neogene deposits for ASR purposes. The best approach may be to select the site for one or more strategic reserves based upon primary storage in another aquifer, then conduct testing in such a way as to include assessment of whether the surficial deposits can augment storage capacity in a useful and cost-effective manner.

24. The Umm Er Radhuma (UER) aquifer between Al Jubail and Riyadh is typically found at depths of about 400 to 600 m, increasing from west to east. TDS concentrations also increase in this direction, ranging from about 1000 to greater than 5000 mg/l at Al Jubail. Horizontal permeability averages about 0.8 m/d, based upon 35 pumping tests (Bakiewicz et al, 1982). This suggests a transmissivity of roughly 160 m^2/d, within a rather broad range. Storage coefficients are typically in the range of 10^{-4} to 10^{-3} where it is confined. The top 10% of the UER aquifer is composed of dolomitic limestones, locally karstified but subsequently infilled with clayey sediments. The middle portion

of the aquifer is composed of calcerinitic limestones, frequently fissured and constituting an excellent aquifer. The storage zone would be selected based upon site specific data and testing, however it is probable that a site closer to Al Jubail would utilize a thin section of the aquifer to minimize mixing with the poorer quality native water in the aquifer. A site closer to Riyadh would be able to utilize a thicker aquifer section with correspondingly higher well yields, since greater mixing with the aquifer water would be possible while still meeting potable standards during recovery.

25. Assuming the availability of both the Dammam and UER aquifers, a strategic reserve located on 2 sq km may be able to recover at rates of up to about 140 Ml/d for one year under emergency conditions, using the same general design approach as outlined above for Kuwait. The same facility could also help to meet seasonal peak demands under normal operating conditions. Several such strategic reserves could be located at key locations in Saudi Arabia to ensure water supply reliability.

Oman:

26. A preliminary review of limited available data suggests that one opportunity for ASR application in Oman lies in the Batinah Hydrologic area of coastal northern Oman. In this area, alluvial sediments of the coastal plain aquifer are found at shallow depths of up to about 60 m or more. The Dammam and UER formations are also found in Oman, underlying the alluvial sediments. Possibly all three aquifers could be used for strategic reserve purposes, concentrating a large amount of storage volume and recovery capacity in a small area. The brackish quality of water in the deeper aquifers would probably not inhibit their use for storage purposes.

27. The coastal plain aquifer is unconfined. It is composed of upper gravels underlain by clayey gravels and cemented gravels to depths of up to 600 m or more in some areas. Most production is from the upper gravels at depths of up to 100 m or more. Reported specific capacity of wells in the eastern portion of the area where the saturated aquifer thickness is greatest, ranged from about 500 to 1000 cmd/m. Transmissivities are reported to range from around 525 to 6500 m^2/d. Water quality is potable in the upper gravels. Depth to water table increases with distance from the coast, averaging about 20 m and as much as 65 m where the gravels intersect the adjacent mountains. Due to heavy agricultural groundwater production, salt water intrusion has occurred along the coast as water levels inland have declined. This aquifer also supplies potable water for Muscat and surrounding area.

28. One possible ASR application in this area would be the combined use of ASR wells for potable water supply and for salinity intrusion control in the alluvial sediments, similar to current practice in Wildwood, New Jersey, and also in southern California. Water would be stored in ASR wells during times when it is available in excess of potable demands, and would be recovered when needed to meet seasonal peak or emergency

demands. If desired, some small portion of the stored water could be left in each well to help form a salinity intrusion barrier. The ASR wellfield site could be located close to or at the point of demand, whether or not the aquifer in that area is already intruded by saltwater. Hydrologic investigations would be necessary to ensure that ASR facilities are designed and operated to achieve acceptable recovery of the stored water. Since the aquifer is under water table conditions, the rate of movement of the stored water may tend to be greater, depending upon the hydraulic gradient in the area. Furthermore the stored water would be more subject to contamination from overlying land use than would a confined aquifer such as the Dammam or the UER aquifers.

29. A second possible ASR application in Oman would be the development of a strategic water reserve in the Dammam or Umm Er Radhuma aquifers. Although present at greater depth than the alluvial sediments, it may be possible to achieve full recovery of the stored water after a few initial cycles of storage and recovery to develop the aquifer around each of the ASR wells. A logical location for such ASR wells would be at or near existing or planned desalination facilities along the Batinah coastline. Once the strategic reserve is developed, it could also be used to help meet seasonal peak demands for potable water.

ASR Technical Considerations

30. ASR wells differ from either production or injection wells in their design, construction and operation. Careful consideration of these differences can help to ensure successful operation. Frequently it is necessary to make an initial decision regarding whether to evaluate ASR feasibility with new wells designed for the purpose, or to utilize existing wells that may be available. If the existing well is considered expendable due to low yield, sand production, age or condition, it may be unsuitable for ASR purposes. Furthermore, production or injection wells tend to have screens or open-hole intervals designed to maximize yield, with interconnection of different aquifers and without major regard to differences in geochemistry with depth. Where mixing and geochemical constraints are minor, such wells can often be cleaned and retrofitted to ASR purposes with little problem. However where mixing between stored and native water has to be minimized, or where geochemical considerations indicate that one or more formation intervals should not be utilized, existing wells may be unsuitable for ASR purposes. The high value of the desalinized water, the brackish waters in the storage zones, and the potential strategic importance of ASR in the Gulf region suggest that ASR testing and operational facilities should include new wells, designed to achieve full recovery of the stored water and to minimize mixing and plugging problems.

31. Some of the factors in ASR well design that distinguish these from other types of wells include the need for adequate casing diameter to provide for downhole equipment that may include the pump and associated column, air line, drawdown measuring tube, power cable for submersible pumps, and also possibly an injection tube. The casing material is also important. Every effort should be made to minimize ferrous surfaces and associated potential for rust. During recharge this rust tends to flow down the well, plugging the formation. For casing depths less than about 175 m, it is advisable to use

Schedule 80 polyvinyl chloride (PVC) casings where inner diameters are less than about 500 mm. Successful installation and cementing of PVC casings requires a larger diameter hole than for steel casings. For larger diameter or deeper casings, epoxy coated steel has been used with success. Once the casing has been cemented, it is advisable to use rubber bumpers on the drill string to prevent damage to the epoxy coating during subsequent drilling and screening operations below the casing. Fiberglass and other non-ferrous casing materials may be appropriate for some wells where plugging potential is significant, epoxy coated steel casings are considered inappropriate or unavailable, and the depth is too great for PVC casings. For limestone formations, it is usually appropriate to acidize the storage zone to enhance ASR operations.

32. ASR wellhead design includes several unique features, a complete discussion of which is beyond the scope of this paper. However three issues of importance are mentioned here: injection method, flow and water level measurements, and disinfection.

33. The proper selection of injection method is very site-specific and is essential to long-term ASR success. Water may be injected down the annulus, one or more separate injection tubes, the pump column, or a combination of these methods. It can also be injected under slight positive pressure or under a vacuum at the wellhead. Pump column recharge has been conducted successfully with vertical turbine pumps and testing is underway at one site using a submersible pump column. The depth to water level and the hydraulic characteristics of the well and pump have to be considered in the selection of recharge method. It is important to avoid cascading of water down the well since this will tend to entrain air, which flows out into the formation and air-binds the well. Air binding can usually be reversed with time and with extended pumping, however it should be avoided if possible.

34. Where depths to water level are great, the potential operating problems associated with vacuum recharge, namely cavitation, noise and possible inability to maintain a vacuum, may be unacceptable. In these situations it is preferable to throttle injection flows, either with a small injection tube or with a downhole control valve. Such a valve has been developed recently and is undergoing extended testing at one CH2M HILL recharge project where depth to water level is up to about 300m and recharge flow rates may range from about 0.3 to 3 Ml/d. If successful as indicated by testing to date, this new type of valve will facilitate recharge down pump columns of existing wells and will also permit recharge in smaller diameter new wells. A significant advantage of this new valve is the range in recharge rates achievable. With conventional injection tubes, it is usually necessary to cease recharge when flows available drop below some predetermined level, otherwise cascading will occur. Similarly when recharge flows are available at higher rates, the small diameter of the injection tube severely limits the rate at which the well will accept recharge.

35. Flow and water level measurement is an essential component of ASR operations. It is important to monitor the rate and cumulative volume of recharge and recovery so that the volume stored in the strategic water reserve is known, and also to assess well hydraulic and water quality performance. Plugging tends to occur in ASR wells due to

several factors, among which the most important are solids in the recharge water, geochemical reactions, and bacterial action. Pumping the well for a period of a few minutes to an hour every few days to few months is usually sufficient to flush these solids from the well and restore recharge and recovery flow rates. The required frequency of redevelopment has to be determined site-specifically, based upon initial testing and operations. Flow and water level measurement therefore provides the data to properly operate the ASR system. The use of higher quality flow meters is desirable. Where this is not viable, it is wise to include two flow meters in series, preferably with different measurement methods, so that the failure of either one will become immediately evident as a growing difference between flow measurements of the two meters.

36. Disinfection is the only treatment usually required for water recovered from ASR storage. In some instances, pH adjustment of the recharge or recovered water may be necessary to address geochemical issues or to maintain stability. Of particular importance, however, is the advisability of maintaining a chlorine residual in the well during storage periods when neither recharge nor recovery is occurring. Whether using a trickle feed of chlorinated water down the well casing or a periodic flush of a few cubic meters of disinfected water every 2 to 5 days, the objective is to prevent bacterial activity in the well, open hole, screen or gravel pack, and thereby reduce the potential for plugging. Experience has shown that, in the absence of any disinfection during storage periods, the chlorine residual in the well dissipates in a period of up to about 5 days.

37. Wellfield design for ASR systems is also quite different than for conventional production wellfields. The primary difference is the advisability of setting the well spacing so that the stored water bubble surrounding each well tends to overlap with those from adjacent wells. This spacing therefore depends upon the anticipated recharge and recovery rates, durations and allowable mixing with native water. Typically the stored water bubble surrounding each well does not extend more than a radius of about 300 m and frequently considerably less than this distance, depending upon aquifer thickness, porosity and stored water volume. Through careful operation, the bubbles eventually coalesce into a single mass of stored water. During both recharge and recovery, it is important to initially operate the wells so that recharge and recovery rates are distributed proportionally, otherwise the stored water bubbles will flow away from the wells under the gradient imposed by disproportionate pumping. This will tend to result in reduced recovery efficiency.

38. Many other technical and non-technical issues are pertinent to successful ASR operation. These are best addressed in a phased approach to development of ASR facilities at each site. Elements of a typical approach are as follows:

Phase 1 - Feasibility Assessment

39. This phase develops the project to the extent possible with available data, usually stopping short of collecting any additional field data. Following a review of aquifer

storage recovery history and status, this would normally include a review of water supply and water demand records and projections, including annual and monthly averages and peaks. Water quality of alternative recharge sources is evaluated for a wide range of constituents of interest to ASR operations. Hydrogeology of the area is considered, including such information as water levels and trends, well locations, aquifer hydraulic characteristics, well production rates, lithology, geochemistry and groundwater quality. Based upon this preliminary information, an assessment of probable ASR feasibility is made. ASR primary and secondary applications and associated sites are then suggested and developed in sufficient conceptual detail to support a plan, site selection and cost estimate for phase two investigations and for full system development. Duration of Phase 1 is normally about 4 to 6 months.

Phase 2 - Field Investigations

40. Typically this phase would begin with design and construction of a monitor well at the selected site, to collect detailed hydrogeologic information including geophysical logs. For unconsolidated aquifers, continuous wireline cores would be collected in the storage zone during construction, selected intervals from which would be sent to a core laboratory for detailed analysis of their mineralogic content, porosity, permeability, scanning electron microscope analysis, cation exchange capacity and several other tests. Data from the cores would then be combined with geophysical logs and water quality of the aquifer and recharge water to support a computer geochemical analysis. If this indicates potential problems with precipitation of minerals or leaching of minerals from the formation, then further column tests may be performed to provide a basis for design of pretreatment measures for the recharge water, the aquifer or both. Filter testing of recharge water is usually advisable, to evaluate solids content under simulated recharge conditions.

41. Based upon monitor well, geochemical results, and filter test the ASR well, wellhead facilities and any additional monitor wells are designed. Where the performance of alternative well designs is of interest, more than one ASR well may be constructed and tested. Usually it is advisable to first construct and test the ASR well to establish probable recharge and recovery rates prior to designing wellhead facilities. Engineering design also includes associated pipelines, pumping stations, disinfection and other facilities to convey water to and from the recharge site from the nearest point in the distribution system. ASR facilities are then constructed and initial baseline tests are implemented to determine aquifer hydraulics, plugging characteristics and water quality. Sometimes a long term pumping test of several months' duration may be desirable to establish baseline water quality during a simulated recovery period prior to recharge.

42. Upon completion of baseline testing, a series of ASR test cycles is usually conducted over a period of about 6 to 24 months. The number and design of the cycles depends upon the technical issues at each site. Usually three to seven cycles are conducted, focusing on such issues as mixing, improvement in water quality with successive cycles, stratification during storage periods, plugging, redevelopment frequency, geochemical and other water quality changes. During these cycles, extensive data is collected on

water quality, flow rates, water levels and pressures, so as to fully document system performance and thereby provide a basis for system expansion.

43. Upon completion of well construction and testing, an interim report is usually prepared, summarizing all information collected and analyzed to date. At the completion of ASR cycles, a final report is prepared. The final report would include a conceptual plan for system expansion and an associated cost estimate. Phase 2 normally requires about 2 years to complete, at the end of which one or more ASR wells are in full operation.

Phase 3 - ASR Wellfield Expansion

44. Engineering design of facilities to expand the ASR wellfield to its full desired capacity would then be completed and the facilities constructed. These may include ASR and monitor wells, wellhead facilities, piping, pumping stations, disinfection facilities, telemetry control and other treatment facilities, as appropriate. A key component of the third phase is the preparation of an Operations Guidelines report, to train and guide operations personnel with the startup and long-term operation of the ASR system. Experience has shown that startup assistance for a period of a few months is important, so that operations personnel can become comfortable with how the system works.

ASR Economics

45. As shown in Table 3, ASR is a very cost-effective water management alternative. Typically the costs for achieving water management objectives with ASR are less than half the costs of achieving them with other conventional alternatives. In some cases, the reduction in capital cost is as much as 90%. The principal reason for the savings is the use of an underground reservoir provided at little cost by nature, rather than an above-ground reservoir constructed with concrete and steel. Furthermore, aquifer storage of large volumes of water can be used to meet multiple objectives. For the Gulf region, the primary objective would be the development of a strategic water reserve. Secondary objectives may include seasonal peak supply, restoration of aquifer water levels, maintenance of distribution system flows and pressures, stabilization and improvement in water quality, controlling salt water intrusion and deferring expansion of desalination facilities. Since desalination facilities tend to be expensive and ASR wells are relatively inexpensive, meeting increasing peak demands with ASR capacity can substantially reduce capital costs.

46. The ASR sites listed in Table 3 include five utility systems for which comparative cost estimates were prepared, with and without ASR, to meet water supply objectives. Wyoming, Michigan, involved aquifer storage of seasonally available treated surface water beneath a major pumping station in the distribution system, compared with a parallel long transmission pipeline to Lake Michigan. Making more efficient use of the existing pipeline was shown to potentially save the city about 70% of the capital cost. Peace River, Florida, involved seasonal storage of treated surface water in a brackish limestone aquifer, as an alternative to construction of an offstream surface reservoir.

Projected cost savings in this case were about 58%, and that system is now being expanded to a capacity of 30 Ml/d. Manatee county, Florida, has two ASR wells with plans for expansion to about 11 wells and ASR recovery capacity of about 70 Ml/d. The alternative plan was development of a distant wellfield, transmission pipeline, pumping station and treatment plant at several times the cost. Both alternatives are being implemented to meet future demands. As discussed previously, the Florida Keys ASR system is projected to meet emergency demands at about 7% of the cost of conventional aboveground surface storage. Kerrville, Texas, is now operational with an ASR system that can meet seasonal peak and long-term drought demands at about 10% of the cost of the previously planned offstream surface reservoir.

Conclusions

47. ASR technology has been developed in recent years in the United States and is now proven as an efficient and cost-effective water management measure. This technology appears to be applicable in the Gulf region to enable development of a series of Strategic Water Reserves that would ensure water supply reliability during emergency periods. Secondary objectives include a wide range of benefits such as seasonal peak storage, distribution system flow and pressure control, salinity intrusion prevention and several other applications. A logical, phased approach to the development of ASR systems is recommended to achieve success.

Bibliography

Abusada, S.M., Technical Report: The Essentials of Groundwater Resources of Kuwait. Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait, May 1988.

Al-Rawahy, Hussam, "Water Resources Management and Planning Decision Support System for the Sultanate of Oman." PhD Dissertation, University of Florida College of Engineering, Department of Environmental Engineering Sciences, August 1992.

Annual Report, Ministry of Electricity and Water, Kuwait, 1989.

Bakiewicz, W., Milne, D.M., and Noori, M., Hydrogeology of the Umm Er Radhuma Aquifer, Saudi Arabia, with reference to fossil gradients. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 1982, volume 15, pp 105-126.

Burdon, D.J., Hydrogeological Conditions in the Middle East. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 1982, volume 15, pp 71-82.

Doyal, W.W., Aubel, J.W., Davison, W.D., Graf, C.G., Jones, J.R., and Kennedy, K.G., "The Hydrology of the Sultanate of Oman - A Preliminary Assessment." Report PAWR 83-1, Public Authority for Water Resources, Sultanate of Oman, February 1984.

Groundwater in the Eastern Mediterranean and Western Asia. Natural Resources/Water Series No. 9. United Nations, New York, 1982.

TABLE 1

OPERATIONAL ASR FACILITIES IN US

Location	Operating Since	Ml/d
Wildwood, NJ	1968	13
Gordons Corner, NJ	1971	9
Goleta, CA	1978	23
Manatee, FL	1983	13
Peace River, FL	1984	19
Cocoa, FL	1987	30
Las Vegas, NV	1988	76/190*
Port Malabar, FL	1989	4
Oxnard, CA	1989	33
Chesapeake, VA	1990	11/38*
Kerrville, TX	1991	4
Seattle, WA	1991	26

**ASR Expansion*

TABLE 2

ASR FACILITIES IN DEVELOPMENT IN U.S.

Arizona (2)	Sand
California (6)	Sand
Cobb County, GA	Fractured Granite
Colorado (2)	Sand
Florida (7)	Limestone, Sand
Nevada (2)	Sand
Myrtle Beach, SC	Clayey Sand
New Jersey (7)	Clayey Sand
Salt Lake County, UT	Sand
Santa Fe, NM	Clayey Sand
Washington (2)	Glacial Drift
Huron, SD	Clayey Sand
Oregon	Basalt

( ) = number under development in each state

TABLE 3
ASR ECONOMICS

LOCATION	EXPANSION WITH ASR	COST (US $Million) WITHOUT ASR
WYOMING, MI	9	31
PEACE RIVER, FL	46	108
MANATEE COUNTY, FL	2	38
FLORIDA KEYS, FL	5	70
KERRVILLE, TX	3	30

Aquifer Storage Recovery (ASR) Projects in the United States (June 1992)

OTHERS

- ● In Development
- ○ In Operation

Figure 1

Aquifer Storage Recovery (ASR) Projects in the United States (June 1992)

Figure 1

مدخل لخفض الطلب على المياه في البحرين

من خلال برامج لكشف التسربات وترشيد الاستهلاك

خليفة إبراهيم المنصور

مدخل لخفض الطلب على المياه في البحرين
من خلال برامج لكشف التسربات وترشيد الاستهلاك

مؤتمر الخليج الاول للمياه
دبي، دولة الامارات العربيه المتحده
١٠ - ١٣ اكتوبر ١٩٩٢

اعداد: خليفه ابراهيم المنصور
مدير ادارة توزيع المياه
وزارة الأشغال والكهرباء والماء
دولة البحرين

ملخص

وصل معدل الطلب على المياه من شبكة اسالة المياه في عام ١٩٨٥ حوالي ٤٨ مليون جالون في اليوم (٥٦،٤ للطلب الأقصى) بعد أن كان حوالي ١٦ مليون جالون في اليوم فقط في عام ١٩٧٥ (١٧،٢ للطلب الأقصى) أي ان الزياده كانت ثلاثة أضعاف في عشر سنوات. ومقابل ذلك كانت هناك زياده في معدل استهلاك الفرد من ٦١ الى ١١٣ جالون في اليوم أي الضعف في الفتره ذاتها. هذه الزياده وان كانت طبيعيه في بعض جوانبها الا ان في جوانبها الاخرى غير مبرره وتحتاج الى تحليل ومواجهة خاصة مع ارتفاع تكلفة انتاج المياه عن طريق التحليه الذي أصبح بديلا ضروريا في ظل تدني مصادر المياه الجوفيه وتدهور نوعيتها. لذا كان من الضروري مع بداية عام ١٩٨٦ الشروع في برامج تمثلت في كشف التسربات وترشيد استهلاك المياه اشتملت كذلك على تطبيق تعرفة للمياه وذلك للتحكم في هذه الزيادات الكبيره في الطلب. جاءت نتائج البرامج ايجابية للغاية لحد الآن حيث انخفض معدل الطلب السنوي في عام ١٩٩١ من مستوى متوقع يقدر بـ ٧١ مليون جالون في اليوم الى ٦٠،٥ مليون جالون في اليوم وينتظر أن يؤدي استكمال البرامج الى تخفيضات اخرى مستقبلا تقدر بين ١٠٪ الى ١٥٪ من المستوى المتوقع للطلب في عام ٢٠٠٠. تشرح هذه الورقه التطور التاريخي للطلب على المياه في البحرين وتناقش تأثير البرامج على هذا الطلب حاليا ومستقبلا.

مقدمـــه

تعاني معظم الدول العربية والتي تتميز بالمناخ الجاف وشبه الجاف من تدني كبير في موارد المياه المتجدده وتشير التقديرات الى أن نصيب الفرد في العالم العربي من هذه الموارد يبلغ حوالي ١٥٠٠ متر مكعب سنويا اذا ما استثمرت مجمل الموارد المائيه. وتتفاوت هذه الكمية من منطقه الى اخرى حيث تبلغ أدناها في اقليم الجزيره العربيه حيث تصل الى حوالي ٥٠٠ متر مكعب فقط [١] (تم تعديل الأرقام لتعكس الواقع الحالي للسكان) أما بالنسبه للبحرين فلا يتعدى نصيب الفرد ١٨٠ متر مكعب سنويا. لهذا السبب جاء توجه جميع دول مجلس التعاون بما فيها البحرين الى ايجاد مصادر مياه بديله وبتكاليف باهظه تمثلت أساسا في تحلية مياه البحر لتغطية الاحتياجات المنزليه بشكل أساسي وأيضا الى معالجة مياه المجاري لاستخدامات الري. وتشير الاحصاءات المتوفره الى تعاظم مشاركة هذه المصادر غير التقليديه ومياه التحليه بشكل رئيسي في الميزان العام لتلبيه الطلب المتعاظم للمياه من شبكات توزيع المياه حيث لاتقل هذه المشاركه حسب المعلومات المتوفره عن ٥٠٪ من المياه الموزعه. ومع هذا الواقع الصعب تشير الاحصاءات المتوفره عن ارتفاع كبير في استهلاك الفرد للمياه في دول الخليج حيث يقدر أن يتجاوز ذلك ١١٠ جالون في اليوم (٥٠٠ لتر في اليوم) كما هو حاصل في البحرين وهي أرقام كبيره مقارنة بالمعدلات العالميه التي تبلغ حوالي ٦٠ - ٧٠ جالون في اليوم وبالاستهلاك في بعض الدول الأخرى كسنغافوره مثلا الذي لا يتعدى استهلاك الفرد فيها عن ٣٥ جالون في اليوم (يوضح الجدول رقم (١) متوسط استهلاك الفرد في بعض الدول العربية والغربية).

اضافة الى ذلك ومع عدم وجود معلومات دقيقه في هذا الشأن الا أن التقديرات تشير الى ان نسبة الفاقد من شبكات المياه في العديد من الدول العربيه تتراوح بين ٢٥٪ الى ٦٠٪ من الطلب الكلي [٢] وهي نسب مرتفعه اذا ما قورنت بمثيلاتها في بعض الدول الأخرى حيث تتراوح هذه النسبه في العديد من الدول المتقدمه الى ما بين ٥ و ١٠٪. (أنظر جدول رقم ٢ الذي يوضح الفاقد في بعض شبكات المياه في بعض الدول الأخرى).

يتبين من هذه الأرقام مفارقه عجيبه ومؤلمه في الوقت ذاته ألا وهي تضخم استهلاك الفرد خاصه في دول الخليج وارتفاع مستوى الهدر في شبكات مياه بعض الدول العربيه ذات الرصيد الضعيف من الموارد المائيه وحيث ترتفع تكاليف انتاج المياه مقارنة بالدول الأخرى ذات الرصيد الجيد من مصادر المياه بينما يجب أن يكون الأمر عكس ذلك. هذا وأن يصعب تبرير هذا الواقع الا أنه يمكن ارجاع أسباب التأخر في معالجته الى بعض أو كل من العوامل التاليه:

١) ضعف المعلومات الخاصه بشبكات توزيع المياه سواء كان ذلك مستوى الفاقد من هذه الشبكات أو أنماط الاستهلاك.

٢) عدم الادراك الكافي بالفوائد الاقتصاديه المترتبه من خيار تقليل الهدر وبالمقابل كان التوسع في تطوير مصادر جديده خيارا قابلا للانجاز السريع ومضمونا في الوقت ذاته خاصة في مرحلة الزياده الكبيره للطلب على المياه الأمر الذي ترتب عليه ضعف الأهتمام بالخيار الأول وتدني المخصصات الماليه اللازمه له لتنفيذه.

٣) قلة توفر الكوادر الفنيه المؤهله لدراسة الوضع تفصيليا ووضع الحلول الضروريه لتصحيحه عبر برامج قد تمتد الى سنوات طويله من التنفيذ.

ومع هذا فهناك توجها جديدا بدأ مؤخرا في دول مجلس التعاون والدول العربيه الأخرى كما في البحرين للأهتمام بهذا المجال ونتوقع أن يكون له مردود كبير كما سيأتي شرحه في هذه الورقه.

تطور الطلب على المياه في البحرين

اعتمد أهالي البحرين لحصولهم على المياه في القديم على الينابيع الطبيعيه المنتشره في البلاد ومع بداية الثلاثينات ومواكبة للأكتشافات البترولية ونظرا للطلب المتزايد على المياه فقد شرع في حفر آبار ارتوازيه في مناطق عديده في البلاد ومثلت هذه الآبار نقاط التوزيع الرئيسيه للمياه التي كانت تنقل الى البيوت في صفائح معدنيه عن طريق المستهلكين أنفسهم أو عن طريق السقاه لقاء أجرا معين. استمر هذا الأسلوب حتى أواخر الأربعينات حيث تم حينذاك الشروع في تمديد بعض شبكات التوزيع البسيطه موصله مباشره بمضخات مركبه على آبار مياه جوفيه أو من خلال خزانات علويه. استمر هذا النمط من التوزيع حتى منتصف السبعينات حيث تم ادخال محطات التحليه ولأول مره في نظام تزويد المياه الذي تطور وأصبح يشتمل كذلك على محطات ضخ لمياه جوفيه وخطوط نقل طويله نسبيا ومحطات خلط تشمل خزانات أرضيه وعلويه وأجهزة معالجه للمياه يشرف على كل ذلك جهاز تحكم ومراقبه مركزي.

شهد الطلب على المياه في البحرين توسعا كبيرا مع بداية شروع الدوله في حفر آبار ارتوازيه في مناطق متعدده من البلاد وقفز هذا الطلب الى مستوى أعلى مع ابتداء الدوله في تركيب شبكات توزيع المياه كما أشير اليه آنفا وزيادة عدد المستفيدين من توصيلات المياه الى منازلهم والزياده في عدد السكان الذي بلغ تعداده في آخر احصاء عام ١٩٩١ حوالي ٥١٦ ألف بعد أن كان ٢١٦ ألف في عام ١٩٧١. وللأسف لا توجد احصاءات دقيقه لتطور الاستهلاك في الفتره التي سبقت السبعينات، الا أنه خلال العقدين المنصرمين وبالتحديد منذ عام ١٩٧٠ أي بداية تسجيل استهلاك المياه وحتى الآن يمكن تصنيف تطور الطلب بثلاث مراحل:

١) مرحلة استقرار الطلب:

وتمتد منذ عام ١٩٧٠ الى عام ١٩٧٥ وفيها استقر الطلب عند مستوى ١٥ مليون جالون كمعدل يومي واستهلاك الفرد اليومي عند حوالي ٦١ جالون.

٢) مرحلة الزيادة المرتفعة:

وتمتد منذ عام ١٩٧٥ الى عام ١٩٨٥ وفيها قفز المعدل اليومي للطلب من ١٥،٩ الى ٤٨ مليون جالون أي تضاعف ثلاث مرات خلال عشر سنوات وهي زياده مذهله بكل المقاييس. وتقدر الزياده السنويه على الطلب في هذه الفتره بحوالي ١٢٪. ويمكن ارجاع هذا الارتفاع بشكل رئيسي الى التوسع الكبير في شبكة اسالة المياه الذي واكب زيادة النشاط الاقتصادي حينها واتساع الرقعه السكانيه وبالتالي زيادة عدد المستفيدين من خدمات المياه والزياده في عدد السكان. ورافق ذلك تطور كبير في مستوى المعيشه في مجتمع البحرين كانت احدى علاماته الزيادة الكبيرة في مستوى استهلاك المياه اليومي للفرد، حيث بلغ عام ١٩٨٥ حوالي ١١٣ جالون في اليوم بعد ان كان ٦١ جالون في اليوم في عام ١٩٧٥، كذلك يلزم القول أن هذا الارتفاع في الطلب يشمل أيضا كميات مهدرة من الشبكه حيث بلغ معدل التسربات المرئية من الشبكة في عام ١٩٨٥ حوالي ٥٦ تسربا وقد فاق في بعض الأحيان ١٠٠ تسربا اعتمادا على ضغط المياه في الشبكه وهو المؤشر المتوفر في حينه عن هذا الأمر.

٣) مرحلة الزيادة المعتدلة:

وتمتد منذ عام ١٩٨٦ وحتى الآن، وهي السنوات التي بدأ فيها تطبيق بعض البرامج تمثلت في كشف التسربات وترشيد الاستهلاك بما فيها تطبيق التعرفه التصاعديه للمياه كما سيأتي تفصيلا لاحقا. ويقدر متوسط الزياده السنويه في معدل الطلب في هذه الفتره بحوالي ٣،٩٪ وهي زياده معتدله اذا ما قورنت بالزيادات في السنوات السابقه واذا ما أخذ في الاعتبار الزيادات السنويه للسكان في هذه الفتره أيضا. (أنظر النموذجان رقم ١ و ٢ لاستهلاك المياه العام واستهلاك الفرد في الفتره من عام (١٩٧٠ - ١٩٩١).

آثار تطور الطلب على الوضع المائي

هذا التطور في الطلب وخاصة في الفتره الممتده من ١٩٧٥ - ١٩٨٥ أوجد ضغطا كبيرا على مصادر المياه الجوفيه التي لم تستطع مواكبة هذه الزياده الكبيره (بلغ معدل استهلاك المياه الجوفيه لأغراض الشبكه في عام ١٩٨٤ حوالي ٣٥ مليون جالون في اليوم ومثل ٨٢٪ من مجمل المياه الموزعه في حين حدد سقف الاستخراج لهذا الغرض بـ ٨ مليون جالون في اليوم وموازيا لذلك كان هناك استخراج يقدر بأكثر من ٧٠ مليون جالون في اليوم لأغراض الزراعه والصناعه) الأمر الذي أدى الى استنزاف كبير لها كان نتيجته تدهور سريع في نوعية المياه وخسارة العديد من الآبار الجوفيه في مناطق مختلفه من البحرين. يوضح نموذج رقم ٣ الانحسار التدريجي الذي حدث في الفتره من عام ١٩٨٢ الى ١٩٩٢ للمياه ذات ملوحه ٢٥٠٠ جزء في المليون وهي أفضل نوعية مياه متوفره حاليا وينحصر وجودها الآن في الشريط الضيق في شمال غرب البحرين. لمعالجة هذا الأمر كان لابد من ايجاد مصدر بديل للمياه الجوفيه تمثل في انشاء محطات تحليه للمياه كان هدفها تخفيض الاستنزاف المتزايد من المياه الجوفيه وأطالة أمد استخدامها وأيضا لتحسين نوعية المياه الموزعه. لهذا تم انشاء محطات ستره ورأس أبوجرجور والدور لتحلية المياه بطاقه اجماليه تبلغ ٤٥ مليون جالون يوميا. هذا التحول في مصادر المياه أدى الى ارتفاع تكلفة انتاج وتوزيع المياه بصوره كبيرة حيث تجاوزت مستوى ٣٣٠ فلس للمتر المكعب في عام ١٩٨٥ مع ادخال محطات التحليه حيز التشغيل الأمر الذي جعل من تخفيض الاستهلاك بجميع الوسائل المتاحه مطلبا اقتصاديا هاما بالاضافه الى كونه مطلبا استراتيجيا.

لذا كان من الضروري القيام بدراسات تبحث في مسببات هذا الواقع ووضع البرامج الكفيله لكبح هذا التصاعد الكبير أولا ومن ثم الوصول به تدريجيا الى مستويات مقبوله على أن تكون هذه البرامج في حد ذاتها اقتصاديه وعمليه. وفي هذا الصدد كان لا بد من التطرق الى موضوعين يكمل أحدهما الآخر وهما:

أ) رفع كفاءة شبكات توزيع المياه ووقف الهدر فيها وذلك عن طريق كشف التسربات واصلاحها.

ب) رفع كفاءة استخدام المياه وذلك عن طريق ترشيد الاستهلاك في القطاع المنزلي ومواقع الاستهلاك الأخرى.

أولا: كشف التسربات:

المحصله الأوليه لعدد التسربات المرئيه كما ذكر آنفا كانت كفيله بأن تثير قلق كبيرعن حجم التسربات من الشبكه بشكل عام وغير المرئي منها بشكل

خاص، الا أنه كان لابد من الحصول على معلومات أكثر وأوضح عن مستوى التسربات من الشبكه وبتعبير أدق كميات المياه غير محددة الصرف (UNACCOUNTED FOR). لذا فقد تم القيام بدراسه امتدت بين عامي ١٩٨٤ و ١٩٨٥ شملت ٨ مناطق تغطي ٥٠٪ من مجمل المستهلكين في البحرين. هدفت الدراسه الى تحديد التدفق الليلي الأدنى (MINIMUM NIGHT FLOW) في هذه المناطق، وهو ما يشمل الاستهلاك الفعلي في الليل بالاضافه الى التسربات من الشبكه. جدول رقم ٣ يعطي حصيلة النتائج للتدفق الليلي الادنى والذي تراوح بين ٣٨ لتر للوحده السكنيه في الساعه في ستره الى ١٥٣ لتر للوحده السكنيه في الساعه في منطقة القرى الغربيه. وبلغ متوسط التدفق لهذه المناطق حوالي ٨٦ لتر للوحده السكنيه في الساعه تحت معدل ضغط في الشبكه يساوي ٢٦ متر. (يجدر الذكر أن احتساب التدفق الليلي الأدنى يتم بافتتاح صمام الخروج من الخزان العلوي بالكامل وبدون قيود). لتحديد الاستهلاك الفعلي الليلي تم اختيار ٧٨ وحده سكنيه لاحتساب كميات التدفق الليلي اليها أثناء اجراء هذه التجارب وقد بلغ معدل التدفق ٦ لتر في الساعه للوحده السكنيه الأمر الذي يعني أن معدل صافي التدفق الليلي الأدنى (NET MINIMUM NIGHT FLOW) والذي يمثل كميات المياه غير محددة الصرف (UNACCOUNTED FOR) بلغ حوالي ٨٠ لتر للوحده السكنيه في الساعه لهذه المناطق الثمان تحت الدراسه عند متوسط ضغط في الشبكه كما ذكر يساوي ٢٦ متر يقابلها حوالي ٤٠ لتر للوحده السكنيه في الساعه عند ضغط ١٦ متر وهو ما يعتبر ضغط التشغيل الغالب في الشبكه. بعد دراسة العناصر الأخرى التي قد تكون سببا في التدفق الليلي المرتفع وهي:

١) عدم احكام شبكة المواقع تحت الاختبار عن طريق غلق الصمامات الفاصله لهذه المواقع بحيث يكون هناك تدفق الى خارجها.

٢) وجود توصيله من شبكة الموقع الى انبوب قديم كان من المفترض أن يفصل.

٣) استهلاك فعلي خاصه فيما يتعلق بري الحدائق ليلا.

٤) خطأ في العداد.

تبين أن ارتفاع التدفق الليلي الأدنى يعكس في الواقع مستوى عال من التسربات.

اختبـــارات أوليـــه

تم اختيار ثلاث مواقع وبأحجام مختلفه لاجراء بعض الاختبارات التفصيليه عليها لتحديد مستوى التسربات والتاكد من نتائج الاختبارات في الشبكات العامه وايضا لمعرفة مدى امكانية تخفيض هذه التسربات والجدوى الاقتصاديه لذلك. جدول رقم ٤ يوضح النتائج من هذه الاختبارات التي يمكن تلخيصها بالتالي:

١) أمكـــن تخفيـــض الاستهلاك الكلـــي مـــن المناطق الثلاث بمعـــدل يســـاوي ٣٦٪ مـــن الاستهلاك الأصلي.

٢) تراوح التـــدفق الليلـــي الأدنى فـــي المـــواقع الثلاثه بيـــن ٤٦ و ١٢٠ لتـــر للـــوحده السكنيـــه فـــي الســـاعه أمكـــن تخفيضهـــا فـــي أحد المـــواقـــع الـــى ٤ لتـــر للـــوحده السكنيـــه فـــي الساعه، ممـــا يشيـــر بوضـــوح الـــى أن النسبـــه الغـــالبه مـــن هـــذا التدفق هي في الحقيقه تسربات من الشبكه.

٣) معظـــم التســـربات التـــي تم اكتشـــافها وبنسبـــه تفـــوق ٩٥٪ ناتجـــه مـــن الشبكـــات الفرعيه والتوصيلات المنزليه المصنعه من البوليثلين (LDPE)*.

٤) ان هنـــاك جدوى اقتصـــاديه جيـــده اذا مـــا اعتبـــرت تكلفـــة انتـــاج وتوزيع الميـــاه المرتفعه. وقدرت الفتره الاسترجاعيه بـ ٢،٤ شهر.

جاءت خلاصة الدراسات والتجارب المذكوره أعلاه بمؤشر يفيد بأن مستوى التسربات من الشبكه مرتفع وقد يصل الى ٢٥٪ من كميه المياه الموزعه وتتمثل بشكل كبير في الشبكات الفرعيه المصنعه من البوليثلين والشبكات الداخليه للمنازل وأن هناك مردود اقتصادي كبير اذا ما شرع في برنامج متطور لكشف التسربات واصلاحها. كذلك تبين أن أفضل الوسائل المتاحه في هذا المجال هي تقسيم الشبكه الى شبكات صغيره (DISTRICT) ومتابعة الاستهلاك لكل شبكه عن طريق عداد خاص بها ويتراوح حجم هذه الشبكات من موقع الى آخر الا أن متوسط عدد الوحدات السكنيه المرتبطه بها يبلغ حوالي ٢٠٠ وحده. ومتابعة للتجارب السابقه تم التوسع تدريجيا في هذا العمل وذلك للتأكد من النتائج السابقه وعليه فقد تمت اقامة شبكات صغيره أخرى وأمكن من خلالها كشف التسربات واصلاحها فيها بنسب جيده عما كان الاستهلاك سابقا.

---

* تتكون الخطوط الرئيسيه من الحديد المرن (DUCTILE IRON) والاسمنت الأسبستوس (ASBESTOS CEMENT) بينما تتكون الخطوط الفرعيه ٥٠ ملم أو أقل بالاضافه الى التوصيلات المنزليه من مادة البوليثلين قليل الكثافه.

بناءا على النتائج الايجابيه المذكوره سابقا تم الشروع في وضع برنامج متكامل يغطي جميع مناطق البحرين يتوقع أن يشتمل على ٣٧٠ موقع لشبكة صغيره تم الانتهاء من اقامة وكشف التسربات في ١٠٩ موقع منها و٩٠ موقع آخر يخضع للدراسه حاليا. وقد أمكن خلال ذلك توفير حوالي ٣ مليون جالون في اليوم من استهلاك أصلي يقدر بـ ١٥،٧ مليون جالون في اليوم أي بنسبه تقدر بـ ١٩٪. يبين الجدول رقم ٥ نتائج العمل لحد عام ١٩٩١. هذا وننتظر أن يستكمل العمل بهذا البرنامج في عام ١٩٩٥مع الاستعانه بنموذج رياضي للشبكه(NETWORK ANALYSIS MODEL) لتخطيط الشبكات الصغيره. ومجاراة لبرنامج كشف التسربات ونظرا لتبين أن أساس مشكلة تسربات المياه تكمن بشكل رئيسي في رداءة نوعية الأنابيب الفرعيه المصنعه من مادة البوليثلين (LDPE) فقد تم ابتداء من عام ١٩٨٦ اتخاذ خطوات أساسيه ومكمله للبرنامج المذكور تمثلت في التالي:

١) ايقاف استخدام الأنابيب الفرعيه المصنعه من مادة البوليثلين (LDPE) والتي تم تبين عدم جودة تصنيعها واستبدالها بأخرى يخضع تصنيعها لرقابه متقدمه وتتماشى مع المتطلبات العالميه في تحقيق الجوده.

٢) الشروع في برنامج لاستبدال الشبكات الفرعيه والتي أظهرت مستوى مرتفع في التسربات حسب التقارير الوارده من أقسام الصيانه وكشف التسربات.

٣) تشديد الرقابه على المقاولين العاملين في تركيب شبكات المياه والالتزام بالمواصفات الموضوعه والتدقيق في اجراءات الفصل الكامل للشبكات المستبدله.

٤) انشاء جهاز يهتم بمراقبة الشبكه وتجنيبها الأضرار التي قد تنتج بسبب أعمال المقاولين المكلفين من قبل الخدمات الأخرى. هذا وينتظر أن يعزز ويدعم هذا الجهاز خلال الفتره القريبه القادمه لتحقيق كفاءه أعلى في المراقبه.

٥) الشروع في تطوير مواصفات جديده لمواد الشبكات الفرعيه وقد تم اعتماد المواصفه البريطانيه رقم BS6730 لعام ١٩٨٦ لأنابيب البوليثلين المتوسط الكثافه بدلا من المواصفه السابقه BS1972 لعام ١٩٦٧ وقد بدء في استخدامها في عام ١٩٩١.

ثانيا: ترشيد استهلاك المياه:

كان الارتفاع المتصاعد لاستهلاك الفرد اليومي للمياه الذي بلغ ١١٣ جالون في اليوم في عام ١٩٨٥ كما ذكر سابقا مذهلا بكل المقاييس، الا أن بالامكان فهم

هذا التطور نظرا لارتباطه بالعوامل التاليه:

١) أخذ التطور العمراني خطا تصاعديا حادا تواكب مع التطور الاقتصادي والاجتماعي المتمثل في تحول تركيبة الأسره الممتده الى ما يعرف بالأسره النوويه الصغيره.

٢) تحسن مستوى توفر المياه عن طريق المشاريع التي تم تنفيذها في هذه الفتره مقارنة مع ما كان متوفرا قبلها.

٣) التطور الكبير في مرافق المياه داخل المنازل مقارنة بالمستوى السابق.

٤) التحول التدريجي في نوعية السكن مما كان يعرف بالمنزل التقليدي الى البيت الحديث الذي تمثل الحديقه جزءا أساسيا فيه.

٥) اعتماد تعرفه ثابته مرتبطه بحجم التوصيله وليس بالاستهلاك.

٦) غياب التشريعات والمواصفات المعتمده لتوصيلات وأجهزة المياه المستخدمه.

كل العوامل السابقه لعبت دورا كبيرا في ايصال المعدل الفردي للاستهلاك الى مستويات تفوق بكثير المستويات العالميه كما سبق ذكره مع المفارقه الصارخه والمؤلمه وهي توفر المياه وانخفاض تكلفة انتاجها نسبيا في تلك المناطق مقارنة بمنطقتنا. لهذا كان من اللازم بذل جهودا للتأثير في استهلاك الفرد داخل المنزل ومواقع الاستخدام الأخرى وأن لا يقتصر الأمر باتباع برامج لتقنين تزويد المياه فقط حيث كان ذلك هو الخيار المتاح مع بداية الثمانينات بسبب اختلال التوازن بين كميات المياه المتوفره والطلب على المياه. وفي هذا الصدد يجدر الاشاره الى أن استهلاك الفرد للمياه يتأثر بعدة اعتبارات أهمها:

١) وجود الحوافز وأولها الحوافز الماديه.

٢) نوعية الأجهزه المائيه المستخدمه في الموقع وقابليتها لاستهلاك المياه ووجود التشريعات اللازمه.

٣) درجة الوعي عند المستهلك لأهمية المياه وندرتها وبالتالي الحرص على عدم اهدارها.

لذا كان لزاما اتخاذ خطوات تستلهم هذه الأعتبارات للتأثير ايجابيا على الاستهلاك الفعلي للفرد.

أ) الحوافز الماديه:

يتأثر مستوى الفرد لأي ماده بما في ذلك المياه بالقيمه التي يدفعها مقابل الحصول على هذه الماده. وقد هيأ امتداد شبكات المياه الى جميع المناطق المأهوله سبلا سهله للحصول على المياه مقارنة بالوضع الصعب السابق حيث كان يتطلب الأمر جهدا جسمانيا وتكلفه كبيره لنقله من نقاط توزيع محدده الى المنازل. هذه السهوله في الحصول على المياه مع وجود تعرفه ثابته غير مرتبطه بالاستهلاك أدى الى تصاعد حاد في الاستهلاك الفردي كما تم شرحه في السابق. من هذا المنطلق جاء ادخال التحافز المادي وذلك عن طريق اعتماد تعرفه تصاعديه مرتبطه بالاستهلاك أمرا ملحا وقد أرتؤي أن تؤدي التالي:

١) وضع حد لعادات التبذير عند المستهلك وحصر دور استخدام المياه في الأمور الضروريه.

٢) تعمل على ايجاد قوة دفع عند المستهلك لتركيب أجهزه مائيه ذات استهلاك منخفض.

جاء تطبيق تعرفة المياه تدريجيا ابتداء من ١٩٨٦ وحتى عام ١٩٩٠ (أنظر جدول رقم ٦ لتفاصيل التعرفه المطبقه) متزامنا مع الأنتهاء من تركيب العدادات حسب جدول زمني غطى المناطق المختلفه في البحرين، الأمر الذي لم يوفر فرصه لتكوين قاعده معلوماتيه عن الاستهلاكات الفرديه قبل تطبيق التعرفه والتغير الناتج بعدها. الا أنه من الناحيه الأجماليه للاستهلاك لبعض المناطق وتأثر هذا الاستهلاك نتيجة لتطبيق التعرفه فيمكن ملاحظة ذلك في انخفاض مستوى الاستهلاك، وكمثال على ذلك يوضح النموذج رقم ٤ لمنطقة المحرق الانخفاض من جراء تطبيق التعرفه، اذ كانت النسبه في حدود ٨٪. وبشكل عام ومن خلال الاحصاءات المتوفره لبعض المناطق الأخرى فانه يمكن الاشاره الى أن تطبيق التعرفه التصاعديه كان لها قدره في تخفيض الاستهلاك بما يتراوح بين ٨ و ١١٪. هذا بالاضافه الى أن برنامج تركيب العدادات واحتساب التعرفه أعطى الكثير من المعلومات عن مستويات الاستهلاك وساهم كذلك في اكتشاف مشاكل متمثله في تسربات المياه من الشبكات الداخليه للمنازل.

ب) الأجهزه المائيه:

يمثل القطاع المنزلي أهم وأكبر القطاعات المستخدمه للمياه من شبكات التوزيع، هذا مع

وجود قطاعات مستهلكه أخرى كالصناعه والتجاره والزراعه والمرافق العامه. ويتفاوت استهلاك المياه داخل المنزل للأغراض المختلفه الا أن التقديرات المتوفره لمراكز الاستهلاك الداخليه في المنزل مع استثناء الاستخدامات الخارجيه بما فيها ري الحديقه (نسب استرشاديه لعائله مكونه من ٦ أفراد) يمكن تلخيصها في التالي:

دورات المياه	٣٦٪
الحمامات	٣٨٪
الغسيل	١٤٪
الطبخ ولوازمه	١٢٪

يتضح من التقديرات المذكوره ارتفاع نسبة مشاركة كل من دورات المياه والحمامات في الاستهلاك الداخلي. هذا وأن كان الاستهلاك الداخلي للمنزل يتأثر بشكل مباشر بعدد الأفراد القاطنين والعادات المتبعه الا أنه يرتبط ارتباطا قويا بنوع الأجهزه والتركيبات الداخليه للمياه فعلى سبيل المثال يمكن ذكر التالي:

- تتفاوت أحجام خزانات المراحيض المستخدمه تفاوتا كبيرا وأمر ممكن أن تجد بعضها يتجاوز ٢٠ لتر، هذا في الوقت الذي يتوفر في بعض الدول الأخرى مراحيض بخزانات يصل حجمها ٤ لتر فقط وأن كانت قليلة الشيوع. أما الأحجام الأكثر قبولا ودخلت كمواصفه في العديد من دول العالم فهي ٦ لتر فقط. فاذا ما أعتبرنا النسبه المرتفعه للاستهلاك عن طريق هذا المرفق كما ذكر سابقا فلنا أن نتصور حجم الوفر الذي يمكن الحصول عليه بأعتماد مواصفه للمراحيض تحدد الأحجام المسموح بها.

- يمثل الاستهلاك من الحنفيات سواء كان ذلك في الحمام أو المطبخ أحد المراكز الرئيسيه للاستهلاك في المنزل وعادة ما يكون التحكم من هذا الموقع ضعيفا نظرا لارتباط تدفق المياه بضغط المياه عند نقطة الحنفيه ومقدار فتح الحنفيه. وعليه فقد وجد أن تركيب بعض الأجهزه الصغيره تعرف بالهوائيات ومنظمي التدفق على هذه الحنفيات عادة ما يكون لها تأثير ايجابي في التحكم في تحديد تدفق المياه وبالتالي في تحديد الكميه الكليه المستهلكه من هذا الموقع. ويتراوح أحجام التدفق من هذه الأجهزه التي تم استخدامها في برامج ترشيد الاستهلاك كما سيأتي ذكره لاحقا بين ٤-٨ لتر في الدقيقه بينما قد يبلغ التدفق في الأصل حوالي ٢٠ لتر في الدقيقه.

- يمثل استهلاك المياه عن طريق الاستحمام وخاصة في مناخنا الحار أحد المراكز الكبيره للاستهلاك ويتأثر هذا الاستهلاك بالتدفق من رشاش المياه (الدوش) الذي قد يتجاوز في كثير منها ١٥ لتر في الدقيقه بينما تتوفر أحجام أخرى لا يتجاوز التدفق فيها ٦ لتر في الدقيقه. وقد صدر في العديد من الدول مواصفات تحدد التدفق من هذا

المصدر بما لا يتجاوز ١٠ لتر في الدقيقه.

- كذلك يتأثر الاستهلاك بالمعدات الأخرى المستخدمه في المنزل كالغساله ومنظفة الصحون وغيرها، وذلك اعتمادا على حجم وكفاءة المعده واسلوب الاستخدام.

بالاضافه الى ما سبق من استهلاكات داخليه فقد تبين في العديد من الحالات بأن الاستهلاك الخارجي المتمثل في ري الحدائق يتجاوز ٥٠٪ وقد يصل الى ٧٠٪ من الاستهلاك الكلي في المنازل ذات الحدائق الكبيره، ويرتبط ذلك باسلوب الري المتبع. وقد كان ممكنا في بعض الحالات تخفيض كميات المياه المستخدمه في الري بما يقارب من ٥٠٪ باتباع أساليب الري الحديثه كالتنقيط والرش بدلا من الغمر.

هذه الحصيله من المعلومات مكنتنا من البدء في بعض التجارب والبرامج تمثلت أساسا في تركيب الهوائيات ومنظمي التدفق واستهدفت بعض المنازل والمرافق العامه كالمدارس والمساجد وكانت النتائج ايجابيه للغايه ويمكن تلخيصها في التالي:

١) أمكن تخفيض الاستهلاك في عدد من المنازل (٣٩) التي يفوق استهلاكها ١٥٠ متر مكعب في الشهر بنسب يبلغ متوسطها حوالي ٢٨٪ من الاستهلاك الأصلي، وذلك بتركيبات أجهزه مائيه تمثلت في الهوائيات ومنظمي التدفق.

٢) أمكن تخفيض الاستهلاك في عدد من المنازل (٨٣) التي يقل استهلاكها عن ١٥٠ متر مكعب في الشهر بنسب يبلغ متوسطها حوالي ١٥٪ من الاستهلاك الأصلي.

٣) أمكن تخفيض الاستهلاك في عدد من المساجد (١١٢) بنسب تتراوح بين ٢٠ الى ٣٠٪ من الاستهلاك الأصلي.

٤) أمكن تخفيض الاستهلاك في عدد من المدارس (١١٢) بنسب يبلغ متوسطها حوالي ٣٨٪ من الاستهلاك الأصلي.

ويوضح الجدول رقم ٧ ملخص للأعمال التي تم انجازها خلال السنوات الماضيه في هذا الصدد. وقيد الدراسه الآن العديد من أجهزة ترشيد الاستهلاك الأخرى كالحنفيات ذاتية الاغلاق ووسائل تقليل حجم خزانات المراحيض. أما بالنسبه للقطاع الصناعي والتجاري فنرى أن هناك مجالا أيضا لاجراء تخفيضات مناسبه اعتمادا على أسلوب استخدام المياه ونؤمل أن يتم البحث في استهلاك هذين القطاعين قريبا.

ج) توعية الجمهور:

يعتبر المجهود في توعية الجمهور عن طريق الوسائل الاعلاميه أحد الخطوات الأولى للوزاره في مجال ترشيد استهلاك المياه. وكانت البدايه في نهاية السبعينات وأوائل الثمانينات ملازمه للوضع الصعب حينئذ في توفير المياه. وكان الهدف آنذاك كما هو الآن تعريف الجمهور بالحقيقه الصعبه لوضع المياه وحثه على وقف الهدر وتعريفه كذلك بالطرق المثلى لاستخدام المياه. واستمر هذا الدور وتطور ليشمل جهات أخرى كوزارة التربيه والتعليم وغيرها والتوسع في القاء المحاضرات وطبع الملصقات والكتيبات والمشاركه في المعارض العامه. هذا وفي تقديرنا أن العمل في هذا المجال يحتاج الى جهود اضافيه وبرامج متكامله بعيدة المدى تستوعب كل مجالات استخدامات المياه وجميع قطاعات الجمهور خاصه الأطفال وطلاب المدارس وذلك لرفع مستوى الوعي وايصال الحقيقه الغائبه ألا وهي ندرة المياه في منطقتنا وارتفاع تكلفة انتاجها. هذا ويصعب تحديد أرقام ونسب لمردود هذا الجهد الا أنه بلا شك جهد هام وضروري ويحتاج الى تطوير.

النتائج والتوقعات

لمعرفة النتائج الاجماليه لما حققته الخطوات والبرامج المذكوره ابتداء من ١٩٨٦ علينا أولا تقدير التطور المتوقع حصوله خلال هذه المده في غياب هذه البرامج، ولنذكر في هذا الصدد المؤشرات السائده قبل عام ١٩٨٦:

١) كان متوسط الزياده السنويه لمعدل الاستهلاك اليومي من ١٩٧٦ الى ١٩٨٥ حوالي ١١،٨٪ وللفتره من ١٩٨١ الى ١٩٨٥ حوالي ١٢٪. (أنظر نموذج رقم ٥).

٢) كان متوسط الزياده السنويه لمعدل الاستهلاك اليومي للفرد من ١٩٧٦ الى ١٩٨٥ حوالي ٦،٦٪ وللفتره من ١٩٨١ الى ١٩٨٥ حوالي ٦،٧٪. (أنظر نموذج رقم ٦).

٣) كانت الزياده في عدد المستهلكين الجدد في الفتره من ١٩٨١ الى ١٩٨٥ حوالي ٤،٢٪ واستمرت بعد ذلك بنسبة ٤،٣٪ من ١٩٨٦ الى ١٩٩١.

مع أخذ المؤشرات السابقه في الاعتبار وخاصة فيما يتعلق بالزياده السنويه في استهلاك الفرد اليومي في الفتره ما بين ١٩٨١ الى ١٩٨٥ لاجراء الاسقاطات المستقبليه للاستهلاك في عام ١٩٩١ نجد أن هذه الزياده كان مهيأ لها أن تستمر على النمط السابق أي في حدود ٦،٥٪ سنويا وزياده في التحفظ أن لا تقل عن نصف تلك النسبه أي حوالي ٣،٢٪ اذا ما ترك التزايد أن يأخذ مجراه كما كان سائدا، الأمر الذي سيوصل معدل استهلاك الفرد اليومي في عام ١٩٩١ الى حوالي ١٣٧ جالون على أقل تقدير. (أنظر نموذج رقم ٢). ومع اعتبار الزياده

في عدد السكان في الفتره حتى عام ١٩٩١ نجد أن معدل الاستهلاك اليومي كان من المفترض أن يصل الى ٧١ مليون جالون في اليوم وأن يصل استهلاك المذروه حوالي ٨٢ مليون جالون أي بزياده في حدود ١٠،٥ مليون جالون في اليوم عن الطلب الفعلي في تلك السنه الذي بلغ ٦٠،٥ مليون جالون في اليوم. وينسجم هذا الرقم مع التوفيرات المشار اليها سابقا من جراء تطبيق التعرفه الذي يقدر أن يكون في حدود ٧ مليون جالون في اليوم والوفر من تطبيق برنامج كشف التسربات واصلاح الشبكات الذي يقدر بحوالي ٣،٥ مليون جالون في اليوم (أنظر نموذج رقم ٧). كان أحد النتائج الايجابيه كذلك انخفاض عدد التسربات المرئيه خلال السنوات الماضيه اذ بلغ المعدل اليومي للتسربات في عام ١٩٩١ حوالي ٣٣ بعد أن كان ٥٦ في عام ١٩٨٥ (أنظر نموذج رقم ٢).

أما عن التوقعات المستقبليه فالأمر مرتبط بامكانية تنفيذ بعض الخطوات الأساسيه والتي تتمثل في التالي:

١) استكمال برنامج كشف التسربات والذي يؤمل الانتهاء من تنفيذه في عام ١٩٩٥.

٢) استكمال تحديث الشبكات الفرعيه التي تعتبر المصدر الرئيسي للتسربات ويتوقع أن يتم ذلك أيضا في عام ١٩٩٦.

٣) تحسين المعلومات المتوفره عن القطاعات المختلفه من المستهلكين مع اجراء الدراسات التفصيليه عن كل قطاع وتحديد سبل ترشيد الاستهلاك بما في ذلك احلال بدائل أخرى كمياه المجاري المعالجه خاصه فيما يتعلق بالقطاعات الصناعيه والزراعيه.

٤) التوسع في تركيب أجهزة ترشيد استهلاك المياه ليشمل جانب كبير من المستهلكين ووضع التشريعات والمواصفات للأجهزه الداخله في استخدامات المياه. وقيد البحث اعتماد المواصفه البريطانيه رقم BS7357(١٩٩٠) بخصوص خزانات المراحيض. وكذلك تشجيع المستهلكين على استخدام هذه الأجهزه وذلك عن طريق وسائل الاعلام واقامة معرض دائم يهتم بهذا الموضوع.

٥) ابقاء الحافز المادي (التعرفه) وتطويره كل ما أمكن ذلك وذلك لدوره الرئيسي كأداه لترشيد الاستهلاك.

كل الخطوات المذكوره أعلاه يؤمل أن يكون لها تأثير ايجابي في اجراء تخفيضات أخرى على المستوى المتوقع لاستهلاك المياه خلال الفتره القادمه حتى عام ٢٠٠٠، ويقدر أن يتراوح ذلك بين ١٠ و ١٥٪ من معدل الطلب المتوقع (تم احتساب الطلب باعتبار الزياده

المتوقعه للسكان الذي يقدر أن يبلغ حوالي ٦٥٤ ألف في تلك السنه ولم يعتبر ادخال مستهلكين كبار من قطاعات أخرى كالصناعه والزراعه خلال فترة الدراسه ولم يعتبر التغيير في التعرفه الذي حصل مؤخرا)، أي وفر يتراوح بين ٨ و ١٢ مليون جالون في اليوم من مستوى متوقع يقدر بـ ٨٠ مليون جالون في اليوم (٩٢ للطلب الأقصى). ويتمثل التخفيض بشكل رئيسي في الوفر المتوقع مع انتهاء برنامج كشف التسربات واستبدال الشبكات الفرعيه الرديئه في عام ١٩٩٦. يوضح النموذج رقم ٨ المسار المتوقع لمعدلات التخفض المتوقعه حتى سنة ٢٠٠٠ اذا ما استكملت جميع الخطوات المذكوره، ونقدر أن تنخفض نسبة التسربات بحلول ذلك العام الى ما بين ٥ الى ١٠٪ من مستوى الطلب حينها كما نقدر أن يتجاوز الوفر الكميات المذكوره بالأعلى اذا ما تم الاسراع في برامج ترشيد الاستهلاك واصدار التشريعات اللازمه، حيث سيكون بالامكان من خلال هذا المجهود حسب تقديرنا اذا ما اقترن بوجود تعرفه مناسبه، خفض معدل استهلاك الفرد اليومي من مستوى حالي يقترب من ١٢٠ جالون الى أقل من ١٠٥ جالون بحلول عام ٢٠٠٠ والى حوالي ٩٠ جالون بحلول عام ٢٠٠٥.

لاتمثل هذه النتائج وفر مالي فقط كما سيأتي ذكره لاحقا ولكنها ستؤدي أيضا الى تحسن كبير في وضع المياه خاصه مع أتمام تنفيذ مشاريع التحليه (أي بناء محطتين لتحلية المياه بقدره أجماليه تبلغ ٣٠ مليون جالون في اليوم) المتوقعه خلال الفتره مجال الدراسه، وسينعكس ذلك في خفض استنزاف المياه الجوفيه لأغراض الشبكه من مستوى متوقع في عام ٢٠٠٠ بمقدار الوفر المذكور بالأعلى وهو ما سيجعل مشاركة المياه الجوفيه لأغراض شبكة توزيع المياه في حدود السقف المسموح به وهو ٨ مليون جالون في اليوم وبالتالي سيكون بالامكان تزويد مياه مخلوطه بنوعيه تتفوق على ما هو موصى به عالميا.

النتائج الاقتصاديه

يوضح الجدول رقم ٥ الوفر والنفقات الماليه التراكميه منذ ابتداء برامج كشف التسربات وترشيد الاستهلاك عام ١٩٨٦ حتى عام ١٩٩١ تشمل النفقات الماليه جميع المصروفات من دراسات وقوى عامله ومعدات وأجهزه وأعمال مقاوليه بهذا الخصوص وقدر الوفر باحتساب متوسط تكلفة انتاج وتوزيع المياه تبلغ ٢٢٠ فلس للمتر المكعب أي ١٥٠٠ فلس للألف جالون. يظهر الجدول تكلفة توفير المتر المكعب خلال فترة البرنامج من ١٩٨٦ الى ١٩٩١ التي بلغت حوالي ٥٢ فلس للمتر المكعب وهي ما تساوي حوالي ١٥٪ من تكلفة انتاج وتوزيع المياه.

أما فيما يتعلق بالأعمال المستقبليه فيوضح الجدول رقم ٨ الوفر والمصروفات المتوقعه ابتداء من عام ١٩٩٢ يشمل ذلك التقديرات الأوليه لمصاريف استبدال الشبكات الفرعيه الرديئه بالاضافه الى مصاريف برامج كشف التسربات التي تشمل الكوادر والأجهزه المطلوبه. يتبين من الجدول وجود فرصه لاجراء تخفيضات كبيره في مستويات الطلب مع ما يترتب على

ذلك من وفر مالي يتراوح بين ١٦ و ٢٧ مليون دينار مع نهاية عام ٢٠٠٠، ويقدر أن تتراوح تكلفة توفير المتر المكعب من المياه من خلال هذا البرنامج وبحلول عام ٢٠٠٠ بين ٩٥ و ١٣٤ فلس وستنخفض هذه التكلفه مع زيادة المردود من هذا البرنامج في السنوات اللاحقه حيث ستصل الى ما بين ٤٠ و ٦٤ فلس عام ٢٠٠٥ (أنظر نموذج رقم ٩).

يتبين من هذه الأرقام الامكانات الكبيره المتاحه للتوفير وذلك باتباع الخيار المتمثل في كشف التسربات واصلاحها وترشيد الاستهلاك. وسينعكس هذا الوفر في التالي:

١) تأجيل الحاجه الى مشاريع تحليه بعد تنفيذ المشاريع المقترحه بقدرة ٣٠ مليون جالون في اليوم الى ما بعد عام ٢٠٠٠.

٢) تمديد فترة ملاءمة المعدات للطلبات المستقبليه للمياه الى ما بعد التاريخ المصممه له في الأصل بما يتراوح بين ٥ و ١٠ سنوات.

٣) خفض في الطاقه الكهربائيه المستخدمه لنقل وتوزيع المياه بما يتوافق مع النسب المخفضه.

٤) تفادي الأضرار للممتلكات الناجمه عن التسربات.

يبقى أن نوضح أن النجاحات في المجالات المذكوره سواء كانت تحققت أو متوقع تحقيقها تتصف بالديناميكيه وبالتالي هي قابله للانتكاس كما حدث بالفعل في بعض الأحيان خلال مسيرتنا أن لم يكن هناك الجهاز المقتدر على المتابعه وتصحيح المسار وأن لم تتوفر كذلك الموارد الماليه اللازمه. الا أنه مما لا شك فيه أن مجال تخفيض الطلب على المياه وعلى الأقل الحد من تصاعد الطلب بالاساليب المذكوره يبقى أمرا متاحا وممكنا وبتكلفه منخفضه نسبيا عما هو مقابل من تكلفة انتاج المياه. كذلك يجدر لفت الانتباه الى أن نجاح خيار كشف التسربات يقتضي التدقيق في جميع المراحل الأساسيه لانجاز الشبكه ابتداء من التصميم واختيار المواد والتنفيذ والمراقبه من أي تدخلات خارجيه لتأتي النتائج بالمستوى المرضي.

الجدول رقم (١)

متوسط الاستهلاك اليومي للفرد في بعض بلدان الوطن العربي والعالم الغربي*

بلدان الوطن العربي		البلدان الغربيه	
البلد	الاستهلاك التر في اليوم للفرد	البلد	الاستهلاك التر في اليوم للفرد
مصر)		السويد	٣٦٨
البنان)	بين ١٠٠ و ٢٥٠	فنلنده	٣٥٣
سوريا)		انجلترا	٣٤٤
اليمن)		الدنمارك	٣٣٣
		لوكسمبورج	٣٣١
		ايطاليا	٣١٣
		النمسا	٢٨٩
الأردن	حوالي ٩٠	أسبانيا	٢٧٥
		المانيا غ	٢٢٤
		هولنده	١٩١
		بلجيكا	١٨٦

* مرجع رقم [٢] الأرقام في الدول الغربيه تشمل كذلك الاستهلاك الصناعي (١٩٨٥).

الجدول رقم (٢)

نسبة الفاقد من شبكات توزيع المياه

في بعض البلدان الغربيه*

الدوله	المدينه	نسبة الفاقد المئويه
بلجيكا	أنتيرب	٩ر٨
	بروكسل	١٥
الدنمارك	كوبنهاغن	٥ر٥
	أودينيس	٩ر٠
فرنسا	بوردو	٢١ر٠
	باريس	١٣ر٠
ألمانيا الغربيه	برلين	٣ر٠
	فرنكفورت	٥ر٠
	هامبرج	٦ر٠
	ميونخ	١٤ر٠
ايطاليا	باري	٢٢ر٠
	نابولي	١٢ر٠
سنغافوره	-	٦ر٨
اليابان	طوكيو	١٠-١١

* مرجع رقم [٢]، سنغافوره واليابان ليست من المرجع ذاته.

الجدول رقم (٣)

التدفق الليلي الأدنى في بعض شبكات المياه

الرقم	المنطقه	عدد الوحدات السكنيه	التدفق الليلي الأدنى	
			لتر/ثانيه	لتر للوحده السكنيه في الساعه
١	الحوره	٣٧٠٠	١٠٨ر٠٠	١٠٥
٢	الماحوز	٣٩١٠	١٣٧ر٠٠	١٢٦
٣	المصلى	٤١٦٧	٩٧ر٠٠	٨٤
٤	السلمانيه	٩٨٠٠	١٨٧ر٠٠	٦٩
٥	المحرق	٨٥٠٠	١٦٤ر٥٠	٧٠
٦	عراد	٦٠٠	١٦ر٧٠	١٠٠
٧	القرى غ	١٥١٧	٤٩ر٤٠	١١٧
٨	ستره	١٣٥٦	١٤ر٤٠	٣٨
متوسط التدفق في الثمان مناطق		٣٣٥٥٠	٧٧٤ر٠٠	٨٣

* مرجع رقم [٣]

الجدول رقم (٤)
نتائج الاختبارات الأوليه

الموقع مجمع	عدد الوحدات السكنيه	صافي التدفق الليلي الأول	معدل الاستهلاك اليومي الأول	صافي التدفق الليلي النهائي	معدل الاستهلاك اليومي النهائي	التخفيض في الاستهلاك اليومي	تكلفة العمل بالدينار	فترة الاسترجاع بالشهر
الرفاع الغربي وزارة الاسكان مجمع ٩٠١	٦٣	٢ر١ لتر في الساعه للوحده السكنيه ١٢٠ لتر في الساعه للوحده السكنيه	١٨٥ر٥ متر مكعب في اليوم	٠ر٠٧ لتر في الساعه للوحده السكنيه ٤ لتر في الساعه للوحده السكنيه	٩٨ر٥ متر مكعب في اليوم	٨٧ متر مكعب في اليوم (٤٧٪)	٣٦٠٠/-	٤ر٢
الرفاع الشرقي وزارة الاسكان مجمع ٩٢٩، ٩٣١	٣٤٢	٥ر٩ لتر في الساعه للوحده السكنيه ١٠٠ لتر في الساعه للوحده السكنيه	١٢١٢ر٧٥ متر مكعب في اليوم	٨٥ر٠ لتر في الساعه للوحده السكنيه ٩ لتر في الساعه للوحده السكنيه	٦٧٦ متر مكعب في اليوم	٥٣٦ متر مكعب في اليوم (٤٤٪)	١٦٦٧٠/-	٣ر٣
مدينة حمد الضاحيه مجمع ١٢٠٤	٨٦٩	٢ر١١ لتر في الساعه للوحده السكنيه ٤٦ لتر في الساعه للوحده السكنيه	١٧٢٥ متر مكعب في اليوم	٤ر٢ لتر في الساعه للوحده السكنيه ١٧ر٤ لتر في الساعه للوحده السكنيه	١٢٢٥ متر مكعب في اليوم	٥٠٠ متر مكعب في اليوم (٢٩٪)	٦٨٠٠/-	١ر٤
المجموع	_	_	٣١٢٣	_	١٩٩٩	١١٢٤ (٣٦٪)	٢٧٠٧٠/-	٢ر٤

الجدول رقم (٥)

نتائج أعمال برنامج كشف التسربات حتى عام ١٩٩١

السنه	الاستهلاك الأول متر مكعب في اليوم	الاستهلاك النهائي متر مكعب في اليوم	التخفيض متر مكعب في اليوم	التخفيض التراكمي متر مكعب	الوفر السنوي بالدينار البحريني	الوفر التراكمي بالدينار البحريني	التكلفه السنويه بالدينار البحريني	التكلفه التراكميه بالدينار البحريني	صافي الوفر التراكمي بالدينار البحريني	تكلفة توفير متر مكعب في تلك السنه بالفلس	تكلفة توفير متر مكعب خلال مدة البرنامج بالفلس
١٩٨٥	١١٩٠٦	٨٦٣٢	٣٢٧٤ ٢٧٫٥٪	١١٩٤٨٤٦	٣٩٤٢٩٩	٣٩٤٢٩٩	١٠٧٠٠	١٠٧٠٠٠	٢٨٧٢٩٩	٩٠	٩٠
١٩٨٦	٧١٩٢	٥٧٠٧	١٤٨٥ ٢٠٫٦٪	٢٩٣١٥٣٤	١٧٨٨٠٨	٩٦٧٤٠٦	١٠٠٥٠٠	٢٠٧٥٠٠	٧٥٩٩٠٦	١٨٥	٧١
١٩٨٧	٩٠٨٨	٧٦٨٨	١٤٠٠ ١٥٫٤٪	٥١٧٩٠٥٨	١٦٨٥٧٦	١٧٠٩٠٨٩	١٠١٣٠٠	٣٠٨٨٠٠	١٤٠٠٢٨٩	١٩٨	٦٠
١٩٨٨	٣٨٢٤	٣١٦٠	٦٦٤ ١٧٫٤٪	٧٦٦٩٦٧٩	٨٠٢٢٢	٢٥٣٠٩٩٤	١٠١٤٥٠	٤١٠٢٥٠	٢١٢٠٧٤٤	٤١٧	٥٣
١٩٨٩	٩٧٧٦	٨٥٦٩	١٢٠٧ ١٢٫٣٪	١٠٦٠٠٧٧١	١٤٥٣٥٥	٣٤٩٨٢٥٥	١١٠٧٨٠	٥٢١٠٣٠	٢٩٧٧٢٢٥	٢٥٢	٤٩
١٩٩٠	٥٣٠٥	٣٨٤٠	١٤٦٥ ٢٧٫٦٪	١٤٠٦٦٥٨٩	١٧٦٤٥٩	٤٦٤١٩٧٤	١٦١٨٠٠	٦٨٢٨٣٠	٣٩٥٩١٤٤	٣٠٣	٤٩
١٩٩١	٢٤٤١٧	٢٠٢٠٧	٤٢٠٩ ١٧٫٢٪	١٩٠٦٨٨٦٦	٥٠٧٠٣٢	٦٢٩٢٧٢٦	٣١٦٦٥٠	٩٩٩٤٨٠	٥٢٩٣٢٤٦	٢٠٦	٥٢
المجموع	٧١٥٠٨ ١٥٫٧ مليون جالون في اليوم	٥٧٨٠٤ ١٢٫٧ مليون جالون في اليوم	١٣٧٠٤ ٣٫٠ مليون جالون في اليوم ١٩٫١٪								

الجدول رقم (٦)

تعرفة المياه السابقه حتى أبريل ١٩٩٢ والجديده

التعرفه	النوع	الشريحه بالمتر المكعب	السعر بالفلس
السابقه حتى أبريل ١٩٩٢	المياه المخلوطه	١-٥٠	٤٥
		٥١-١٠٠	١١٠
		١٠١-أعلى	٢٠٠
	المياه الجوفيه	١-٥٠	٣٠
		٥١-١٠٠	٣٥
		١٠١-أعلى	٨٥
الجديده	المياه المخلوطه	١-٦٠	٢٥
		٦١-١٠٠	٨٠
		١٠١-أعلى	٢٠٠
	المياه الجوفيه	١-٦٠	٢٠
		٦١-١٠٠	٢٥
		١٠١-أعلى	٨٥

الجدول رقم (٧)

ملخص نتائج برامج ترشيد الاستهلاك

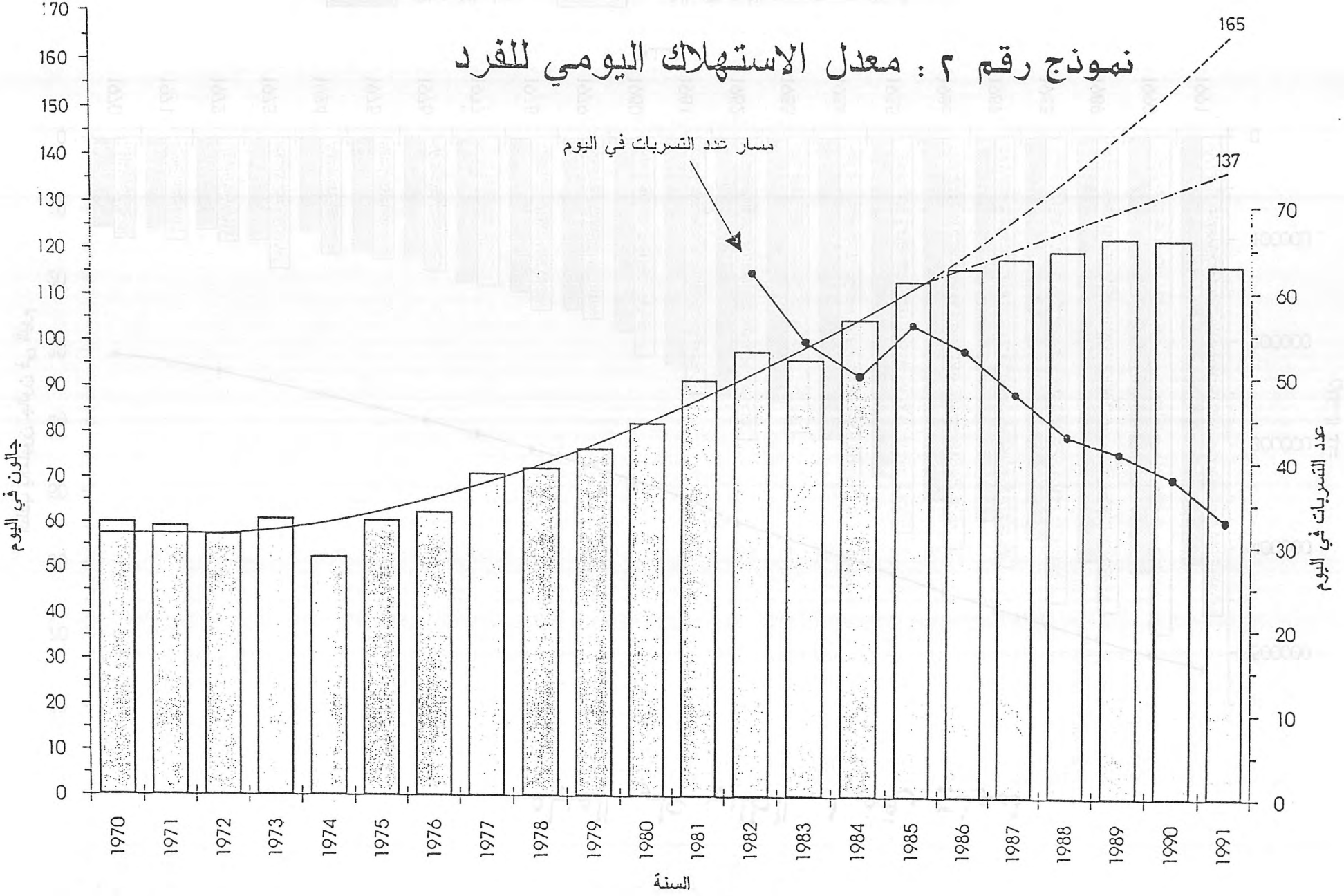
الموقع	العدد	الاستهلاك السابق متر مكعب في اليوم	الاستهلاك اللاحق متر مكعب في اليوم	كمية التوفير متر مكعب في اليوم	نسبة التوفير للكميه الأصليه	النفقات على أجهزة الترشيد بالدينار البحريني	فترة الاسترجاع (شهر)
المساجد	١٢٢	٤١٣	٣٠٠	١١٣	٪٢٧	٣٣٤٨	٣
المدارس	١١٢	٣٢٦٥	٢٠١٣	١٢٥٢	٪٣٨	١٢٧٢٣	١
المنازل	١٢٢	١٥٥٥٥	١١٧٠٤	٣٨٥١	٪٢٥	٢١٤٦	١ر٧

الجدول رقم (٨)

التوقعات المستقبليه للوفر من خلال برامج كشف التسربات

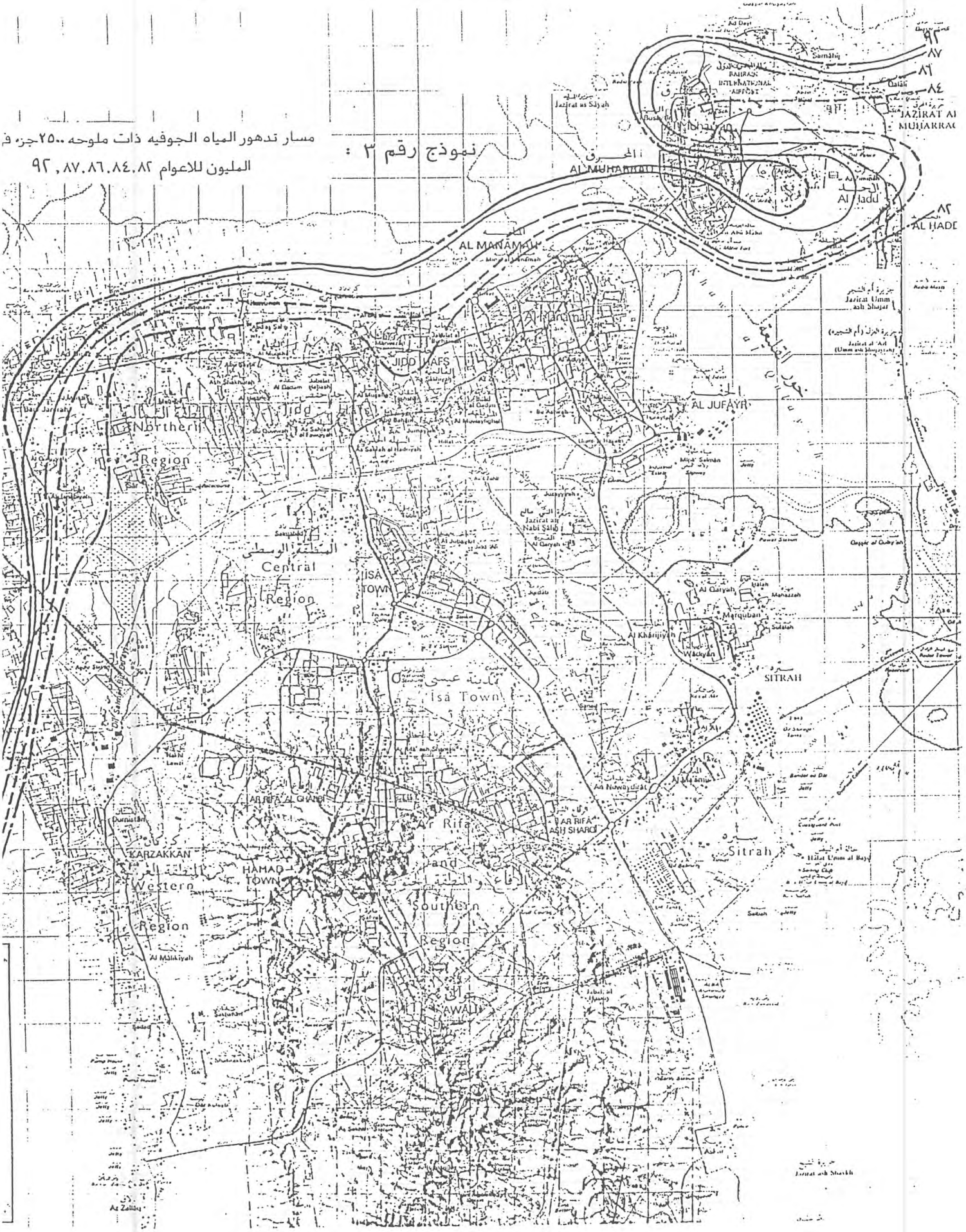
الوفر	الرقم	السنه / التكاليف بالألف دينار بحريني	١٩٩٢	١٩٩٣	١٩٩٤	١٩٩٥	١٩٩٦	١٩٩٧	١٩٩٨	١٩٩٩	٢٠٠٠	المجموع
	١	تكاليف كشف التسربات	٢٩٥	٣٩٠	٣٧٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٢٨٥٥
	٢	تكاليف استبدال الشبكات الرديئه	١ر٧٥٠	٢ر٠٠٠	١ر٥٠٠	٩٠٠	٨٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٣٠٠	٢٠٠	٨٠٥٠
	٣	مجمل التكاليف	٢٠٤٥	٢٣٩٠	١٨٧٠	١٢٠٠	١١٠٠	٦٠٠	٦٠٠	٦٠٠	٥٠٠	١٠٩٠٥
	٤	التكاليف التراكميه	٢٠٤٥	٤٤٣٥	٦٣٠٥	٧٥٠٥	٨٦٠٥	٩٢٠٥	٩٨٠٥	١٠٤٠٥	١٠٩٠٥	١٠٩٠٥
الوفر ١٥٪	٥	الوفر للعام	١٤٢٩	٢١٩٩	٣٠١٧	٣٨٧٩	٤٣٩٥	٤٩٠٣	٥٤٤٨	٦٠٠٩	٦٦٠١	٣٧٨٨
	٦	الوفر التراكمي	١٤٢٩	٣٦٢٨	٦٦٤٥	١٠٥٢٤	١٤٩١٩	١٩٨٢٢	٢٥٢٧٠	٣١٢٧٩	٣٧٨٨٠	٣٧٨٨٠
	٧	صافي الوفر التراكمي (٦-٤)	- ٦١٦	-٨٠٧	٣٤٠	٣٠١٩	٦٣١٤	١٠٦١٧	١٥٤٦٥	٢٠٨٧٤	٢٦٩٧٥	٢٦٩٧٥
الوفر ١٠٪	٨	الوفر للعام	١٠٧٢	١٦٤٩	٢٢٦٣	٣٩٠٩	٣٠٩٦	٣٤٧٣	٣٧٧٢	٤٠٧٧	٤٤٠١	٢٦٧٨٥
	٩	الوفر التراكمي	١٠٧٢	٢٧٢١	٤٩٨٤	٧٨٩٣	١١٠٦٢	١٤٥٣٥	١٨٣٠٧	٢٢٣٨٤	٢٦٧٨٥	٢٦٧٨٥
	١٠	صافي الوفر التراكمي (٩-٤)	- ٩٧٣	- ١٧١٤	-١٣٢١	٣٨٨	٢٤٥٧	٥٣٣٠	٨٥٠٢	١١٩٧٩	١٥٨٨٠	١٥٨٨٠

نموذج رقم ١ : الطلب على المياه

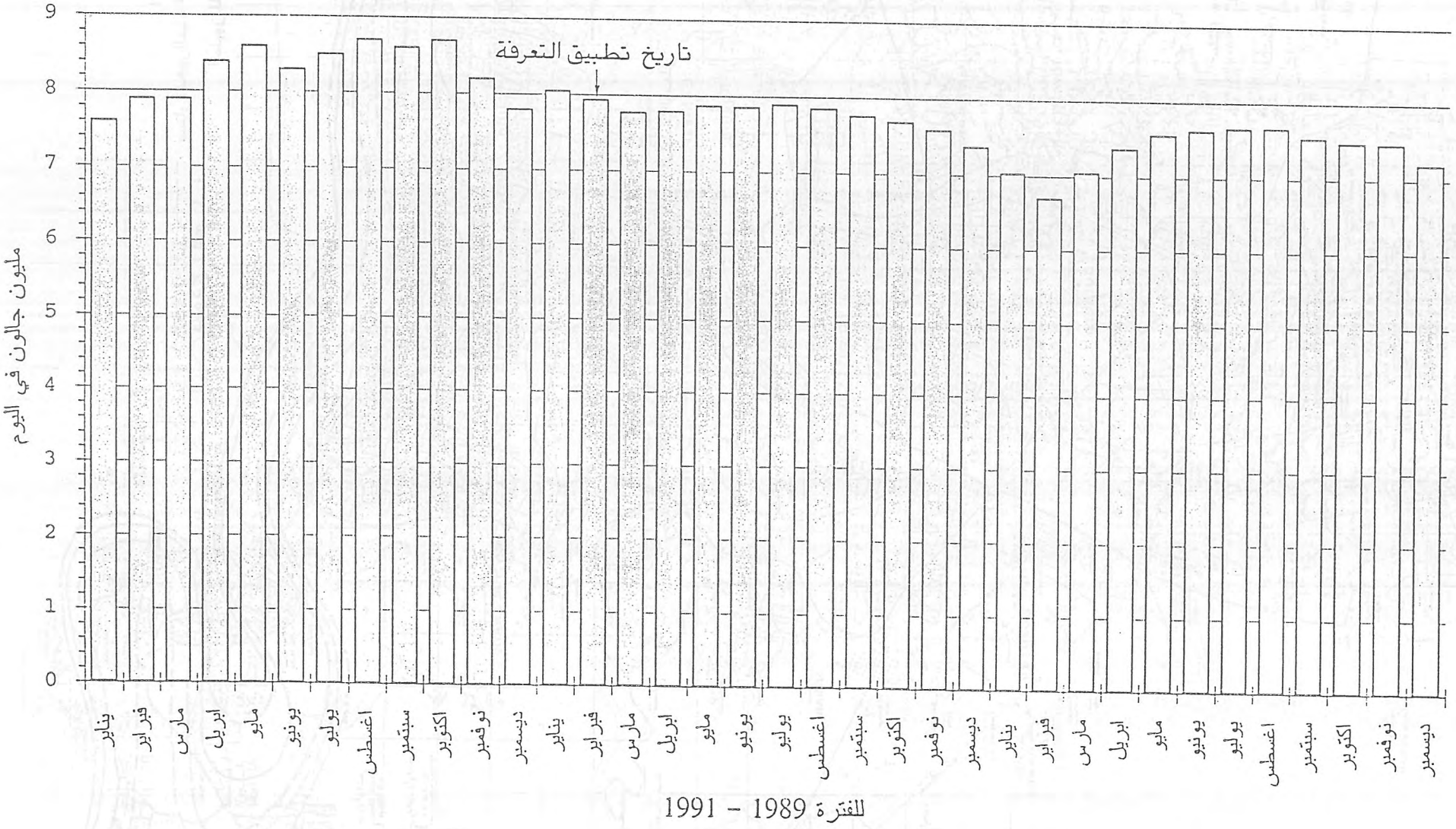

نموذج رقم ٢ : معدل الاستهلاك اليومي للفرد
مسار عدد التسربات في اليوم
165
137
جالون في اليوم
عدد التسربات في اليوم
السنة
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991

نموذج رقم ٣ :

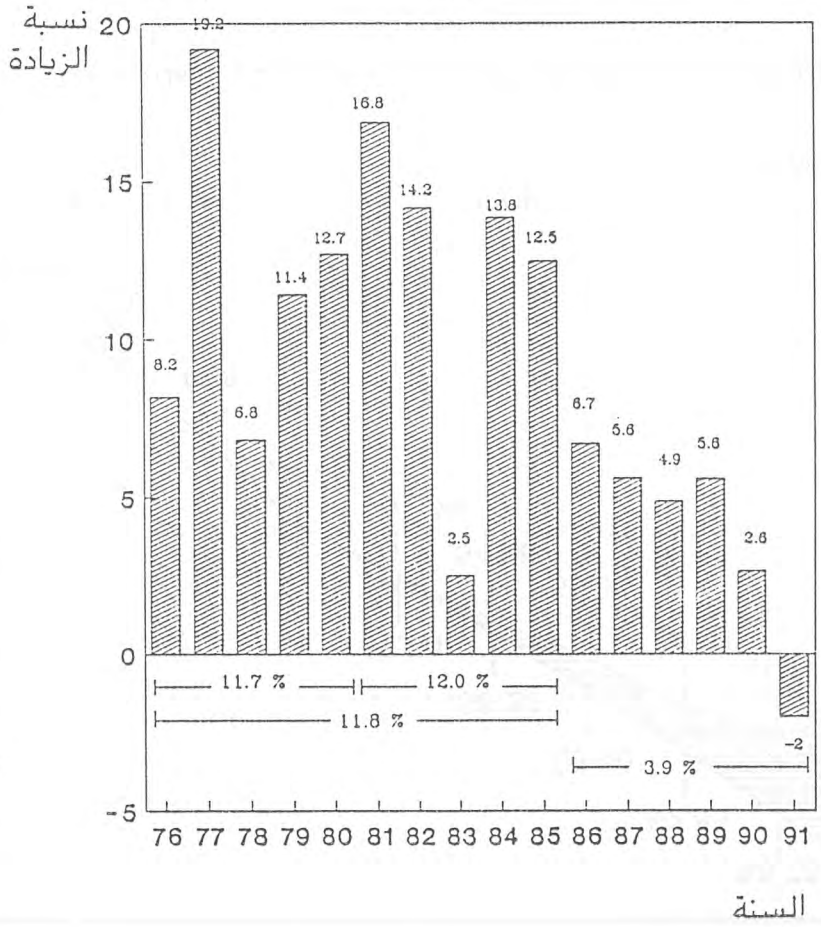
مسار تدهور المياه الجوفيه ذات ملوحه ٢٥٠٠جزء ف
المليون للاعوام ٨٢، ٨٤، ٨٦، ٨٧، ٩٢



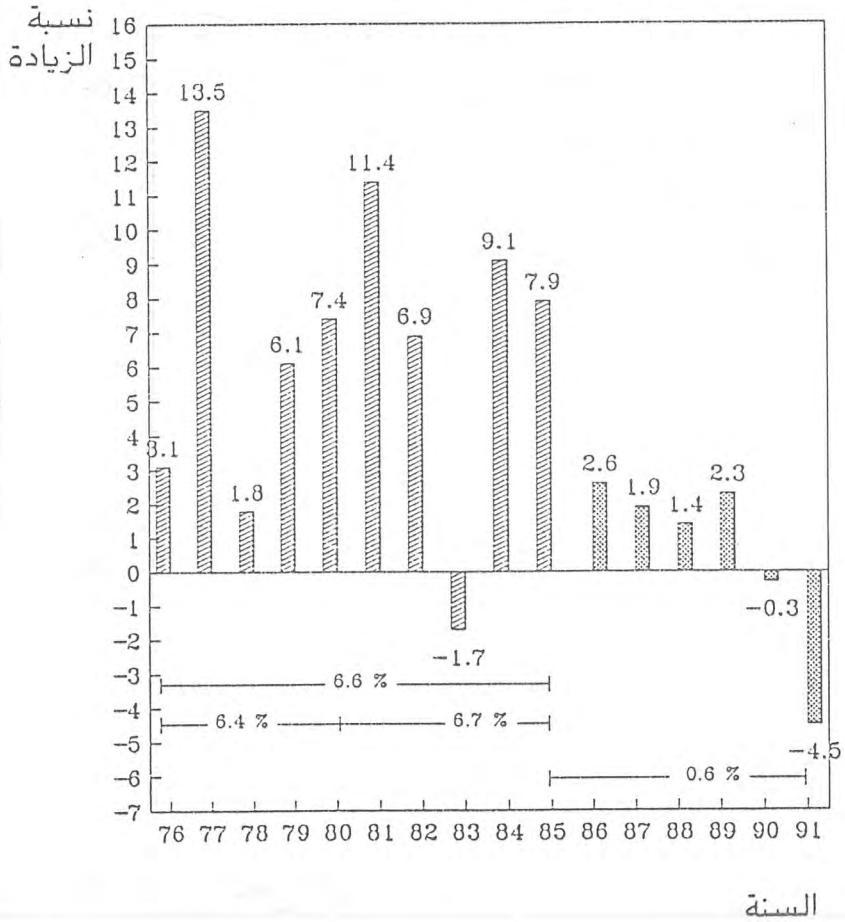
نموذج رقم ٤ : معدل الاستهلاك اليومي للمحرق قبل وبعد تطبيق التعرفة

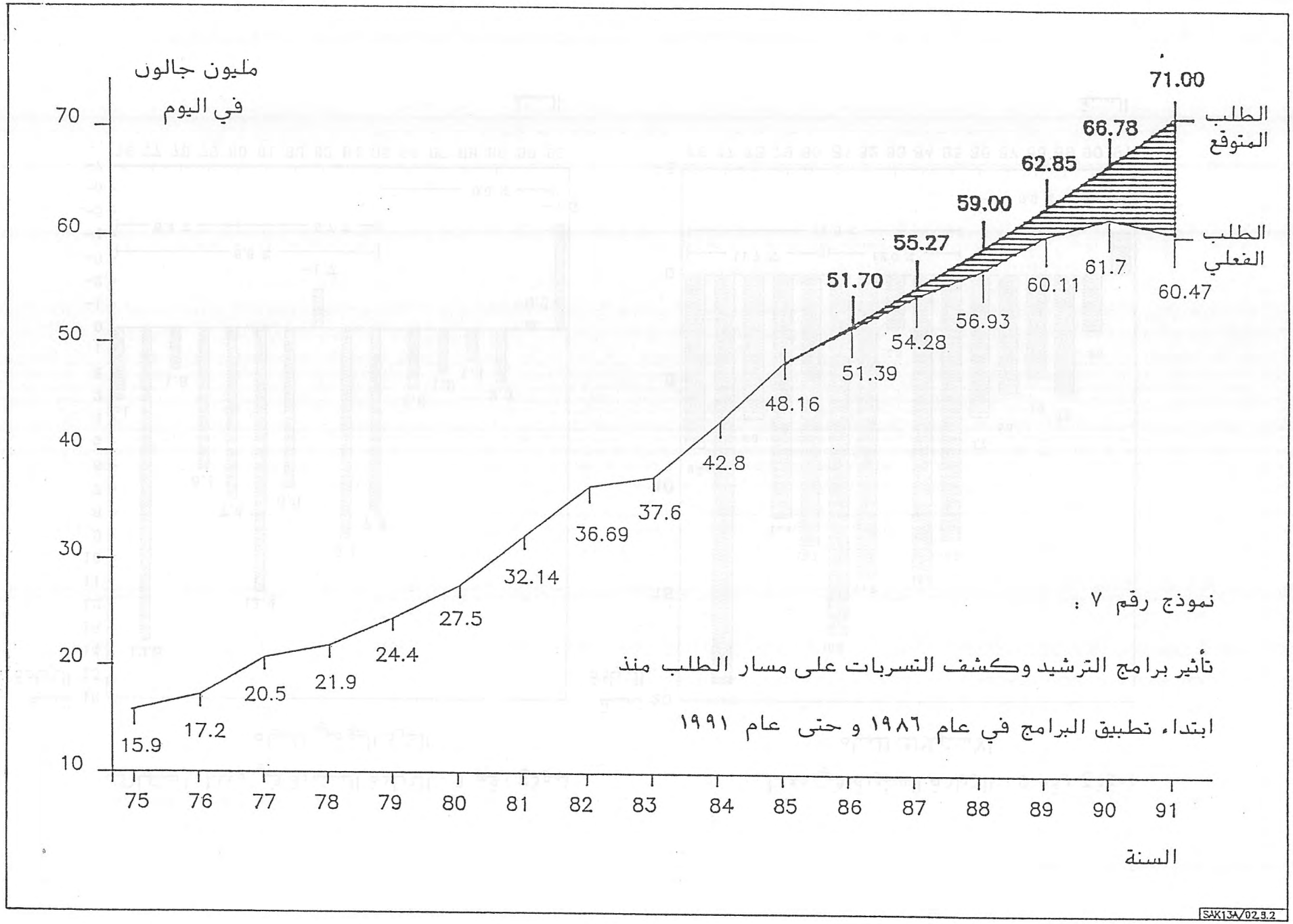


نموذج رقم ٥ : الزيادة السنوية في معدل
الاستهلاك للمياه



نموذج رقم ٦ : الزيادة السنوية في معدل إستهلاك
الفرد اليومي للمياه





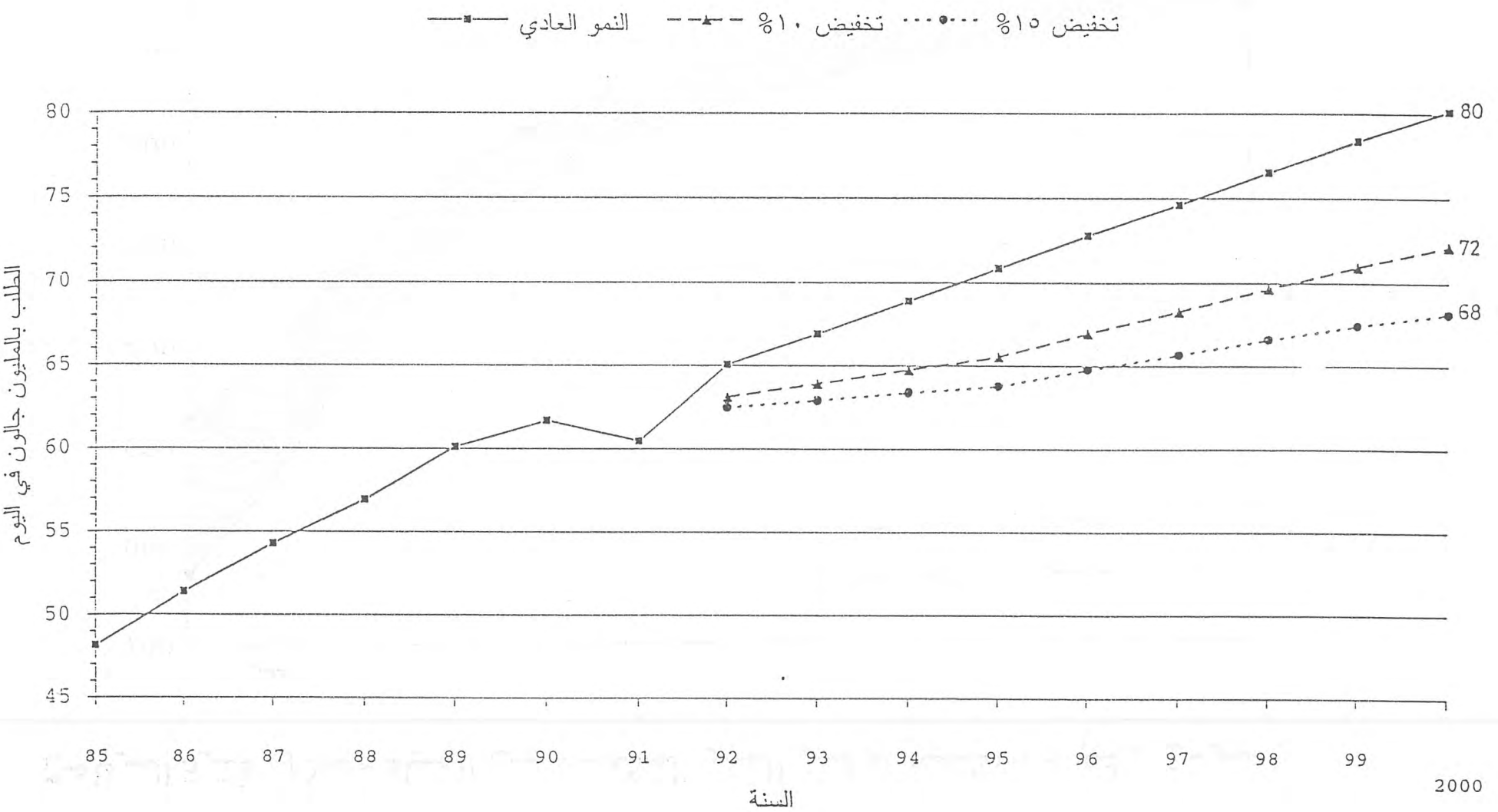
نموذج رقم ٧ :

تأثير برامج الترشيد وكشف التسربات على مسار الطلب منذ

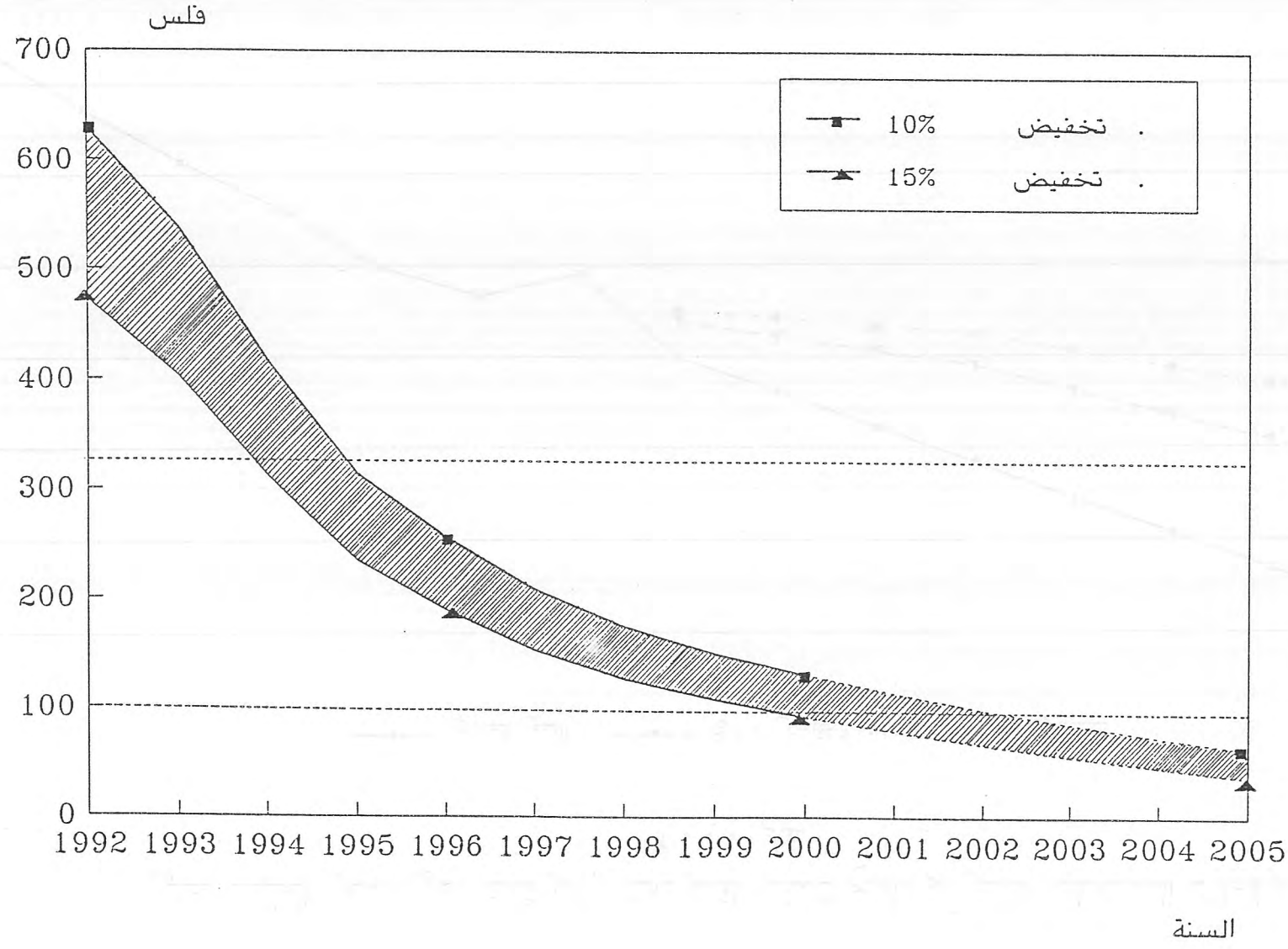
ابتداء تطبيق البرامج في عام ١٩٨٦ و حتى عام ١٩٩١

SAK13A/02.9.2

نموذج رقم ٨ : التوقعات المستقبلية لتأثير برنامج كشف التسربات والترشيد على مسار الطلب حتى عام ٢٠٠٠



نموذج رقم ٩ : تكلفة توفير المتر المكعب من المياه خلال فترة البرنامج



أزمة المياه والتنمية الزراعية في الوطن العربي

الدكتور علي عبدالرحمن علي

بسم الله الرحمن الرحيم

مؤتمر الخليج الاول للمياه

١٠ـ١٤ اكتوبر ١٩٩٢م

دبي

دولة الامارات العربية المتحدة

موضوع البحث

ازمة المياه والتنمية الزراعية فى الوطن العربى

دكتور

على عبد الرحمن على

رئيس محطة بحوث الاقتصاد الزراعى

بالاسماعيلية

معهد بحوث الاقتصاد الزراعى ـ مركز البحوث الزراعية

وزارة الزراعة واستصلاح الاراضى المصرية

بسم الله الرحمن الرحيم

ازمة المياه والتنمية الزراعية فى الوطن العربى

دكتور
على عبد الرحمن على (*)

الملخص

يمر الوطن العربى حاليا بعدة متغيرات اثرت على الاوضاع الاقتصادية والاجتماعية والسياسية فى المنطقة ، وظهرت بعض المشكلات مثل مشكلة التنمية الزراعية والاقتصادية ومن اهم مشكلة فى هذا المجال مشكلة المياه وندرتها فى الوطن العربى ، كما تعتبر من اهم العقبات التى تواجهه التنمية الاقتصادية والزراعية — وتزداد ندرة المياه تعقيدا بسبب محدودية مصادرها وارتفاع الاستثمارات وتكاليف الحصول على المياه من المصادر الاخرى بالاضافة الى تزايد الطلب على المياه للاغراض المختلفة . وتقدر جملة الموارد المائية فى الوطن العربى بحوالى ٣٣٧٫٦ مليار م٣ يستخدم نصفها تقريبا فى الاغراض المختلفة ويهدف البحث توضيح اهم معوقات التنمية الزراعية فى الوطن العربى واستعراض الموارد المائية والارضية المتاحة والمستقبلية فى الوطن العربى وكيفية تخطى عقبات التنمية الزراعية كما يوضح اهمية الطلب على المياه ، والفجوة المائية الحالية والمستقبلية فى الوطن العربى والمشاكل التى يعانيها الوطن العربى فى مجال تنمية الموارد المائية خصوصا على المستوى السياسى والقومى .

(*) رئيس محطة بحوث الاقتصاد الزراعى — معهد بحوث الاقتصاد الزراعى — مركز البحوث الزراعية — وزارة الزراعة واستصلاح الاراضى — جمهورية مصر العربية

مقـــدمـــة

يمر الوطن العربى فى الوقت الحالى بعدة متغيرات هامه اثرت على الاوضاع الاقتصادية والسياسية والاجتماعية فى المنطقة ، وادى الى وجود حالة عدم استقرار ، مع فتح السبيل للتدخل الاجنبى لمحاولة زيادة حدة التشاحنات بين دول المنطقة ، ويرى ذلك فى الحروب المستمرة مع العدو الاسرائيلى ، ووجود حرب بين بعض الدول ، او وجود حرب اهليـــة داخل البلد الواحد ، علاوة على اثارة الفتنة الطائفية داخل البلد الواحد عن طريق بعض المفاهيم الخاطئة عن وظائف الاديان ، بالاضافة الى خلق عصبيات شديدة التوتر ، ممـــا يسهل للتدخل فى الشئون العربية .

وهناك العديد من المشاكل التى تسبب قلاقل فى المنطقة العربية ، ولعل اهم تلـــك المشاكل ، مشكلة التنمية الاقتصادية فى ظل التحرر الاقتصادى الذى يجتاح العالم الان . وهنا يجب العمل على الخروج من الازمات التى تواجهه الوطن العربى ، سواء الاقتصاديـة والاجتماعية والاخلاقية والسياسية لمواكبة النظام الاقتصادى الجديد . وتعتبر التنميـــة الزراعية احدى السبل لحل مشكلات الوطن العربى . وهناك مشاكل تعترض التنمية الزراعيـــة فى الوطن العربى ، واهم تلك المشاكل ، ومشكلة ندرة الموارد المائيه فى الوطن العربى ، . وهذه المشكلة اصبحت المحور الرئيسى فى المناقشات الدولية .

ومشكلة المياه فى المنطقة العربية تزداد تعقيدا بسبب ان اكثر من ٦٥٪ من منابع الميـاه تقع خارج المنطقة العربية ، علاوة على محدودية مصادر المياه سواء السطحية او الجوفيـــة او الامطار ، الى جانب ارتفاع تكاليف واستثمارات الحصول على المياه من المصادر الاخـــرى (تحلية مياه البحر) بالاضافة الى تزايد الطلب على المياه خصوصا فى مجال الرى والتنميـة الزراعية ، حيث ان الطلب شديد على المياه فى المناطق الصحراوية المراد استصلاحهـــا واستزراعها مستقبلا (تمثل ٣/٢ من مساحة المنطقة العربية) . كما ان مشكلة التنمية الزراعية يواجهها ايضا وجود مناطق جبلية ومناطق عميقة ومستنقعات وبحيرات ، تحد من تنفيذ خطط التنمية الزراعية لمحاولة زيادة الرقعة الزراعية ، وزيادة انتاج الغذاء لمواجهة مشكلة تزايـد السكان ، والحد من استيراد الغذاء من الخارج ، والوصول الى حالة الاكتفاء الذاتـى فى الـوطن العربى ، واتباع سياسة الاعتماد على الذات .

التنمية الزراعيـة فى الوطن العربى

تعتبر المنطقة العربية من اكثر مناطق العالم اعتمادا على المصادر الغذائية من الخارج الى جانب انخفاض المنتج من الحبوب والبروتينات ، حيث اصبحت المنطقة تستورد اكثر من ٣/٢ الغذاء المستهلك ، وقد تزايد نصيب الفرد من صافى الواردات الزراعية فى المنطقة العربيـة بالمقارنة بالصادرات والتى تعتبر محدودة للغاية ، اذ وصلت الواردات الزراعية والغذائيـة فى المنطقة الى ما يقرب من ٧ امثال الصادرات فى الاونة الاخيرة .

ومن المعروف ان المساحة الكلية للوطن العربى تبلغ حوالى ١٫٤ مليار هكتار (١٤ مليـــون

كيلو متر مربع) ، وهذه المساحة تمثل ٢ر١٠٪ من اجمالى مساحة العالم . كما ان الاراضى العربية القابلة للزراعة تعادل ١٩٧ مليون هكتار ، ورغم تلك المساحة الشاسعة الا ان نسبة هذه الاراضى تمثل ١٤٪ من مجموع المساحة الكلية ، بينما لاتزيد المساحة المنزرعة حاليا عن ٥٤ مليون هكتار اى بنسبة ٥ر٢٧ ٪ من اجمالى المساحة القابلة للزراعة .

ويقدر اجمالى الموارد المائية فى الوطن العربى حوالى ٣٥٣ مليار متر مكعب من المياه ، كما يستخدم منها ٥٠٪ (٥ر٧٦ مليار متر مكعب) لجميع الاغراض . ويرجع السبب فى عدم الاستغلال الكامل لهذه الموارد المائيه المتاحة ، الى وجود مشاكل متعلقة بالاستثمارات الخاصة لاستغلال هذه الموارد ، ونقص الخبرات فى مجال استخدام التكنولوجيا المتخصصة فى الموارد المائية سواء فى مجال الرى او الاستخدامات البشرية او الاستخدام الصناعى .

وتنقسم الزراعة العربية الى نوعين من الزراعة ، الاولى الزراعة المطرية (صيفا و شتاء) وهى تتسم بانتاج الحبوب والبقول والمحاصيل الزيتية ، وهذه الزراعة تتصف بعدم الاستقرار كما انها تتفاوت من دولة لاخرى حسب نسب المساحات المروية مطريا ، كما تتصف بعدم انتظام سقوط الامطار وعدم كفايته فى الرى ، وتتوقف معظم المساحات المخصصة للتوسع الافقى فى هذه المناطق الى التوسع فى زراعة المحاصيل المطرية التى تتحمل الجفاف مثل الشعير والذرة وبعض محاصيل الاعلاف رغم انخفاض متوسط غلة الهكتار من زراعة تلك المحاصيل .

اما النوع الثانى من الزراعة ، الزراعة اعتمادا على الرى الصناعى ، وهذا النوع يتطلب له استثمارات ضخمة لبناء السدود والترع والقنوات ونظام الرى المستخدم ، ويؤدى ذلك الى ارتفاع تكاليف انتاجية الهكتار للمحاصيل المنزرعة تحت هذا النوع من الرى . ورغم ذلك يتسم هذا النوع بالثبات طوال العام ، وضمان الرى فى اى وقت ، وضمان زراعة اى محاصيل ، رغم مايتطلب من زيادة الصيانة الدورية وضمان استمرار تشغيل نظام الرى بالدرجة والكفاءة المطلوبة . ويقسم هذا النوع الى نظام الرى بالراحة (يحدث فاقد كبير فى استهلاك المياه) ، ونظام الرى الرذاذى والرى الموضعى (تحقق كفاءة عالية فى استخدام المياه ، وضمان ارتفاع انتاجية الهكتار وزيادة العائد من زراعة المحاصيل المنزرعة تحت هذه النظم .

وهناك عوامل اخرى تؤثر على التنمية الزراعية بجانب الموارد الارضية والموارد المائيه ، وهى المناخ ، الموارد البشرية ، مدخلات الانتاج الزراعى ، واستخدام الميكنة الزراعية ، ومدى توفر الاستثمارات اللازمة لرفع معدلات التنمية الزراعية ، وبالتالى رفع معدل التنمية الاقتصادية .

معوقات التنمية الزراعية فى الوطن العربى

تعوق الزراعة العربية العديد من العوائق التى تؤدى الى فشل تحقيق التنمية الزراعية من خلال تنفيذ خطط التنمية الزراعية ، الامر الذى يؤدى الى تزايد العجز فى انتاج المواد الغذائية اللازمة للوفاء باحتياجات سكان المنطقة العربية . وهذه العوائق عبارة عن عوائق مرتبطة بالطبيعة الى جانب العوائق القانونية والاقتصادية ـ الاجتماعية والسياسية . وهذه العوائق تتداخل بصورة لايمكن فصل اى عائق عن اخر ، مما يصعب تحليل مشكلات التنمية من وجهه نظر معينة .

فمن الناحية الطبيعية ، نجد ان اهمال الموارد الطبيعية الزراعية ، والاعتماد على مصدر الامطار فى الزراعة فى بعض المناطق ، مع تذبذب سقوط الامطار ، و وجود الاسراف فى المياه المستخدمة للرى سواء السطحية او الجوفية ، حيث يسبب ذلك انجراف التربة ، و زيادة الملوحة و زيادة تعرية المناطق المخصصة للمراعى من غطائها النباتى . و نجد العوائق القانونية تتمثل فى عدم وجود علاقة مقبولة بين المالك و المستأجر ، و مشاكل انتقال ملكية الاراضى ، علاوة على تفتت فى الاراضى الزراعية ، و تبعثر الملكيات فى بعض المناطق الامر الذى ينتج عنه خسارة كبيرة اقتصادية .

و العوائق الاقتصادية تتلخص فى اختلال العلاقات الانتاجية بسبب وجود سياسات زراعية متعددة ، مثل تحديد الايجارات الزراعية ، و سياسة توزيع مستلزمات الانتاج الزراعى عن طريق الحكومات او الشركات او الافراد او توزيعها باسعار مدعمة او حره ، ايضا سياسة تسعير المنتجات الزراعية ، وسياسات فرض الضرائب على المنتجات الزراعية و المحاصيل ، و السياسات الائتمانية التى تؤدى الى احجام المزارعين فى الاستمرار فى النشاط الزراعى . و هذه السياسات تؤدى الى استخدام الاراضى الزراعية فى اغراض غير زراعية ، مثل بيعها للبناء ، او تجريف الارض الزراعية علاوة على زراعة المحاصيل التى لا تخضع لقيود السياسة الزراعية . و قد يصل الامر الى تهريب الانتاج الزراعى عبر الحدود سعيا وراء ارباحا افضل .

يضاف الى العوائق الاقتصادية ، تاثر القطاع الزراعى بالتخلف الشديد فى قطاعاتة المختلفة مثل انخفاض الانتاج الزراعى ، و انخفاض انتاجية الهكتار ، و ردائة الانتاج الزراعى و الحيوانى ، و هذا راجع الى عدم توفر التكنولوجيا اللازمة ، بالاضافة الى المشاكل التسويقية . و العوائق السياسية عبارة عن توزيع عناصر الانتاج (الارض ـ راس المال ـ العمل ـ الادارة) بصورة متباينة فى دول المنطقة فبعض الدول تتسم بوجود الراسمال اللازم للتنمية ، و البعض الاخر لدية الارض اللازمة للزراعة ، والاخرى لديها القوى البشرية ، علاوة الى وجود معظم الموارد الزراعية و الطبيعية فى دول تلك المنطقة ، ايضا وجود الموارد المالية لبعض البلدان العربية فى بنوك الاوروبية و الامريكية ، كل هذا يؤدى الى صعوبة تحقيق التنمية الزراعية السريعة .

و هناك ايضا بعض العوائق المرتبطة بالبيئة و التى تتمثل فى نوعية البيئة العربية ، و التى تتصف بوجهة عام بالسمات التالية :

١ـ بيئة قاحلة و قليلة الامطار
٢ـ بيئة ذات حرارة مرتفعة بوجهة عام
٣ـ بيئة خفيفة الرياح
٤ـ اغلب بحيرات المنطقة العربية عبارة عن بحيرات مغلقة ، علاوة على قلة وجود انهار
٥ـ وجود مشاكل متعلقة بملوحة الاراضى و المياه ، خصوصا المياه الجوفية
٦ـ مشاكل التصحر ، و التى تزداد بشكل ملحوظ سنويا نتيجة تدهور الزراعة فى المنطقة العربية
٧ـ مشكلة سوء ادارة الموارد الزراعية

يضاف الى ذلك التفوق الشديد فى التكنولوجيا الزراعية فى البلدان المتقدمة ، حيث هناك تفاوت شديد بين التكنولوجيا الموجودة بالمنطقة العربية و الموجودة فى الدول المتقدمة ، الامر الذى يؤدى الى تزايد الفجوة فى انتاج الغذاء فى المنطقة .

السياسات الزراعية في الوطن العربي

من خلال استعراض معوقات التنمية الزراعية ، يحتم الامر الى وجود سياسات زراعية حديثة متطورة تهدف الى تضيق الفجوة التكنولوجية في قطاع الزراعة ، و زيادة انتاج الغذاء لمواجهة تزايد السكان ، بالاضافة الى الحفاظ على الموارد الزراعية و الطبيعية و التى تتصف بالندره ، خصوصا الموارد المائية ، لذا فان هذه السياسات تهدف الى تحقيق بعض النقاط التالية :

١ــ اجراء مسح شامل للموارد الطبيعية الزراعية و تصنيفها حسب كل منطقة ، واعداد خطط توضح مايمكن احداثه من تنمية زراعية سليمة و حقيقية و ذات اهداف قابلة للتنفيذ .

٢ ــ استغلال الاراضى القابلة للزراعة ، و التى لم تزرع بعد لزيادة الانتاج الزراعى من خلال التوسع الزراعى الافقى الى جانب التوسع الزراعى الراسى .

٣ــ تطبيق التكنولوجيا الزراعية الحديثة ، مثل تطبيق مجالات الهندسة الوراثية و زراعات الانسجة الزراعية ، و التكنولوجيا الحيوية .

٤ــ العمل على سن القوانين و التشريعات التى تهدف الى تحقيق تنمية زراعية سريعة .

٥ــ الاهتمام بالموارد المائيه ، و التى تتصف بالندرة الشديدة ، و استخدام الوسائل التى يمكن بها تقليل الفاقد فى استخدام المياه ، مع البحث عن البدائل للموارد الحالية .

٦ــ ايجاد علاج لمشكلة تفتت الحيازات ، و العمل على حلها عن طريق التعاونيات الزراعية .

٧ــ اعادة النظر فى العلاقة بين المالك و المستأجر فى الاراضى الزراعية .

٨ــ تطوير سياسات التسعير للسلع الزراعية و المستلزمات الزراعية ، و ان تكون مرنة .

٩ــ علاج مشكلات الائتمان فى مجال الزراعة ، و ايجاد السبل لتوفير و تيسير القروض فى مجال الانتاج الزراعى باشكاله المختلفة .

١٠ــ توفير المعلومات و البيانات لتسهيل اجراءات التصدير للمنتجات و الخامات الزراعية .

١١ــ الاهتمام ببرامج التسويق الزراعى لضمان نجاح العملية الانتاجية من بداية توفر المستلزمات الزراعية حتى تسويق الانتاج .

١٢ــ تشجيع اقامة مشروعات زراعية عربية متكاملة و مشتركة بين الدول العربية ، و العمل على ازالة العقبات التى تحول دون انجاح مثل هذه المشروعات .

الموارد الارضية الزراعية فى الوطن العربى

تعتبر المنطقة العربية غنية بالموارد الزراعية ، خاصة الموارد الارضية الى جانب توفر رؤوس الاموال ، و الموارد البشرية ، علاوة على توفر الخبرات الفنية المدربة فى الزراعة .

و تبلغ المساحة الاجمالية الارضية للوطن العربى حوالى ١٣٧٨ مليون هكتار ، و تبلغ مساحة الاراضى القابلة للزراعة حوالى ١٩٧ مليون هكتار بنسبة ٣ر١٤ ٪ من اجمالى المساحة الارضية الكلية منزرع منها حاليا حوالى ٥٤ مليون هكتار بنسبة ٥ر٢٧ ٪ من اجمالى الاراضى القابلة للزراعة و بنسبة ٤٪ من اجمالى المساحة الارضية الكلية ، و هى التى يتم زراعتها بجميع المحاصيل و الخضر و الفاكهة التى تنتج بالوطن العربى ، كما تبلغ المساحة المخصصة للغابات حوالى ٨ر١٣٨ مليون هكتار ، و المساحة المخصصة للمراعى تبلغ حوالى ١٩٩ مليون هكتار . و هذه الاراضى جميعها حوالى ٣٩٪ من اجمالى المساحة الارضية الكلية للوطن العربى ، اما اجمالى المساحة الباقية فهى عبارة عن مناطق صحراوية لم تستغل بعد .

و تعتبر مشكلة الاراضى الصحراوية من اهم المشاكل التى تواجهة التنمية الزراعية فى الوطن العربى ، بسبب عدم توافر الموارد المائية اللازمة لاستصلاح و زراعة هذه الاراضى ، و تزداد هذه المشكلة تفاقما يوما بعد يوم ، حيث بلغت نسبة المساحات المهددة بالتصحر حوالى ٢٠٪ من جملة مساحة الوطن العربى ، الامر الذى يجب معه وضع خططا مستقبلية لاشتغلال هذه المساحات لزيادة الرقعة الزراعية فى الوطن العربى لمواجهة المشاكل التى تواجهة تاخر تنفيذ خطط التنمية الزراعية .

البنـــــد		الاجمالـــى	من الاجمالـــى ٪
المساحة الجغرافيـــة		١٣٧٨	١٠٠
نوع الارضـــى	قابلة للزراعـة	١٩٧	١٤ر٣
	منزرعة حاليا	٥٤	٤
	غير مستغلة	٨٤٣	٦١
	غابـــات	١٣٩	١٠
	المراعـــى	١٩٩	١٤ر٤

جدول (١) : الموارد الارضية الزراعية فى الوطن العربى : (بالمليون هكتار)

المصدر : جمعت و حسبت من مصادر مختلفة .

كما تقسم اراضى المنطقة العربية الى اراضى رطبة أى التى تتوافر فيها المياه بصفه مستمرة عن طريق الامطار ، والى اراضى جافة وهى اما صحراء مجدبة او شبة صحراء وهذه الاراضى يندر فيها وجود مياه الامطار الا بكميات قليلة و بالتالى فهى تعتمد على المياه السطحية و الجوفية

ومن الملاحظ ان ٩٦٪ من مساحة الوطن العربى عبارة عن مناطق جافة ، والباقى حوالى ٤٪ عبارة عن اراضى رطبة ، والاخيرة تنحصر فى مناطق ساحل البحر الابيض المتوسط ، حيث ترتفع نسبة الرطوبة فى بعض المناطق الى ١٠٠٪ كما فى لبنان .

الموارد الارضية الزراعية المستقبلية فى الوطن العربى :

نجد للان انه لاتوجد دراسات و بحوث كافية تحدد الموارد الارضية مستقبلا ، رغم ان المنظمة العربية للتنمية الزراعية تقوم باجراء الدراسات المسحية على الاراضى القابلة للاستغلال الزراعى على الاخذ فى الاعتبار عدة عوامل منها :

- مدى البعد او القرب عن خط الاستواء .
- معدل درجات الحرارة و الرطوبة .
- درجات واختلاف و شدة الضوء
- الامطار وشدتها و معدلاتها حسب كل منطقة
- مدى توفر مصادر المختلفة للميـــاه .

وعند دراسة الموارد الارضية المستقبلية ، يجب وضع العوامل الاتية فى الاعتبار ،

١ــ تكلفة الانتاج لوحدة الارض القابلة للزراعة
٢ــ العائد من استخدام او الانتفاع بالوحدة الارضية
٣ــ نمط الانتاج المستخدم فى الارض
٤ــ مدى توفر مصادر الـــــرى
٥ــ مدى توفر مصادر الطاقة وتكلفتها
٦ــ خلق مجتمعات عمرانية جديدة فى تلك الاراضى ، والشكل الاجتماعى لهذه المجتمعات

الموارد المائيـــة

١) الموارد المائيـة فى العالم :

تعتبر الموارد المائية فى العالم ثابتة منذ بداية الخلق ، وهذه المياه تقدر بحوالـــى ٤/٥ حجم الارض (١٣٦٨ مليون كيلو متر مكعب) ويقدر مخزون المياه العذبة بحوالى ٣٤ مليون كيلو متر مكعب تمثل ٢ر٥ ٪ من اجمالى مخزون المياه فى الكرة الارضية ، ويقدر حجم المياه المالحة بحوالى ١٣٣٤ مليون كيلو متر مكعب بنسبة ٩٧ر٥٪ من حجم المياه فى الكـــرة الارضية . ومخزون المياه العذبة رغم انه كبير الحجم الان حوالى ٦٨ر٨٪ منه (٢٣ر٤ مليون كيلو متر مكعب) غير متاح للاستخدام ، اذ تتمثل هذه الكمية فى جبال الجليد .

ومخزون المياه العذبة من المياه الجوفية تمثل حوالى ٣٠٪ من مخزون المياه العذبة اى حوالى ١٠ر٥ مليون كيلو متر مكعب ، بينما تشكل المياه العذبة المتاحة من الانهار والبحيرات نسبة ٢٧ر٠٪ من المخزون الكلى للمياه العذبة اى حوالى ٩٢ الف كيلو متر مكعب .

مصدر المياه العذبة	المخـــزون	كمية المياه المتجددة
الميـاه الجـــوفية	١٠ر٥ مليون كم٣	٢٣٠٠ كـــم٣
الميـاه السطحيـة	٠٩٢ر مليون كم٣	٤٤٧٠٠ كـــم٣
الاجمـــالى	١٠ر٥٩٢ مليون كم٣	٤٧٠٠٠ كـــم٣

٢) الموارد المائيه فى الوطن العربى :

تعتمد المنطقة العربية على مياه الامطار والمياه السطحية والجوفية ، بالاضافة الـــى تحلية مياه البحر ، وتنقية مياة المصارف ، للحصول على كافة احتياجاتها من المياه .

اولا : ميـــــاه الامطـــار :

معدل سقوط الامطار فى المنطقة العربية يختلف من منطقة لاخرى ، بالاضافة الى عدم انتظام سقوط الامطار مما يؤدى الى تعرض المناطق الزراعية المعتمدة على هذه الامطار فى معظم فترات السنة للجفاف ، وبالتالى عدم انتظام الانتاج الزراعى وحدوث عجز فى انتاج الغذاء — ومعدل سقوط المطر السنوى فى بعض المناطق يتجاوز ٤٥٠ مم ، وهذه المناطق منزرع حوالى ٦٥٪ من اراضيها بمياه الامطار ، ومناطق اخرى معدل سقوط المطر بها من ٢٥٠ — ٤٥٠ مم ، وتكون هذه الامطار فى الغالب غير منتظمة مما يؤدى الى اصابة هذه المناطق بالتعرية ، اما الاراضى المخصصة للمراعى معدل سقوط المطر بها اقل من ٢٥٠ مم . وعند الزراعة على الامطار تكون هناك مشكلة صعوبة تقدير معدلات سقوط الامطار مما يؤدى الى صعوبة تنفيذ خطط التوسع الزراعى الافقى .

ثانيا : الموارد المائيه السطحيـة :

يتصف الوطن العربى بندرة وجود انهار للمياه العذبة ، باستثناء نهر النيل ونهرى دجلة والفرات ، وهذه الانهار تستمد مياهها من خارج الوطن العربى ، كما يوجد بعض الانهار الصغيرة ولكنها تعتبر انهار مغلقة .

١ — نهـر النيـل :

من اطول انهار العالم ، ويمر خلال جريانه بتسع دول افريقية هى : بورندى ، رواندا زائير ، كينيا ، اوغندا ، اثيوبيا ، السودان ، تنزانيا ، مصر . ويصل التصرف السنوى لنهر النيل عند اسوان حوالى ٨٤ مليار متر مكعب ، بالاضافة الى فاقد المياه فى بحر الغزال والسوباط (٤٠ مليار متر مكعب) ، واذا خفض هذا الفاقد سوف يصل التصرف السنوى لنهر النيل عند اسوان حوالى ١١٠ مليار متر مكعب ، وهناك فاقد فى بحيرة ناصر يقدر بحوالى ١٠ مليار متر مكعب سنويا ناتج من البخر والتسرب والرشح .

وينبع نهر النيل من عدة فروع هى : النيل الابيض من بحيرة فيكتوريا التى تبلغ مساحتها ٦٧٠٠٠ كم٢ ، وتقع فى قلب افريقيا بالهضبة الاستوائية بارتفاع ١١٣٠ م فوق سطح الارض ويبلغ معدل سقوط المطر فى هذه المنطقة حوالى ١١٥٠ مم سنويا ، وتعتبر خزانا طبيعيا يوازن تصرف النهر . اما الفرع الثانى فهو النيل الازرق الذى ينبع من بحيرة تانا التى تبلغ مساحتها ٣٠٠٠ كم٢ ، وتقع فى الهضبة الحبشية ، ويبلغ ارتفاعها حوالى ١٨٠٠م فوق سطح البحر ، ويبلغ معدل سقوط المطر فيها حوالى ١٤٠٠ مم سنويا . والفرع الثالث فهو نهر عطبرة الذى ينبع من سفوح الهضبة الحبشية .

ويخترق النيل اراضى السودان من اقصى الشمال حتى مصر الى البحر المتوسط . ويبلغ المسار الرئيسى حوالى ٤٣٠٠كم ، يشق خلالها اقاليم مناخية متعددة مثل الاستوائى وشبه الصحراوى والسافانا ، ثم المناخ المتوسط ، كما يبلغ مجموع التصرف الكلى لفروع النيل الثلاثة عند الحدود السودانية حوالى ٨٤مليار متر مكعب من المياه سنويا .

٢ــ نهرا دجلة والفرات :

ينبع هذان النهران من هضبة الاناضول جنوب شرقى تركيا من جبال طوروس الشرقية و جبال زاغروس ، و هذه مناطق رطبة ، و معدل سقوط المطر بها ١٠٠٠ مم ، و يخترق نهر الفرات كلا من سوريا و العراق ، بينما يخترق نهر دجلة العراق مارا بالحدود السورية الشرقية . و ينبع من هذان النهران مجموعة من الانهار الصغيرة قبل ان يلتقيا فى شط العرب . و يبلغ مسار نهر الفرات ٢٣٣٠ كم ، و نهر دجلة ١٧١٨ كم ، كما يشق النهران طريقهما فى اراضى رطبة ثم جافة و تتدرج الى الجافة عند المصب ، و يقدر تصرف النهران السنوى عند نهاية مسارهما من ٧٧ــ٨٠ مليار متر مكعب .

٣ــ الانهار الاخرى والاودية الموسمية فى الوطن العربى :

الانهار الاخرى لاتتجاوز الخمسين نهرا ، و ينحدر معظمها من الجبال المطلة على البحر الابيض و المحيط الاطلسى ، و لا يتجاوز مسار معظمها عن ١٠٠ كم ، و معدل سقوط المطر فى تلك الانهار خلال فصل الشتاء عن ١٠٠٠ مم سنويا ، كما انه هناك بعض الانهار تستمد مياهها من ذوبان الثلوج . اما الاودية الموسمية فهى تنتشر فى مختلف انحاء الوطن العربى من خلال شبكات هيدروجرافية تختلف فى كثافتها و اشكالها تبعا لطبوغرافية المنطقة و حسب نوع البيئة و التربة و معدل سقوط المطر . و هذه الشبكات تتكون من العديد من الاودية و تجرى فيها المياه بشكل متقطع لفترات محدودة ما بين ساعات و بضعة اشهر تبعا لمعدل سقوط الامطار .

ثالثا : الموارد المائيه الجوفيـة :

تتركز الموارد الجوفية للمياه العذبة فى اقليم البحر الابيض المتوسط على طول الشواطئ الشرقية للبحر فى سوريا ولبنان و فلسطين ، و لا تزد نسبة الملوحة بها عن ٥٠٠ ملغ ليتر ، كما توجد مياه جوفية فى احواض المغرب العربى ، و يعود الى تملح هذه المياه الى تداخل مياه البحر فى تلك المناطق . و فى اقليم الصحراء الكبرى تتراوح نسبة الملوحة من ٥٠٠ــ ١٠٠٠ ملغ ليتر ، وفى اقليم دجلة و الفرات تتراوح نسبة الملوحة من ١٠٠٠ــ ٦٠٠٠ ملغ ليتر ، فى حين نجد ان اقليم البحر الاحمر و بحر العرب تزيد نسبة الملوحة عن ١٢٠٠ ملغ ليتر ، اما شبة الجزيرة العربية بها المياه شديدة الملوحة باستثناء الطبقات الرملية لاتزد نسبة الملوحة بها عن ١٠٠٠ ملغ ليتر .

و من خلال الدراسات التى تمت بخصوص المياه الجوفية بالمنطقة العربية ، اوضحت ان كمية المياه المتجمعة فى الابار تتصف بالندرة بالمقارنة بالمنصرف الحالى من تلك المياه خصوصا فى منطقة الخليج العربى ، الامر الذى سوف يؤدى الى زيادة نسبة الملوحة فى مياه الابار ، و بالتالى سوف تشكل خطرا على الاراضى التى تروى بهذه المياه و على المحاصيل المنزرعة . لذا يجب وضع الحد الامنى لاستخدام هذه المياه ، مع البحث عن البدائل الاخرى لهذه المياه .

و هناك اسراف فى استخدام المياه الجوفية خصوصا فى مجال الرى ، و تروى بها محاصيل ذات استهلاك كبير فى المياه . لذا يجب ان يراعى زراعة محاصيل ذات احتياج مائى منخفض .

كما وجد ان الاسراف فى استخدام المياه الجوفية يؤدى الى انخفاض منسوب المياه ، الامر الذى يؤدى الى ضخ ابار على مسافات عميقة ، مما يزيد من تكاليف ايتخراج هذه المياه ، كما ان معظم الدراسات والبحوث تتعامل مع الطبقات السطحية للمياه الجوفية فقط .

البنـــــد	التقليديـــة	المستثمرة
الموارد المائية السطحية	٢٩٥ر٨	١٣٩ر٨
الموارد المائيه الجوفيـة		
الوارد السـنوى	٤١ر٨	
المخـــزون	٧٧٣٣ر٩	
الجملـــة	٧٧٧٥ر٧	٢٢ر٥
اجمالى الموارد المتجددة	٣٣٧ر٦	١٦٢ر٣
الموارد المائيه غير التقليدية :		
تحلية ميـاه البحـر		١ر٦
تنقية ميـاه الصـرف		٨ر
الجملـــة		٩ر٦
الجملـــــة	٣٣٧ر٦	١٧١ر٩

جدول (٢) : الموارد المائيه التقليدية والمستثمرة فى الوطن العربى : (مليار متر مكعب)
المصدر : ندوة مصادر المياه واستخداماتها فى الوطن العربى ، ١٩٨٦ .

وتختلف مصادر المياه للزراعة تبعا لتوفر مصدر المياه ، كما تتفاوت توزيع الموارد المائيه حسب المنطقة ففى منطقة الشرق العربى نجد ان اجمالى الموارد المائية تبلغ ١٢٠ر٣ مليار م ٣ بنسبة ٣٥ر٦٪ من جملة الموارد المائيه فى الوطن العربى ، وفى منطقة شبة الجزيرة العربيـة تبلغ ١٣ مليار م٣ بنسبة ٣ر٨٪ ، اما منطقة المغرب العربى فتبلغ ٦٤ر٥ مليار متر مكعب بنسبة ١٩ر٣٪ ، وفى المنطقة الوسطى تبلغ ١٣٩ر٧ مليار مترمكعب بنسبة ٤١ر٣٪ من اجمالـى الموارد المائيه فى الوطن العربى ، كما يبلغ نصيب الفرد من المياه سنويا فى منطقة المشرق العربى والمنطقة الوسطى والمغرب العربى و شبه الجزيرة العربية حوالى ٣٢٨٢م٣ ، ١٨٦٤ م٣ ، ١٠٨١م٣ ، ٥٩٤ م٣ على التوالى .

ورغم ان الموارد المائيه المتاحة فى الوطن العربى الا ان نصيب الفرد من هذه الموارد منخفض حيث يبلغ نصيب الفرد العربى من المياه حوالى ١٧٥٠ م٣ ، فحين أن متوسط نصيب الفرد عالميا يبلغ ١٢٩٠٠ م٣ سنويا .

الطلب على المياه فى الوطن العربى :

نجد ان الطلب الحالى على المياه فى الوطن العربى يبلغ حوالى ١٧٢ مليار متر مكعب

سنويا ، هذا فى حالة تأمين ٥٠٪ من الاكتفاء الذاتى من الغذاء ، اما فى حالة تأمين ١٠٠ ٪ فسيبلغ الطلب حوالى ٣٠٥ مليار متر مكعب سنويا . كما ان الطلب المستقبلى على المياه فى عام ٢٠٣٠ يبلغ حوالى ٢٢٤ مليار متر مكعب سنويا فى حالة تأمين ٥٠٪ من الاكتفاء الذاتى ، وفى حالة تأمين ١٠٠٪ يصل الطلب الى حوالى ٤٣٥ مليار متر مكعب سنويا . والطلب على المياه لاغراض الزراعة بلغ عام ١٩٨٥ حوالى ٢٤٥ مليار متر مكعب من المتوقع ان يصل الطلب على المياه عام ٢٠٣٠ حوالى ٣٧٨ مليار متر مكعب بنسبة زيادة قدرها ٥٤٪ .

فجوة المياه فى الوطن العربى :

رغم وجود الموارد المائيه فى المنطقة العربية بكميات تكفى الاستهلاك الحالى ، الا ان الطلب المتوقع عليها فى المستقبل يشير الى وجود فرق بين الموارد المائيه المتاحة والطلب على المياه للاستخدامات المختلفة ، فنجد انه من المتوقع ان يصل حجم الطلب على مياه الشرب الى حوالى ٣٥ مليار متر مكعب عام ٢٠٣٠ ، فحين الكمية المتاحة تقل عن ذلك بحوالى ١١ مليار متر مكعب ، اى ان هناك فجوة تقدر بـ ٦٨٪ ، اما فى مجال الصناعة فمن المتوقع ان تصل كمية المياه المطلوبة للاغراض الصناعية فى عام ٢٠٣٠ حوالى ٢٢ مليار متر مكعب فحين ان الموارد المتاحة تقدر بحوالى ٩ مليار متر مكعب ، والفجوة تقدر بحوالى ٦٠٪ ، كما تقدر الفجوة المائية فى مجال الزراعة حوالى ٥٤٪ .

الامن المائى فى الوطن العربى :

لما كانت الموارد المائيه تلعب دورا هاما فى التنمية الاقتصادية والزراعية فى المنطقة العربية ونظرا لعدم انتظام تجدد المياه والتى تبدو ظاهرة بشكل واضح فى معظم انهار واحواض المياه فى الوطن العربى ، ومع زيادة الطلب على المياه للاستخدامات المختلفة ، الى جانب تدهور نوعية المياه خصوصا الجوفية نتيجة الاستخدام غير الرشيد وعدم اجراء الصيانة للموارد المائيه مما يؤدى الى تخلخل الوضع المائى فى المنطقة . ورغم ان حجم الموارد المائية المتاحة تشير الى وجود مياه غير مستغلة ، الا انه مع تزايد الطلب على المياه سوف يزداد العجز وبالتالى تفاقم ازمة المياه فى المنطقة العربية . وهناك جهود تبذل من جانب الهيئات العربية وبعض الدول العربية فى مجال حصر وتنمية الموارد المائيه من خلال دراسات موسعة لخلق الامن المائى العربى .

وتقدر الاستثمارات الحالية من الموارد المائيه بحوالى ١٧٢ مليار متر مكعب سنويا منها ١٤٠ مليار متر مكعب من المياه السطحية ، و ٢٣ مليار متر مكعب من المياه الجوفية ، وحوالى ١٠ مليار متر مكعب من مصادر غير تقليدية . ومع وجود عجز فى الموارد المائيه ووجود مشكلة نوعية المياه من مختلف مصادرها ومشكلة سوء توزيع الموارد المائيه على المستويات الاقليمية ومشكلة الطلب المتزايد على المياه ، اصبحت مسالة تأمين المياه امر حيوى وضرورى فى المنطقة . ايضا وجود تذبذب معدلات سقوط الامطار ومشكلة عدم التاكد من المخزون الحقيقى للمياه الجوفية علاوة على مشكلة منابع الانهار العربية تقع خارج المنطقة العربية ، الامر الذى يؤخر تنفيذ خطط التنمية الزراعية ، والى ذلك يضاف وجود المشكلات السياسية بين دول الشرق الاوسط بشان المياه

فمثلا مصر لايمكن لها ان تتخذ اى قرار مرتبط باضافة و زيادة حصتها من نهر النيل الا بعد دراسة ذلك مع دول حوض النيل ، و تركيا اقامت منذ سنوات سدود و مشروعات مائية و بحيرات صناعية بغرض حجز كميات كبيرة من المياه فى نهرى دجلة و الفرات مما يؤثر ذلك على المشروعات الاقتصادية فى كلا من سوريا و العراق . كذلك نهر الاردن و روافده ، و نهر الليطانى يقعا داخل الاراضى العربية الا ان اسرائيل تعرقل و تحد من استغلال كلا من لبنان و سوريا و الاردن لهذين النهرين لانها تعتقد ان لها حقا مكتسبا فى المشاركة و الاستفادة من تلك المياه .

و باستعراض المشاكل السابقة ، يتحتم علينا من وجود مشروعات مائيه تؤمن الوضع المائى العربى عن طريق تنمية الموارد المائية فى الوطن العربى ، و ذلك عن طريق الوسائل التالية :

١ـ اعادة استخدام مياه الصرف الزراعى بعد معالجتها
٢ـ الترشيد فى استخدام المياه من مصادرها المختلفة
٣ـ تجميع مياه الامطار فى مجارى للاستفادة منها
٤ـ اقامة مشروعات تشجير الاراضى لمقاومة حدوث سيول المياه
٥ـ تحسين وسائل الرى و ادارة المياه على مستوى الحقل
٦ـ تسعير مياه الرى و ادخالها فى الاطار المحاسبى
٧ـ تقليل معدلات البخر فى المسطحات المائيه
٨ـ صيانة المياه الموجودة فى التربة و تقليل تسربها

و هناك مشاكل يعانى منها الوطن العربى فى مجال تنمية المصادر المائيه تتلخص فى الاتى :

١ـ سوء استخدام و استغلال المياه خصوصا فى مجال الرى
٢ـ تزايد ملوحة المياه الجوفية بسبب عدة عوامل اهمها الاسراف فى استخدام الاسمده و الكيماويات
٣ـ قلة الامطار فى مناطق عديده ، وكذلك قلة الموارد المائيه السطحية و صعوبة استغلالها
٤ـ الضخ الشديد و غير المدروس فى كثير من القنوات و الاحواض المائيه
٥ـ قلة الكوادر الفنية فى مجال صيانة و ادارة الموارد المائيه ، علاوه على قلة المعاهد المتخصصة

المشكلات الدولية المتعلقة بالمياه فى الوطن العربى :

نتيجة محدودية الموارد المائيه فى الوطن العربى ، فكان من الطبيعى ان تكون هناك صراع على المياه ، و هذا الصراع تاريخى و له ابعاد سياسية و اقتصادية . و قد قامت العديد من الخلافات حول اقتسام حصص المياه ، كما حدث فى السبعينات بين سوريا و العراق ، ايضا الصراع العربى ـ الاسرائيلى و الذى مازال مستمرا ، بالاضافة الى ان اى مفاوضات بشأن المنطقة العربية لابد ان تدرج فيها مشكلة المياه بشكل رئيسى ـ و هناك العديد من المشاكل دائرة بين دول المنطقة بسبب المياه ـ و من اهم هذه المشكلات :

١) مشكلة مصر و السودان

نجد ان مصر تعتمد بصورة اساسية على مياه نهر النيل فى كافة الاستخدامات لذا قامت مصر بعمل العديد من الاتفاقيات الدولية بين دول حوض النيل لمحاولة زيادة حصتها من مياه

النيل ، و من المعروف ان مشروعات الرى الموجودة على النيل الابيض يعود عائدها على مصر بينما مشروعات الرى على النيل الازرق يعود عائدها على السودان . و لقد استغل الاستعمار الانجليزى مشكلة المياه لخلق توتر مستمر بين مصر و السودان و لمحاولة الغاء فكرة وحدة وادى النيل . و من المعروف ان خزان سنار المقام على النيل الازرق و الذى بنى عام ١٩٢٥ ، لم تتم اتفاقية المياه به الا بعد عام ١٩٢٩ ، و تم نقل ملكيته للسودان عام ١٩٥٩ . و خزان جبل الاولياء المقام على النيل الابيض انشىء لصالح مصر عام ١٩٣٥ ، ايضا لم يستغل الا بعد هذا بعدة سنوات ، و بعد بناء السد العالى انتقل ملكيته ايضا للسودان ، و قسمت مياه السد العالى بين مصر و السودان بنسبة ٥٥ : ١٨ ، و انتقلت ملكية الخزانات الى السودان ، كما انشئت السودان خزانيين عند الرصيرص و خشم القربة لتخزين المياه .

و حصة مصر من مياه النيل تبلغ ٥٥ مليار م٣ سنويا و هذه الكمية لا تكفى احتياجات مصر من المياه ، و لهذا تستهلك مصر جزء من حصة السودان الفائضة كدين عليها ، كما تلجأ مصر حاليا لاستخدام ٥ مليار م٣ من مياه الصرف الصحى فى الزراعة ، ايضا تستهلك مصر ٥ مليار م ٣ من المياه الجوفية و مياه الصرف الزراعى ، علاوه على المستهلك من مياه الامطار و الذى يقدر بـ واحد مليار متر ٣ . و نتيجة لزيادة السكان فى مصر انخفض نصيب الفرد من ٣٦٠٠ م٣ الى حوالى ١١٠٠ م٣ من المياه سنويا .

و تحاول مصر الاستفادة من مياه الامطار التى تسقط على منابع النيل عن طريق مشروع حفر قناة جونقلى ، و لكن المشروع توقف بسبب الحرب الاهلية الدائرة فى السودان ، كذلك اقامة خزان على بحيرة تانا لتوفير ١٧ مليار م٣ ، لكن النفوذ الاسرائيلى فى اثيوبيا يحاول اثارة القلاقل و الاضطرابات لمنع مصر من استكمال مشروعاتها فى اعالى النيل ، ايضا خططت اسرئيل لبناء ٣٣ سدا على النيل فى اثيوبيا بهدف خفض حصة مصر من مياه النيل ، وقد تم تنفيذ بناء ٦ سدود ادت الى خفض حصة مصر من مياه النيل من ٥٥ مليار م٣ الى ٥٤ مليار متر ٣ فى عام ١٩٩١ .

٢) مشكلة المياه فى الشام :

حيث ان منابع نهرى دجلة و الفرات توجد فى تركيا ، لذا جهزت الحكومة التركية خطة بشأن استغلال الموارد المائيه و هذه الخطة لها ابعاد اقتصادية و استراتيجية ، و تتلخص فى بناء شبكة من الانابيب لنقل مياه نهر دجلة و روافده و نهرى سيهان و جيهان الى بعض بلدان الشرق الاوسط و الخليج العربى من خلال نقل ٦ مليون م٣ من المياه يوميا ، و هذه الانابيب لها خطان الاول يمتد لمسافة ٢٦٥٠ كم و يضخ حوالى ٣٫٥ مليون م٣ من المياه العذبة يوميا ، و يبدأ من جنوب تركيا و ينتهى باجزء الغربى من السعودية مارا بالسعودية و الاردن و الضفة الغربية ، اما الخط الثانى يمتد لمسافة ٢٧٠٠ كم ، و يضخ ٢٫٥ مليون م٣ من المياه يوميا عبر الاراضى العراقية الى كلا من الكويت و قطر و البحرين و المناطق الشمالية من السعودية و الامارات و عمان و هذا المشروع يتكلف مبدئيا حوالى ٢١ مليار دولارا ، و المشكلة ليست فى التمويل ، و لكن فى كيف الوصول الى اتفاق يرضى جميع دول المنطقة .

٣) مشكلة مشروع جنوب شرق الاناضول :

ايضا خططت الحكومة التركية لبناء ٢١ سدا فى اعالى نهرى دجلة و الفرات بهدف تزويد المناطق المجاورة بالمياه العذبة ، كما اعلنت الحكومة التركية انها سوف تراعى النظر فى تدفق مياه الفرات الى سوريا بسبب قيام سوريا بمساندة الحركة الكردية فى تركيا ، كما ان اقامة تركيا لهذه السدود سوف يؤثر بشكل مباشر على سوريا و تعثر تنفيذ مشروعات التنمية الزراعية .

و من المعروف بعد اكتمال مشروع جنوب شرق الاناضول سوف تنخفض حصة العراق من مياه نهر الفرات من ٣٠ مليون م٣ الى ١١ مليون م٣ ، فحين ان احتياجات العراق الموسمية حوالى ١٣ مليون م٣ ، الامر الذى ادى الى معاناة العراق منذ السبعينات من نقص المياه بسبب المشروعات التركية ، و لذلك قامت العراق منذ سنوات ببناء عدة سدود و خزانات على نهر الفرات لحجز كميات من المياه لوقت الحاجة ، و تمكنت بالفعل من فتح مياه بحيرة الحابانية لمواجهة النقص فى المياه اللازمة لمشروعات التنمية الزراعية .

و يوضح تقرير عن مركز الدراسات الاستراتيجية و الدولية فى واشنطن ، انه من المحتمل ظهور ازمة المياه بشكل حاد قبل نهاية هذا القرن ، و قد تؤدى الى حدوث نزاع بين دول المنطقة مالم يتم التوصل الى اتفاقيات بشأن تنظيم استغلال المياه . و لقد شهد عام ١٩٩٠ العديد من المباحثات بين دول المنطقة (سوريا و العراق و تركيا) حول تنظيم حقوق المياه من خلال تطويع القوانيين الدولية لاستخدام المياه ، و رغم هذا سوف يكون موقف العراق ضعيفا فى اى مفاوضات بخصوص حقوق استخدام المياه .

٤) مشكلة حوض نهر الاردن :

تقوم الانهار الواقعة فى المرتفعات السورية و اللبنانية بتزويد نهر الاردن بحوالى ١٢٨٧ مليون م٣ من المياه سنويا ، كما يشكل نهر اليرموك خط الحدود الفاصلة بين سوريا و الاردن ، كما يفصل اسرائيل عن الاردن فى منطقة مثلث اليرموك . و قد وصل الاستغلال من الجزء الاعلى من نهر الاردن الى اقصى سعة ، و من المتوقع ان يصل اقصى استغلال لنهر الاردن عام ١٩٩٥ بينما سوف تعانى الاردن عجزا شديدا بمقدار ٢٠٪ من اجمالى الموارد المائيه ، بالاضافة الى ان اسرائيل سوف تحتاج الى ٣٠٪ من المياه كقدر اضافى الى الموارد المائية الحالية

و هذه الامور سوف تؤدى الى الوضع الحرج و تفاقم الازمة المائيه و خاصة و ان سوريا تسعى الى تحويل ٤٠٪ من نهر اليرموك مما يؤدى ذلك الى تزايد نسبة الملوحة فى نهرى اليرموك و الاردن ، و انخفاض منسوب المياه فى البحر الميت و بالتالى انخفاض حصة المياه المخصصة لمشروعات التنمية الزراعية بالاردن خصوصا فى المنطقة الشرقية ، بالاضافة الى زيادة حدة التوتر بين العرب و اسرائيل ، و ربما يتطور الموقف الى نشوب حربا عسكرية و اقتصادية فى الشرق الاوسط

و من المعروف ان اسرائيل شرعت فى تحويل مياه نهر الاردن فى الستينات و ادى ذلك الى انعقاد مؤتمر القمة العربية فى ١٩٦٤ لبحث مشكلة نهر الاردن ، و عندما قرر العرب تحويل روافد نهر الاردن ، كانت النتيجة هى قيام حرب ١٩٦٧ ، و تحطيم سد خالد بن الوليد المقام على نهر اليرموك ، و حاليا تقوم اسرائيل بسرقة اكثر من ٧٥٪ من مياه نهر الاردن سنويا . مع العلم ان الاردن سوف تصل احتياجاتها المائيه مستقبلا الى حوالى مليار مترمكعب سنويا .

٥) مشكلة المياه فى دول الخليج العربى :

تختلف مصادر المياه فى حوض الخليج ، حيث توفر مصادر المياه العذبة فى سهول دجلة والفرات ، وقلة المياه العذبة فى المنطقة الممتدة من شبة جزيرة مسندم حتى سهول العراق شمالا ، ففى منطقة الخليج العربى يبلغ معدل سقوط الامطار فى المتوسط من ٧٥ـ١٠٠مم سنويا ، وهذه الامطار قليلة الامر الذى يؤدى الى الاعتماد بشكل رئيسى على المياه الجوفية ، حيث السحب شديد من الابار الجوفية ، وهذا ادى الى ارتفاع نسبة الملوحة فى المياه الجوفية نتيجة تتداخل مياه البحر مع هذه الابار ، ايضا ظهرت مشكلة انخفاض منسوب الابار الجوفية ، كما ان هناك اعتماد بشكل ملحوظ على تحلية مياه البحر للوفاء باحتياجات اهم متطلبات السكان من المياه ، ولكن تكاليف انتاج هذه المياه مرتفعة .

٦) مشكلة الضفة الغربية وقطاع غزة :

نجد ان احتياطى مياه الضفة الغربية تشترك فيها اسرائيل ، وتقوم اسرائيل باستغلال ٩٥ ٪ من هذه المياه ، كما تقوم السلطات الاسرائيلية بالاشراف على توزيع مخصصات المياه بين العرب واليهود ، والموقف المائى فى قطاع غزه يواجهه مشكلة نقص المياه الجوفية ، حيث ان استهلاك المياه الجوفية قد تخطى الحد المسموح له ، بالاضافة الى تلوث المياه عن طريق استخدام بعض الاسمده والمبيدات باسراف ، علاوه الى خطورة استخدام مياه الصرف الصحى فى الزراعة .

المياه العربية واسرائيل

تعتبر اسرائيل اكثر اداراكا لازمة المياه بسبب محدودية مواردها المائيه لمواجهة خطط التوسع الاستيطانى داخل الاراضى العربية ، لذا تحاول افتعال القلاقل فى المنطقة للحصول على المياه من الانهار العربية ، كما تحاول وتخطط للاستيلاء على المياه العربية باى وسيلة . فهى لاتريد التخلى عن جنوب لبنان بسبب سحبها لمياه نهر الليطانى ، وهدفها عدم التخلى عن المنطقة الا اذا ضمنت لنفسها حصة كافية من مياه النهر ، ايضا تقوم اسرائيل بنقل المياه من حوض نهر الاردن عن طريق شركة للمياه ، لتصب فى الجزء الغربى بها ، كما تستخدم بالفعل ٩٥٪ من مصادر المياه المتجددة .

وقامت اسرائيل منذ سنوات بنشر الخبراء اليهود على طول مجرى نهر النيل ومنابعه ، كما عملت على جعل المسؤلين عن شئون المياه فى دول حوض النيل يستشيروا هؤلاء الخبراء لمحاولة التحكم فى منابع النيل . ومنذ الخمسينات تحاول اسرائيل اقناع بعض حكام دول حوض النيل لخفض حصة مصر من مياه النيل ، وبالفعل تم الاتفاق على بناء ٣٣ سدا على منابع النيل بالهضبة الحبشية ، تم بناء ٦ سدود ، والتى ادت الى خفض حصة مصر من مياه النيل واحد مليار م٣ فى العام الماضى .

ومن ناحية اخرى تجرى منذ سنوات عدة دراسات امريكية / اسرائيلية بغرض زيادة حصة مصر من مياه النيل لتصبح ٨٠ مليار م٣ سنويا ، بشرط ان تقوم مصر بتزويد اسرائيل بالمياه

العذبة عن طريق احد فرعى ترعة السلام بسيناء ، وتهدف تلك الدراسات ايضا الى اضافة ٣ مليون فدان الى الاراضى الزراعية المصرية وهذا لايتم الابعد اضافة ٢ر٢ دونم لاسرائيل تروى بمياه النيل كما ادت هذه الدراسات الى تأخر عمليات التوسع الزراعى الافقى وتأخر مشروعات الرى فى مصر . وتحاول امريكا جاهدة لعقد اتفاقية بين مصر واسرائيل بشأن استغلال مياه النيل والعمل على تحقيق فكرة ربط مصر والسودان واثيوبيا بشبكة مائيه موسعة مع اقامة قاعدة عسكرية مشتركة لتأمين منابع النيل والموارد المائيه بين تلك الدول بهدف ضمان وصول مياه النيل الى اسرائيل . كما تجرى المفاوضات بين مصر واسرائيل وامريكا بشأن موافقة مصر مبدئيا ومستقبلا على امداد اسرائيل بمياه النيل ، ومشاركتها فى مشروعات الزراعة والطاقة فى سيناء (الساحل الشمالى) ، وقد تم فعلا تنفيذ بعض تلك المشروعات حيث قامت اسرائيل بسحب كميات كبيرة من المياه الكامنة فى خزان وادى الجران بسيناء عبر الحدود المصرية الفلسطينية من خلال مضخات كبيرة فى النقب .

ايضا تساند اسرائيل عميلها " جون جارنج " زعيم التمرد فى جنوب السودان وتأمره بعدم تنفيذ مشروعات المياه على النيل ، وفعلا تسبب فى عدم استكمال قناة جونقلى (قد تم ٧٥٪ من بنائها) ، والغرض من ذلك هو الضغط على مصر للموافقة على اخذ المياه من نهر النيل . واسرائيل تدرك تماما بان مصر تعانى من نقص المياه اللازمة لمشروعات التوسع الزراعى ومشروعات التنمية .

وتعمل اسرائيل جاهده على تنفيذ خططها فى منطقة الخليج العربى ، حيث خططت مع الحكومة التركية لبناء ٢١ سدا على اعالى نهرى دجلة والفرات ، ويهدف ذلك الى بيع المياه الى دول المنطقة كما ان اقامة تلك السدود سوف تؤثر بشكل مباشر على كلا من سوريا والعراق الى جانب تنفيذ مشروع جنوب شرق الاناضول ، والذى يقتضى نقل ٦ مليون م٣ من المياه يوميا والتى سوف تباع الى الدول العربية .

ومن المعروف ان اسرائيل تستهلك خمسة اضعاف ماتستهلكه الدول المجاورة من المياه ، ورغم ذلك يمكنها خفض معدل الاستهلاك من المياه خصوصا الزراعة بنسبة ١٥٪ ، الا ان هذا الخفض لن يقلل العباء الواقع على المصادر المائيه التى تسحب منها اسرائيل . كما ان اسرائيل سوف تواجهه عجزا فى المياه مستقبلا يصل الى حوالى مليار م٣ سنويا ، حيث سوف تحتاج الى ١٧ مليار متر مكعب ، وهذه الكمية ليست متاحة من مواردها الحالية مما يؤدى الى وجود ازمة حقيقية لديها ، ولذا تسعى جاهده لتنفيذ مخططها نحو الحصول على المياه من المنطقة العربية ولو ادى ذلك الى نشوب حربا مسلحة فى منطقة الشرق الاوسط .

ويتضح من خلال ازمة المياه فى المنطقة العربية انه من المتوقع ان تقوم حربا مستقبلا بسبب محدودية المياه ، الى جانب تزايد الطلب على المياه لاجل مشروعات التنمية الاقتصادية والزراعية بالاضافة الى ارتفاع تكاليف الحصول على المياه من المصادر الاخرى . لذا يجب التأكيد على دور اسرائيل الواضح فى الضغط على بعض الدول للحصول على المياه من الانهار العربية ، ايضا يجب الاهتمام بدور اثيوبيا فى الضغط على مصر والسودان ، وانعكاس هذا سياسيا ، ودور

اسرائيل فى اتباع سياسات رد الفعل و سياسات الضغط ، حيث يتضح ذلك من قيام اسرائيل بمساندة اثيوبيا عسكريا و تهجير يهود الفلاشا من اثيوبيا الى اسرائيل . كذلك دور اسرائيل مع تركيا من اجل التحكم فى منابع نهرى دجلة و الفرات ، و اثر ذلك على البلدان العربية كذلك قيام اسرائيل باستغلال المياه الجوفية على الحدود المصرية ـ الاسرائيلية .

وقد نشرت بعض الصحف العربية نقلا عن مصادر غربية حول تقرير ايتناول مستقبل المياه فى الوطن العربى ، و الذى اعدته احدى الدوائر الدبلوماسية فى المنطقة ، حيث يوضح التقرير ان الوطن العربى سيواجهه نقصا خطيرا فى الموارد المائيه خلال السنوات القادمة ، الامر الذى يهز اقتصاديات الوطن العربى و يجعله عرضه للخطر الاقتصادى و العسكرى .

بعض الاقتراحات لمعالجة ازمة المياه فى الوطن العربى :

هناك بعض الاقتراحات لمعالجة ازمة المياه و ذلك من خلال عدة جوانب تتلخص فى الاتى :ـ

اولا : الجانب السياسى :

الوصول الى اتفاق مشترك يرضى الدول المتنازعة على المياه ، و جعل مشكلة المياه من النقاط الرئيسية فى اى مباحثات بين دول المنطقة و توضيح مدى خطورة ازمة المياه مستقبلا وتجنب الايثارات الخارجية من جانب الدول الطامعة فى الشرق الاوسط باستغلال مشكلة المياه لزيادة حدة التوتر فى المنطقة لخلق حربا قادمة .

ثانيا : الجانب الاقتصادى و الاجتماعى :

١ ـ رصد الاستثمارات العربية و اتاحتها لاقامة مشروعات المياه لتفادى ازمة المياه
٢ ـ ادخال وحدة المياه ضمن المحاسبة الاقتصادية و حساب تكلفة انتاج المتر المكعب من المياه من مصادرها المختلفه و ايجاد بدائل لخفض التكلفة
٣ ـ ادخال الحسابات الاقتصادية / الاجتماعية Socio-Economic فى حساب تكلفة المياه من جميع مصادره .
٤ ـ التعريف بمشكلة المياه و توضيح اهمية ايجاد حلا لها و التركيز على دور الاعلام كوسيلة فعالة لتوضيح تلك المشكلة .
٥ ـ فتح باب المناقشات الاجتماعية الهادفة لدراسة مشكلة المياه .
٦ ـ التعريف بالاثار الاجتماعية و الاقتصادية التى سوف تنشىء من تفاقم ازمة المياه .

ثالثا : الجانب الفنى :

١ ـ تجميع مياة الامطار من المنحدرات الطبيعية باعتباره مصدر منخفض التكاليف
٢ ـ اعادة استخدام مياه الصرف بعد معالجتها لتكون صالحة للاستخدام خصوصا فى الزراعة و الشرب و الاستعمال الادمى .
٣ ـ استخدام المياه المالحة فى الزراعة و ادخال محاصيل تتحمل الملوحة فى الزراعة
٤ ـ استخدام الاقمار الصناعية للكشف عن مصادر جديدة للمياه خصوصا فى المناطق القاحلة ، و الاستفادة من جبال الجليد و الضباب و الندى كمصادر للمياه فى تلك المناطق .

٥ـ استخدام الطاقة الشمسية فى تقطير المياه المالحة ، والعمل على خفض تكاليف تحلية مياه البحار .

٦ـ العمل على الاقلال من البخر فى المسطحات المائيه وايضا من سطح الارض عن طريق استخدام اغطية والحواجز الصناعية .

٧ـ استخدام وسائل فنية لمنع التسرب فى القنوات والترع والاحواض ومناطق تجمع المياه مع عمل تكاليف لتلك الوسائل .

٨ـ اختيار زراعة محاصيل ذات استهلاك مائى اقل وذات عائد اقتصادى مناسب .

٩ـ الاقلال من التبخر فى اوراق النباتات حيث ان ٩٠٪ من المياه التى يمتصها جذور النباتات تتبخر من الاوراق فى الجو

١٠ـ الزراعة فى بيئة يسهل التحكم فيها عن طريق زراعة النباتات فى حاويات شفافة تمنع تسرب المياه والاقلال من كمية المياه الضائعة ، كذلك التحكم فى الجو المحيط بالنبات لضمان زيادة انتاج ، ورغم ان هذه الطريقة مرتفعة التكاليف الا انه يمكن الوصول بها الى زراعات ذات انتاجية عالية بكميات قليلة من المياه .

١١ـ ايجاد وسائل للتحكم فى التربة بطريقة تضمن المحافظة على المياه وطريقة اعادة تغذية المخزونات صناعيا .

١٢ـ استخدام تكنولوجيا الهندسة الوراثية والتكنولوجيا الحيوية لانتاج زراعات ذات كفاءة عالية فى الانتاج ومنخفضة المحتوى المائى .

١٣ـ الاهتمام بنقل التكنولوجيا الحديثة وتسخير الموارد المالية والبشرية ليسهل تطبيقها فى المنطقة العربية .

رابعا : الجانب القانونى :

١ ـ استصدار تشريعات وقوانيين لحماية الموارد المائيه من الاسراف والتلف .

٢ـ العمل على وجود اتفاقيات قانونية فى المنطقة العربية بشأن الموارد المائيه لتجنب نشوب حربا مسلحة .

المراجع

[١] استعراض السياسات الزراعية الدولية ، مركز البحوث الاقتصادية ، وزارة الزراعة الامريكية ، واشنطن ، ١٩٨٨ .

[٢] الشناوى ، السيد فهمى ، الماء مشكلة الشرق الاوسط المزمنة تبحث عن حل ، مجلة الدوحة ، ١٩٨٦ .

[٣] التقرير الاقتصادى العربى الموحد ، صندوق النقد العربى ، الكويت ، ١٩٨٨ .

[٤] السياسات والاتجاهات الحالية فى التجارة الدولية ، حصر الاقتصاد العالمى ، الامم المتحدة ، سويسرا ، ١٩٩٠ .

[٥] السياسات الزراعية فى التسعينات ، منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية ، باريس ، ١٩٩٠

[٦] السياسات الزراعية والتجارة الدولية ، منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية ، ١٩٨٧ .

[٧] الصناعة والتنمية ، التقرير العالمى ٨٩ـ١٩٩٠ ، منظمة الامم المتحدة للتنمية الاقتصادية ، النمسا ، ١٩٩٠ .

[٨] الصندوق العربى للانماء الاقتصادى والاجتماعى ، التقرير السنوى ، الكويت ، ١٩٨٨ .
[٩] الكتاب السنوى لاحصاءات التجارة والتنمية ، مؤتمر الامم المتحدة للتجارة والتنمية ، ١٩٨٩
[١٠] المركز العربى لدراسات المناطق الجافة والاراضى القاحلة ، بحوث عديدة ، سوريا ـ .
[١١] الكتاب السنوى للاحصاءات الزراعية ، المنظمة العربية للتنمية الزراعية ، المجلد السابع .
[١٢] جريدة الشعب المصرية ، اعداد ٥٨٦ و ٥٨٨ ، القاهرة ، ١٩٩١ .
[١٣] ستار ، ر . جويس ، سياسات الندره ـ المياه فى الشرق الاوسط ، مركز الدراسات الاستراتيجية الدولى ، واشنطن ، ١٩٨٨ .
[١٤] شعلان ، سلامة السيد ، تنمية الموارد المائيه بالدول العربية ، مجلة عالم المياه العربى ، عدد مايو / يونيو ١٩٨٥ .
[١٥] على عبد الرحمن على ، الكفاءة الاقتصادية لطرق الرى المختلفة ، رسالة ماجستير ، جامعة قناة السويس ، الاسماعيلية ، ١٩٨٨ .
[١٦] ـــــــــــ ، الرى والتنمية الصحراوية ، مجلة عالم المياه العربى ، عدد ٥٧ ، ٨٦
[١٧] مجلة الزراعة فى الشرق الاوسط ، اعوام ٨٤ ـ ١٩٨٨ .
[١٨] مجلة الزراعة فى العالم ، اعوام ٨٤ ـ ١٩٨٧ .
[١٩] مجلة سيريز ، اعوام مختلفـــــة .
[٢٠] مجلة عالم المياه العربى ، اعوام ٨٤ ١٩٩١ .
[٢١] السعيد ، محمد ، التكنولوجيا والتنمية الزراعية ، كتاب عالم المعرفة ، عدد ٥٠ ، ١٩٨٢
[٢٢] مستقبلنا المشترك ، اللجنة العالمية للبيئة والتنمية ، مطبعة جامعة اكسفورد ، ١٩٨٨ .
[٢٣] الجبلى ، مصطفى ، قضية الاراضى الجديدة ، سلسلة مقالات ، الاهرام الاقتصادى ، ٩٨٥ .
[٢٤] منظمة الاغذية والزراعة (الفاو) ، الكتاب السنوى للتجارة ، اعوام ٨٦ ـ ١٩٩٠ .
[٢٥] ندوة مصادر المياه واستخداماتها فى الوطن العربى ، الكويت ، ١٩٨٦ .
[٢٦] ندوة ازمة المياه فى الشرق الاوسط ، ١٦ يوليو ١٩٩١ ، الاسماعيلية .
[٢٧] ندوة استصلاح الاراضى الجديدة وتنمية المجتمعات العمرانية الجديدة ، ٢١ ـ ٢٣ ابريل ١٩٩٢ ، الاسماعيليـــــة .

دراسة أثر الحقن الكيميائي باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على تولد وانبعاث الروائح الكريهة من مرافق الهندسة الصحية

تمامة حسين عبدالله، جميلة حسين عبدالله، مامتا تومار

دراسة أثر نظم صرف المياه الأرضية على الميزان المائي بواسطة النماذج الرياضية

١- أ. د. أحمد النمر
٢- م. يوسف عثمان الفريهيدي
٣- م. صالح عبدالرحمن الفايزي

الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض
برنامج ادارة البيئة وحمايتها
الرياض
المملكة العربية السعودية

يرتفع منسوب المياه الأرضية في مدينة الرياض بمعدلات عالية ، ويرجع ذلك الى أسباب بعضها طبيعية مثل التكوينات الجيولوجية للمنطقة وبعضها من صنع الانسان مثل الزيادة في استهلاك المياه في الري والأغراض المنزلية والتجارية والصناعية .

وقد تصدت الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض لهذه المشكلة وأجرت دراسة مستفيضة لتحديد العناصر المختلفة المؤثرة على المشكلة ومدى مساهمة كل منها في العمل على تفاقمها .

وقد استخدمت النماذج الرياضية لدراسة حركة المياه الأرضية ومدى تغيير مناسيبها مع الزمن في حين استخدمت نماذج أخرى لدراسة البدائل المختلفة التي يمكن اللجوء اليها من أجل السيطرة على المشكلة وكذلك لتحديد الطريقة الملائمة للتخلص من هذه المياه والاستفادة منها .

وقد استخدمت في الدراسة ثلاثة أنواع من النماذج الرياضية ساهمت في وضع برنامج علاجي متكامل يسير في ثلاثة اتجاهات متوازية وهى التقليل من معدلات التسرب الى باطن الأرض والعمل على حفظ منسوب المياه الأرضية تحت مستوى آمن وكذلك حماية المنشآت والمرافق العامة من التأثيرات الضارة لهذه المنشآت .

أسباب ارتفاع المياه الأرضية بمدينة الرياض :

شهدت مدينة الرياض في العقدين الماضيين نموا حضاريا شاملا وأكبه زيادة هائلة في عدد السكان حيث قفز عدد السكان من ٣٠٠ ألف نسمة قبل عشرين عاما الى ١ر٧ مليون نسمة في عام ١٤١٠هـ وقد تبع ذلك وبعد البدء في جلب المياه من مصادر جديدة زيادة في معدل استهلاك الفرد للمياه واجمالي استهلاك بالمدينة على حد سواء . وقد بلغ المعدل اليومي لاستهلاك المياه المدينة منها العام ١ر٢ مليون متر مكعب في المتوسط بعد أن كان ٥٠ ألف متر مكعب في عام ١٩٧٠م . هذا النمو الحضاري المؤهل لم يواكبه انتشار المرافق العامة خصوصا شبكات صرف المياه بالسرعة ذاتها . تضافر ذلك مع طبيعة الارض في المدينة فأديا الى ارتفاع منسوب المياه الارضية مسببا مشكلات عديدة هندسية وصحية وبيئية . وقد انتهجت الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض في تصديها لهذه المشكلة اسلوبا علميا ، اذ قامت بدراسة أسباب المشكلة من جانبيها الرئيسيين وهي :

أ/ الظواهر الطبيعية للمدينة
ب/ العوامل المختلفة التي تأثر على معدل تغذية المياه الأرضية

ولدراسة الظواهر الطبيعية لمدينة الرياض تم حفر ٤٠٠ ثقب موزعة بمدينة الرياض ، مع أخذ عينات من هذه الثقوب تحليلها معمليا كما أجريت فيها تجارب النفاذية وغيرها لتحديد الخواص الميكانيكية والهيدروليكية للتربة السطحية . وفي نفس الوقت تم حفر ٢٥ بئرا عميقا أجريت عليها تجارب الضخ التي حدد على أساسها معاملات التوصيل والتخزين للطبقات الحاملة للمياه .

وقد استخدمت المعلومات التي تم التوصل اليها في رسم خرائط جيولوجية وهيدروجيولوجية للمدينة . (يبين الشكل رقم "١" الخريطة الهيدروجيولوجية لمدينة الرياض) .

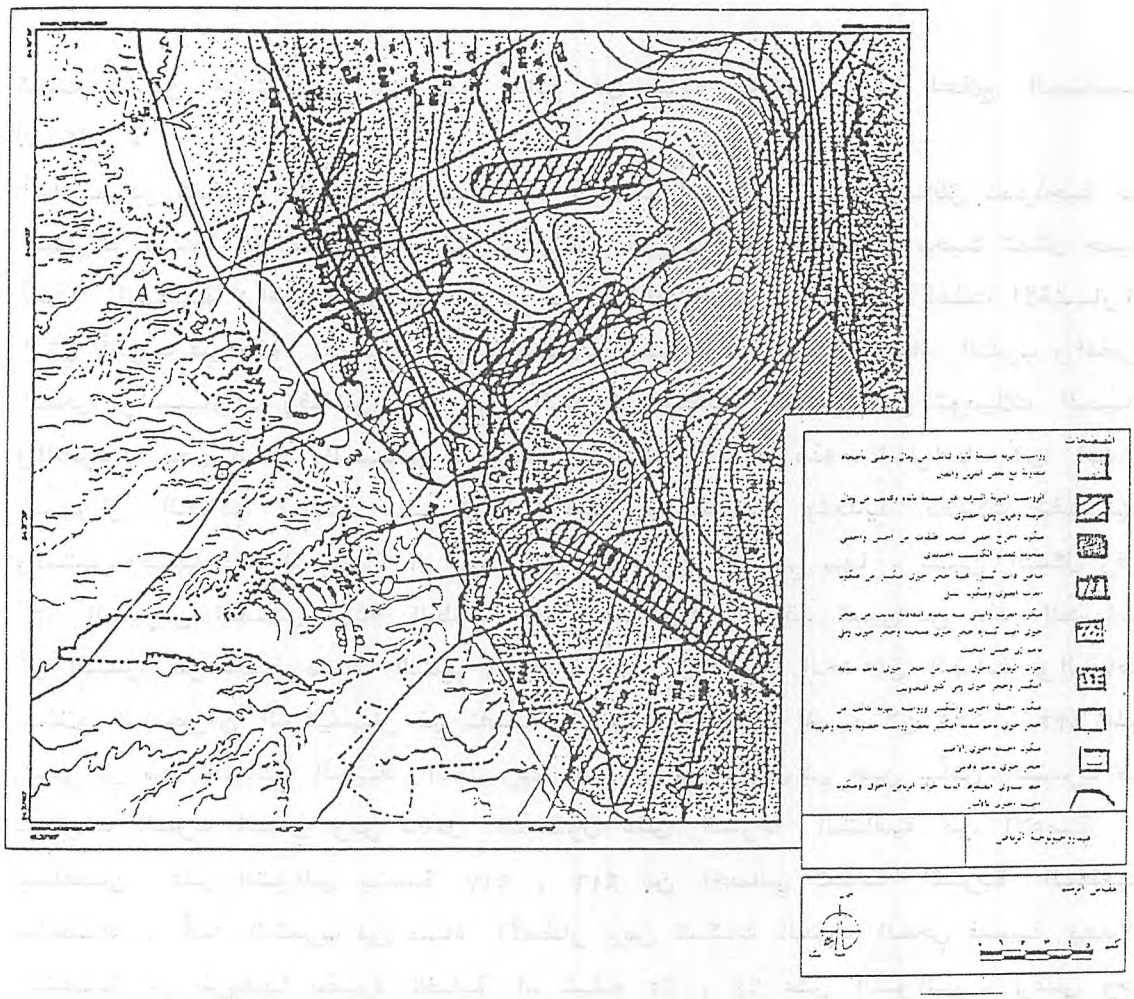
وقد أفادت دراسة الظواهر الطبيعية للمدينة في تحديد الأسباب الطبيعية لظهور مشكلة ارتفاع المياه الأرضية وكذلك تأثير هذه المشكلة على المباني والمنشآت والمرافق العامة . ومن أبرز النتائج التي تم التوصل اليها في مجال تحديد أسباب المشكلة ما يلي :

أ/ الطبقة السطحية لمناطق شرق وغرب الرياض ذات نفاذية منخفضة لا تسمح بحركة المياه الرأسية بالسرعة اللازمة لايقاف تراكم المياه الأرضية بهذه المناطق .

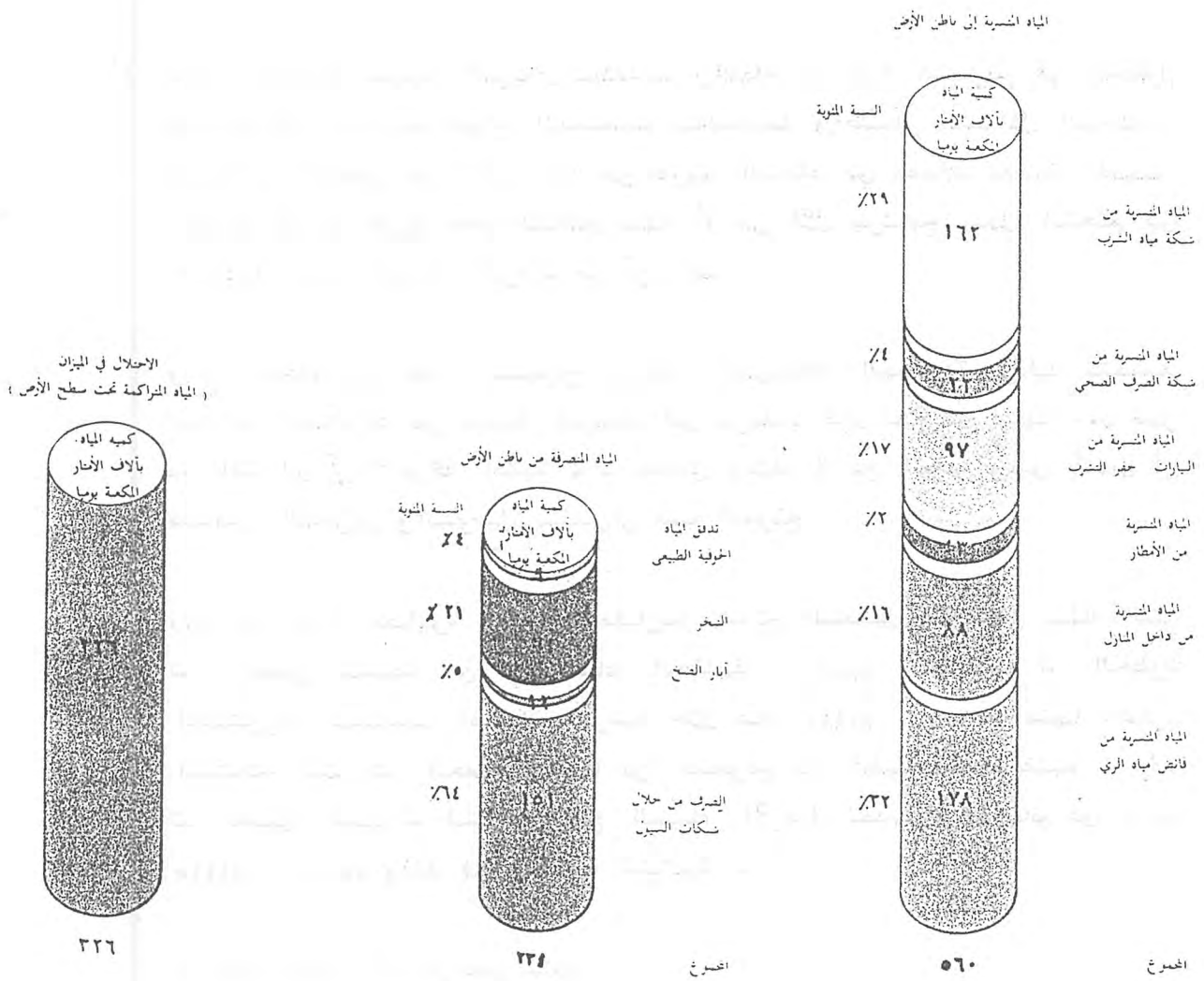
ب/ وجود تشققات في الجزء العلوي من بعض الطبقات الصخرية خصوصا الشريحة الممتدة بين شمال وجنوب المدينة مرورا بوسطها مما يسبب وجود عدم تماثل في المركبة الافقية لمعامل النفاذية التي تزيد في اتجاه الشقوق وتقل في الاتجاه العمودي عليه .

كانت هاتين النتيجتين من ضمن ماتم في ضوئه تحديد طرق العلاج الهندسية للمشكلة .

أما مصادر تغذية المياه الارضية فقد تمت دراستها في سبع مناطق نموذجية في المدينة مساحة كل منها ٢٥ اكتوبر وقد اختيرت هذه المناطق بحيث تمثل جميع أحياء المدينة داخل المرحلة الأولى من النطاق العمراني . وقد شملت الاختبارات التي أجريت في هذه المناطق قياس معدلات التسرب من شبكات مياه الشرب والصرف الصحي والبيارات وفائض مياه ري الحدائق وكذلك التسرب من توصيلات المياه والصرف الصحي داخل المباني . وقد استخدمت نتائج هذه الدراسات في اعداد الميزان المائي لطبقة المياه الارضية بالمدينة وتحديد معدلات تغذيتها والتسرب منها وكذلك معدل الزيادة في المخزون المائي بها . يبين الشكل رقم "٢" الميزان المائي لهذه الطبقة خلال عام ١٩٨٩م) وقد تبين من هذه الدراسة أن التسرب من شبكة مياه الشرب والفائض من مياه ري الحدائق العامة والخاصة يمثلان العنصران الرئيسيان في تغذية المياه الأرضية اذ يمثلان ٢٩٪ ، ٣٢٪ على التوالي من اجمالي المياه المتسربة الى باطن الأرض في حين يأتي التسرب من بيارات الصرف الصحي ومن داخل المنازل على الدرجة التالية من الأهمية اذ يساهمان على التوالي بنسبة ١٧٪ ، ١٦٪ من اجمالي تغذية التربة السطحية بالمياه ، أما التسرب من مياه الأمطار ومن شبكات الصرف الصحي فنسبة معدلات التغذية عن طريقها صغيرة للغاية اذ تبلغ ٢٪ ، ٤٪ على التوالي . وعلى وجه العموم فانه يوجد اختلال في التوازن المائي بالمدينة بلغ متوسط قيمته ٣٢٦ الف متر خلال عام ١٩٨٩م مكعب يوميا ويتسبب هذا الاختلال في زيادة المخزون المائي وارتفاع المياه الأرضية بالمدينة .



شكل (١) :هيدروجيولوجية مدينة الرياض



شكل (٢) :الميزان المائي للمياه الارضية

النماذج الرياضية لدراسة حركة المياه الأرضية :

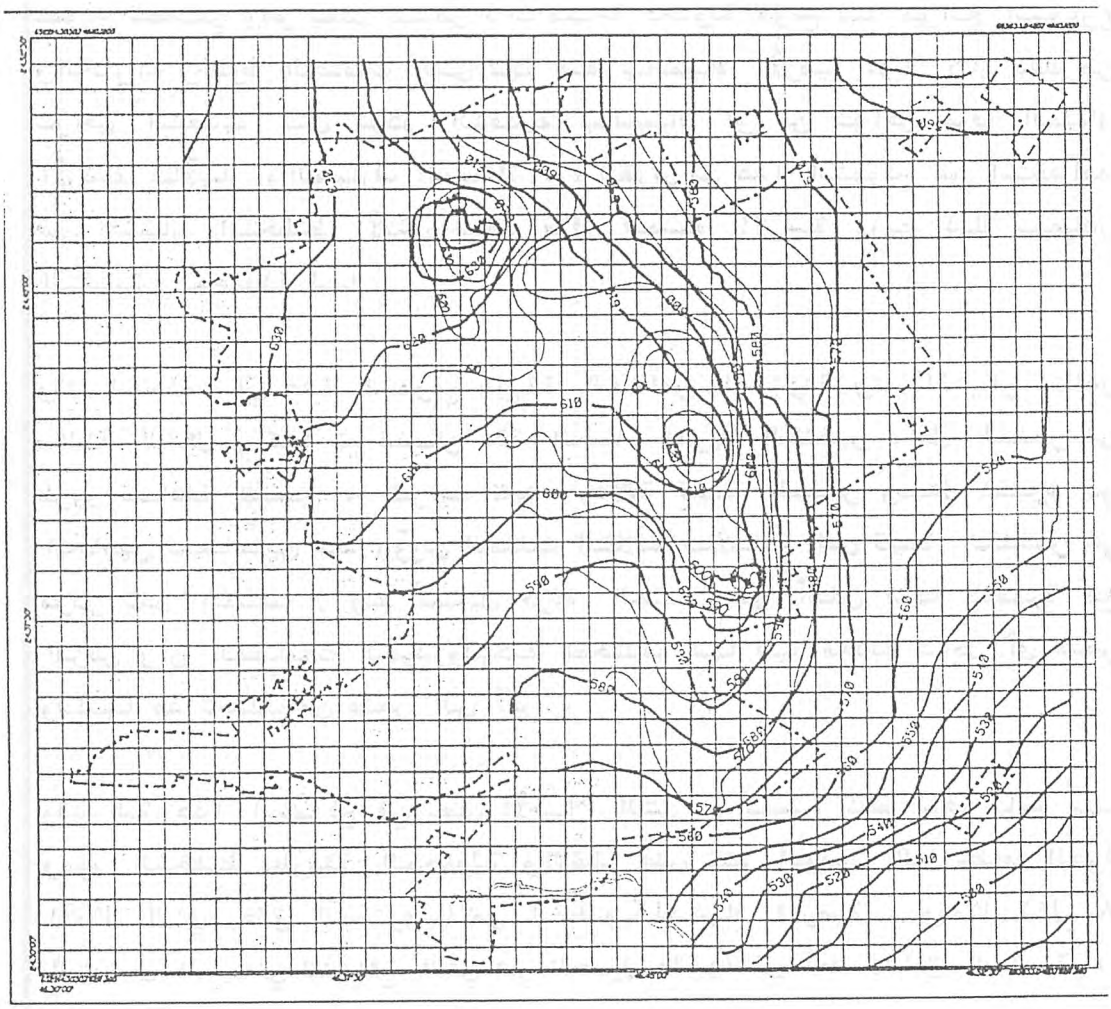
شملت النماذج الرياضية التي تم تطويرها ضمن هذا البرنامج ثلاثة أنماط كالتالي :

أ/ نموذج لتمثيل مدينة الرياض بأكملها والهدف من هذا النموذج هو الحصول على تنبؤات تقريبية للوضع المستقبلي بالمدينة واختبار البدائل المختلفة للبرنامج العلاجي سواء كان ذلك عن طريق التحكم في معدلات تغذية المياه الأرضية أو عن طريق سحب الفائض منها أو من خلال برنامج يشمل التحكم في التغذية وسحب المياه الأرضية في آن واحد .

وقد استخدم في هذا النموذج طريقة الفروقات المحدودة وذلك بتقسيم المنطقة المأهولة من مدينة الرياض الى مربعات طول ضلع كل منها ٥٠٠ متر مع افتراض أن الحركة أفقية ذات بعدين ومتغيرة مع الزمن وعلى أساس أن معاملي التخزين والتوصيل يتغيران حسب الموقع .

وقد تم اجراء معايرة للنموذج بمقارنة نتائج التمثيل الرياضي بتلك التي تم الحصول عليها من القياسات الحقلية ، وبين شكل رقم ٣ الخطوط الكنتورية لمناسيب المياه الأرضية خلال عام ١٩٨٩م . ويتضح منها تقارب النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج مع القياسات الحقلية . وقد تم تطبيق النموذج لتقدير وضع المياه الأرضية لمدينة الرياض في عامي ١٩٩٥م ، ٢٠٠٠م وذلك في الحالات التالية .

- عدم تنفيذ أي برنامج علاجي
- تنفيذ برنامج للتقليل من معدل تغذية المياه الأرضية
- تنفيذ برنامج لتخفيض منسوب المياه الأرضية
- تنفيذ برنامج علاجي شامل يحتوي على التقليل من معدل التغذية وتنفيذ نظم صرف المياه الأرضية .



شكل (٣) :مقارنة نتائج النموذج الرياضى مع مناسيب المياة الارضية الفعلية

في عام ١٩٩٠

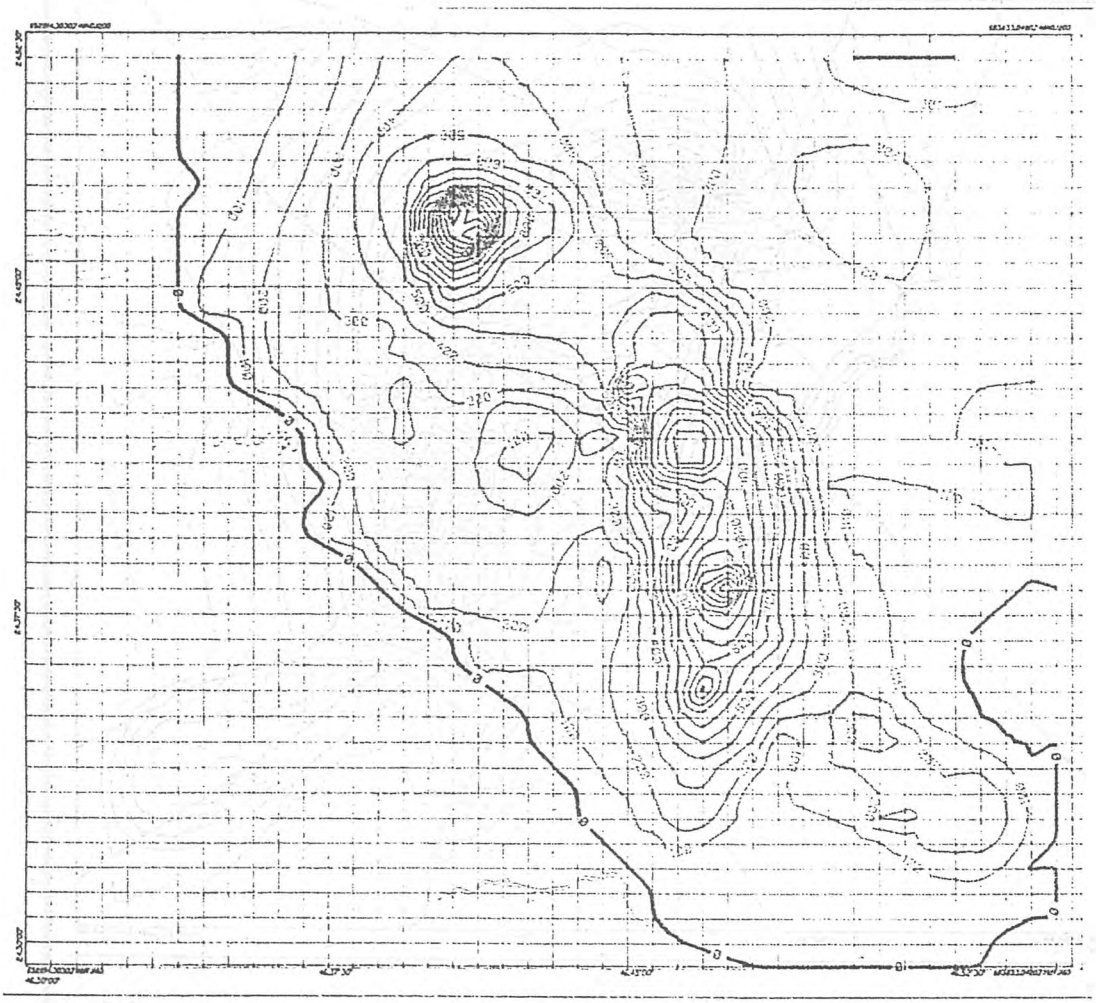
وتبين الاشكال ٤، ٥، ٦، ٧ المناسيب المتوقعة للمياه الأرضية في مدينة الرياض في عام ٢٠٠٠م ، ويتضح منها أن عدم تنفيذ أي برنامج علاجي سيؤدي الى ارتفاع كبير في منسوب المياه الأرضية حيث يصل المنسوب في بعض المناطق الى سطح الأرض . ويتبين كذلك أن اللجوء الى أي من برنامج للتقليل من معدلات التغذية أو تخفيض المياه الارضية سيؤدي الى حل المشكلة جزئيا وأن العلاج الشامل يتم في حالة تبني برنامج يشمل الاتجاهين .

ب/ نموذج تفصيلي وهو يمثل مناطق ذات مساحة محدودة موضح فيه مواقع الشوارع والحارات وخطوط الخدمات التي لها صلة بالمياه الأرضية سواء كان ذلك من نواحي التغذية مثل شبكة التغذية بالمياه او من نواحي صرف المياه الأرضية كالآبار والمصارف المغطاة . والغرض من هذا النموذج هو استخدامه في اختيار التخطيط الأمثل لنظم صرف المياه الأرضية وربط ذلك بمصادر التغذية المختلفة لها .

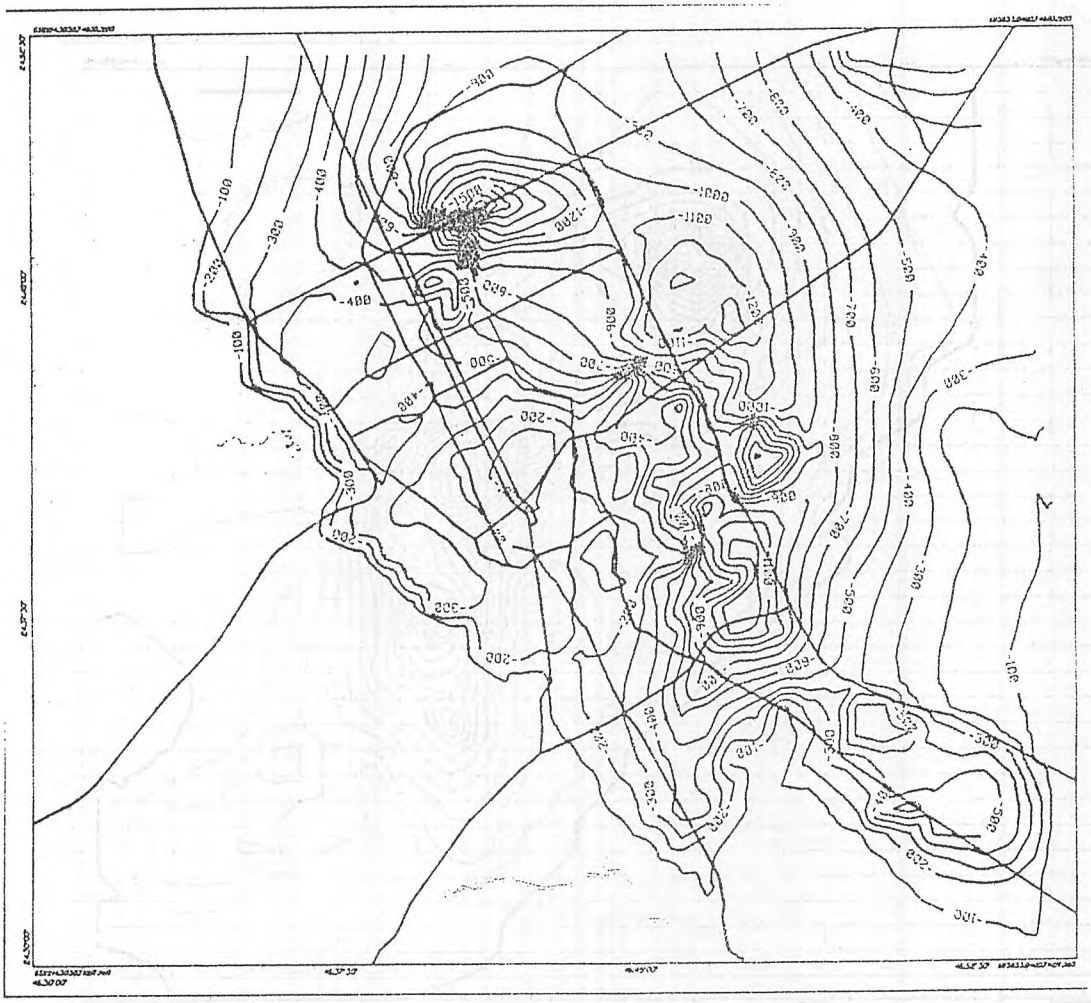
وقد استخدمت في هذا النموذج طريقة العناصر المحدودة وتم اختيار عناصر مثلثة الشكل ، كما تم لضمان دقة الحساب تعريف المتغير داخل العنصر عن طريق معادلة تتضمن ١٠ ثوابت تحدد بدلالة قيمة المغير ومعدل تغيره في اتجاهين متعامدين عند رؤوس المثلث الثلاثة بالاضافة الى قيمة المتغير في مركز ثقل المثلث ، وتم تمثيل حركة المياه على أساس انها متغيرة مع الزمن وأن المعاملات الهيدروليكية المختلفة لها قيم محددة داخل أي عنصر ولكنها قد تختلف من عنصر الى آخر .

وقد طبق هذا النموذج في بعض الأحياء التي تم تصميم نظم صرف خاصة بها ويتم التخطيط بطريقة المحاولة والخطأ حتى يتم الوصول الى نظام الصرف الأمثل الذي يحقق المستوى الآمن المطلوب للمياه الأرضية . ويمثل شكل ٨ التمثيل البياني للنتائج التي تم الحصول عليها في أحد مناطق المدينة .

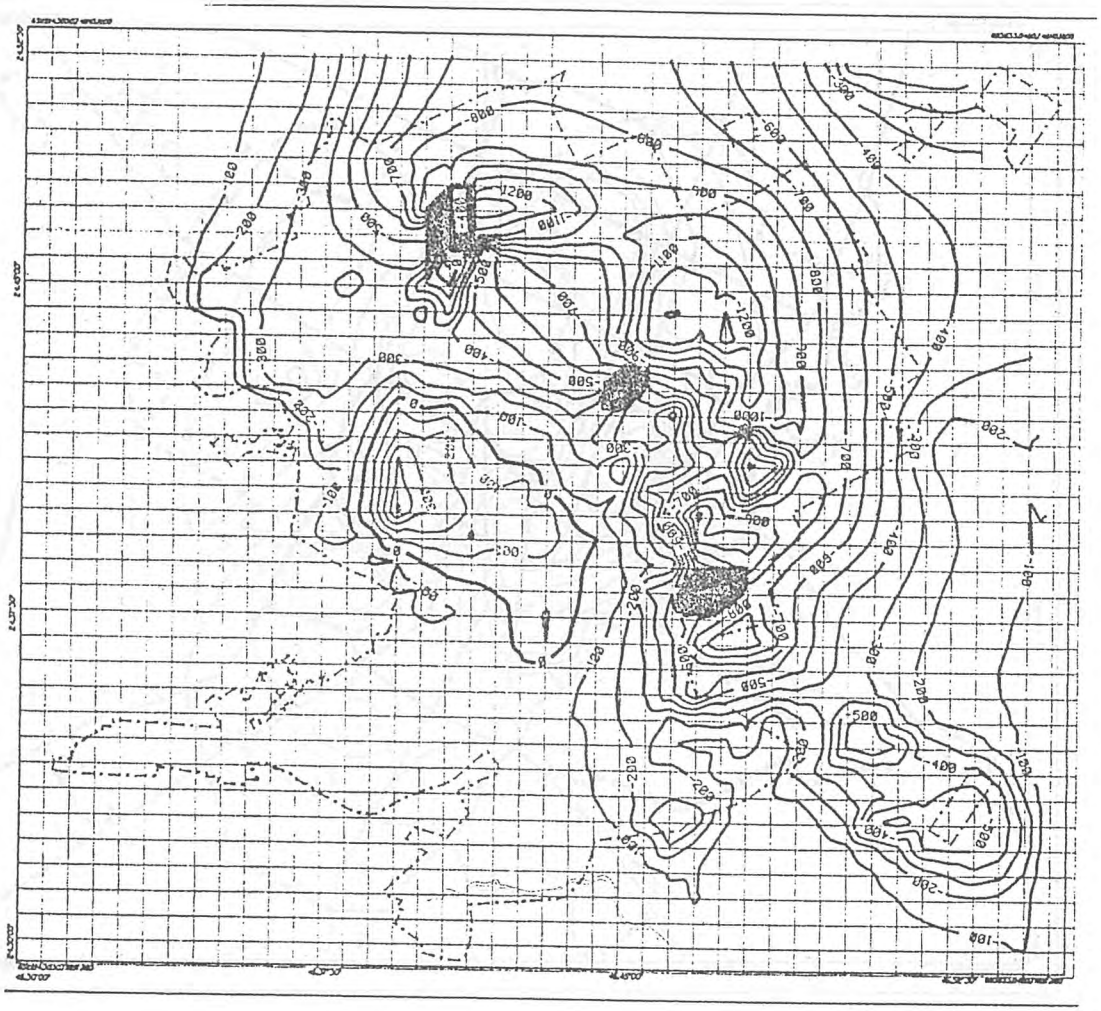
ج/ نموذج لتحديد امكانية صرف المياه الأرضية في الطبقات العميقة الحاملة للمياه الجوفية والآثار الناجمة عن اختلاط نوعيتين مختلفتين من المياه ومعدل انتشار الأملاح الزائدة الموجودة في المياه الأرضية وسرعة حركة الأجسام الصلبة في الوسط الديناميكي الجديد .



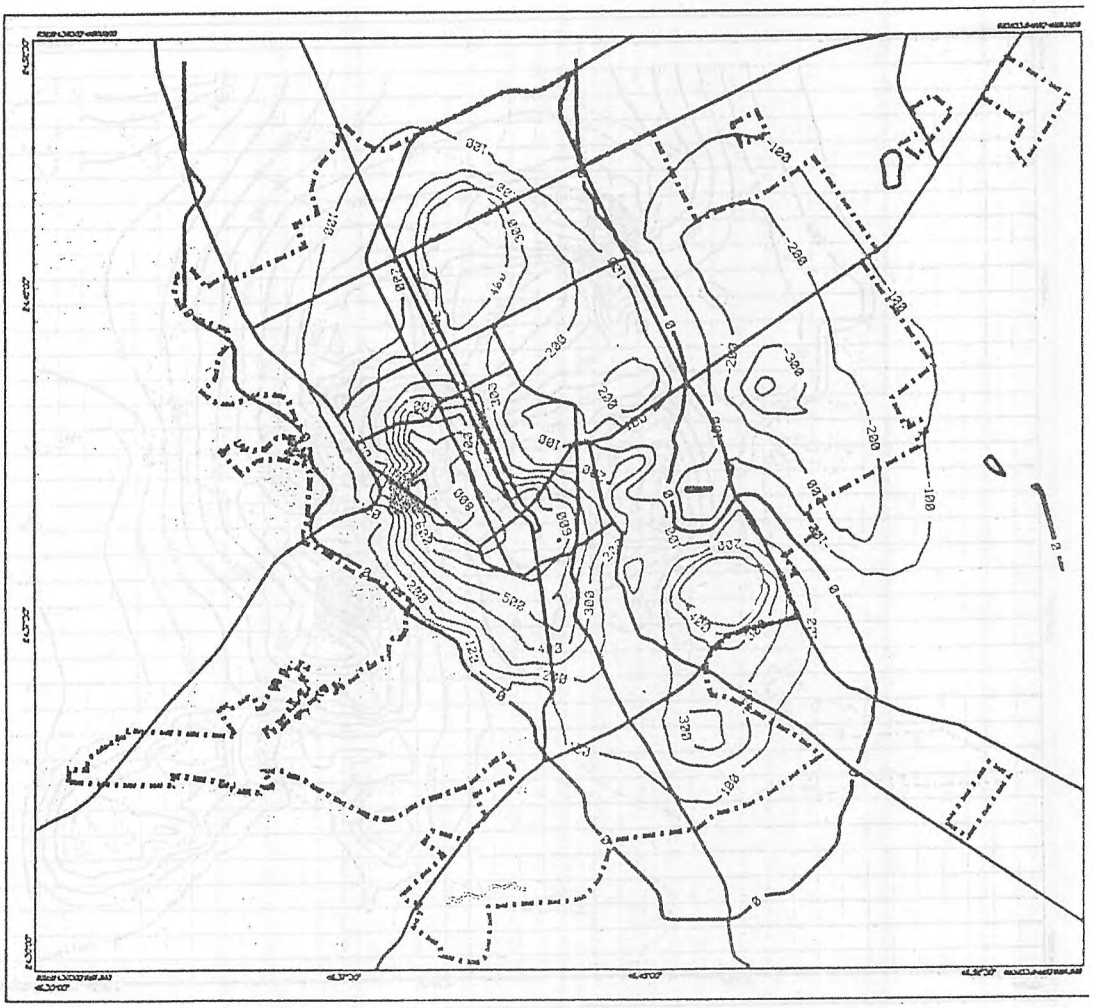
شكل (٤) : فروق مناسيب المياه الارضية بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٠٠ في حالة انخفاض معدل التسرب بنسبة ١٠ ٪



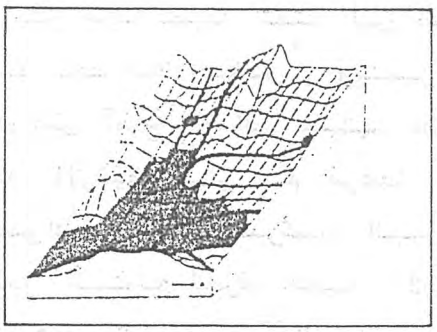
شكل (٥) : فروق مناسيب المياه الارضية بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٠٠ في حالة زيادة معدل التسرب بنسبة ١٠٪



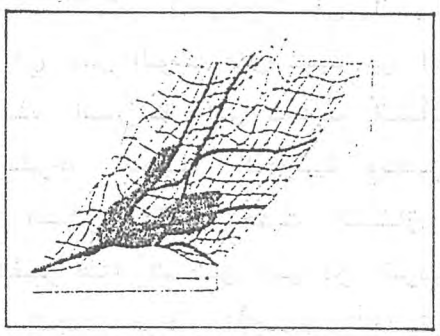
شكل (٦٠) : فروق مناسيب المياه الارضية بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٠٠ في حالة تنفيذ برنامج تخفيض المياه الارضية مع بقاء معدل التسرب ثابتا



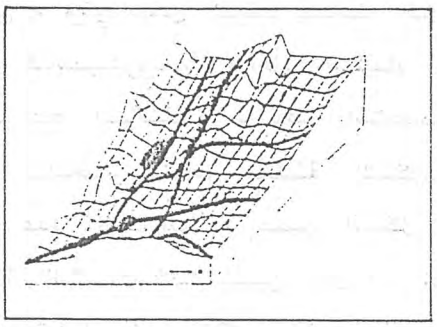
شكل (٧) : فروق مناسيب المياه الارضية بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٠٠ في حالة تنفيذ برنامج تخفيض منسوب المياه الارضية مع انخفاض معدل التسرب بنسبة ١٠ ٪



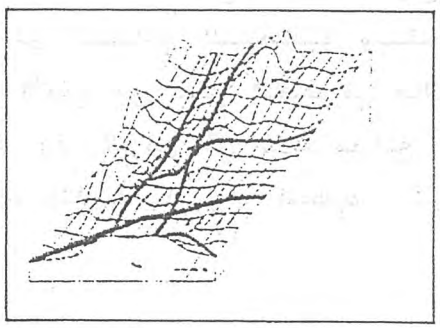
أ ـ حالة المياه الأرضية مع عدم وجود نظام لصرف المياه الأرضية أو نظام الصرف الصحي



ب ـ حالة المياه الأرضية مع نظام الصرف الصحي



جـ ـ حالة المياه الأرضية مع نظام لصرف المياه الأرضية فقط



د ـ حالة المياه الأرضية مع وجود نظام لصرف المياه الأرضية مع نظام الصرف الصحي

المصطلحات

ـ المياه الأرضية على سطح الأرض

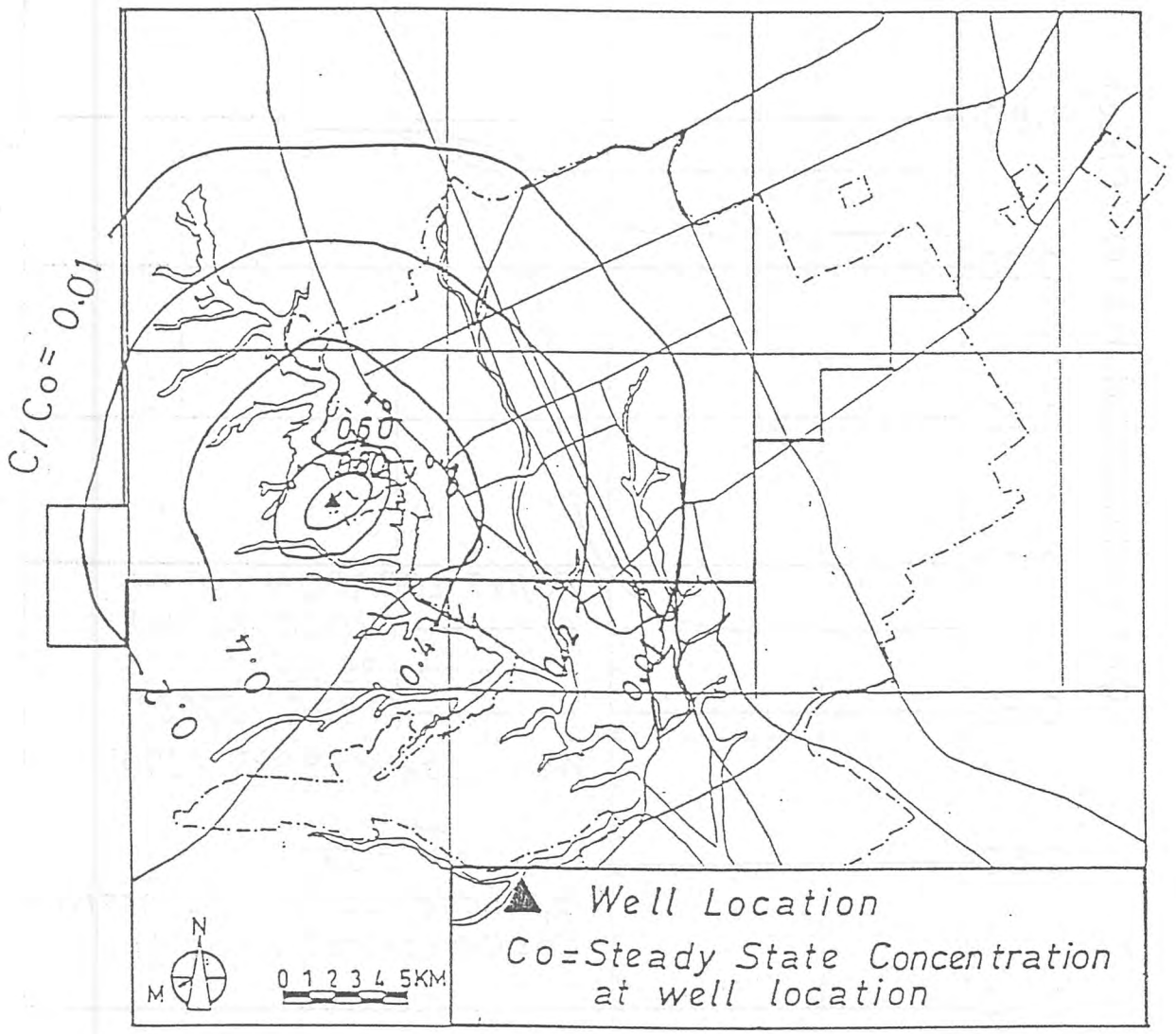
ـ المياه الأرضية تحت سطح الأرض

ـ شارع رئيسي

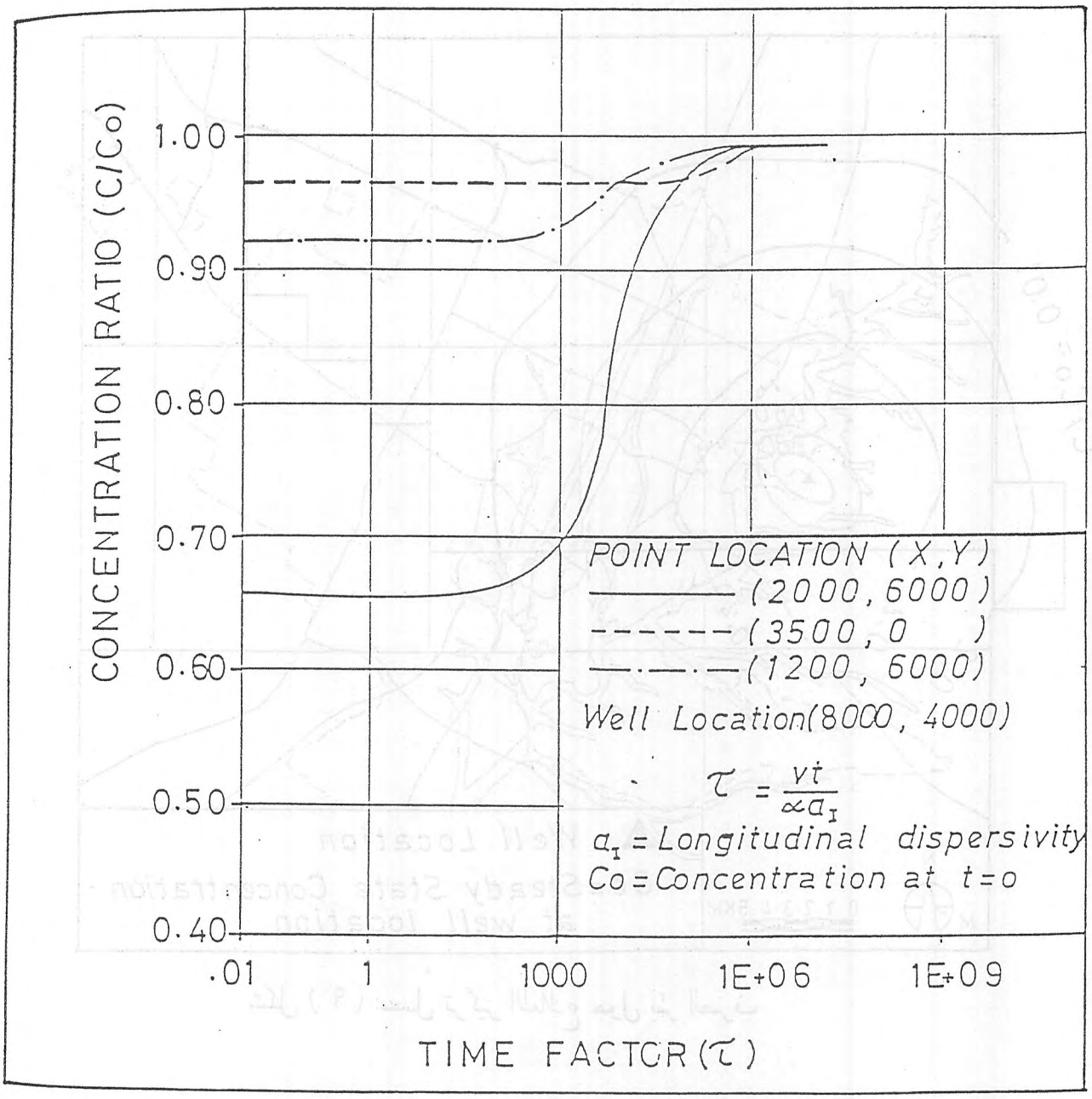
شكل (٨) : تاثر منسوب المياه الارضية بتوافر الخدمات

وقد استخدم في هذا النموذج معادلات الحركة الرئيسية الخاصة بمعدل انتشار المواد الذائبة في وسط مياه جوفية متحرك وكذلك معدلات حركة الأجسام الصلبة في هذا الوسط .

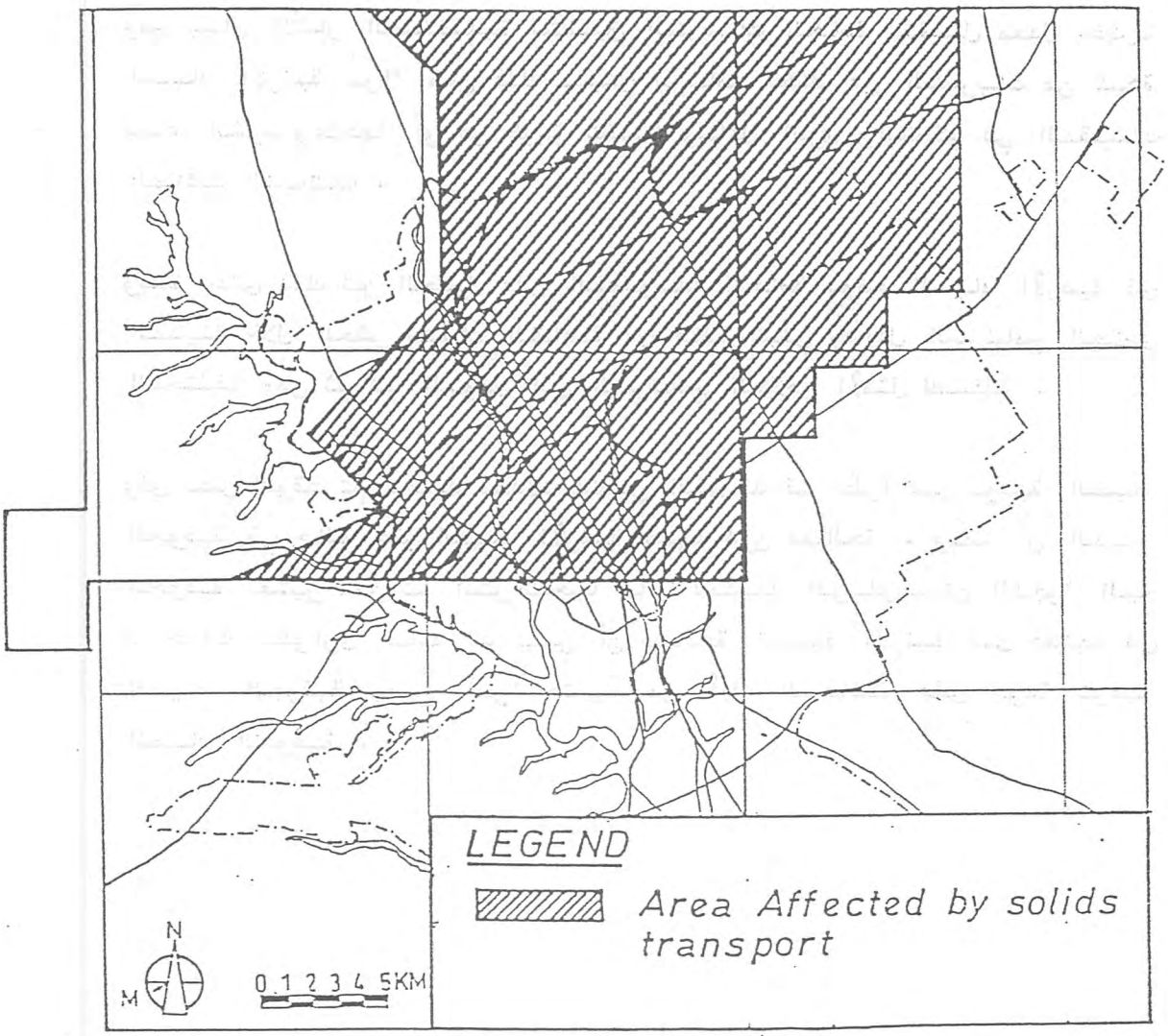
وقد تم تطبيق هذا النموذج على منطقة يتم تخفيض المياه الأرضية بها بواسطة شبكة مصارف أفقية تصب في بئر صرف عميقة تمتد الى طبقة ذات نفاذية عالية حاملة للمياه الجوفية تحت ضغط منخفض ، وتتميز المياه الجوفية في هذا الموقع بأنها تحتوي على أملاح اجمالي نسبتها تعادل ٥٠٪ من نسبة الاملاح الموجودة في المياه الارضية التي يتم صرفها ، والتي تحتوي في نفس الوقت على نسبة من المواد الصلبة والمركبات البيولوجية . هدفت هذه الدراسة الى تحديد التأثير المتوقع لصرف المياه الارضية على نسبة ملوحة المياه الجوفية وتغير هذه النسبة في المواقع المجاورة لموقع البئر وكذلك تحديد النطاق الذي يصبح فيه هذا التأثير ملموسا ومدى تغير هذا النطاق على مر الزمن . وفي نفس الوقت يساعد النموذج في تحديد اتجاه حركة الأجسام الصلبة كالميكروبات داخل المياه الجوفية والزمن اللازم لها للوصول الى المواقع المختلفة . وقد استخدمت طريقة العناصر المحدودة في هذا النموذج باتخاذ عناصر مثلثة الشكل كما هو الحال في النماذج التفصيلية وبنفس عدد الثوابت . يبين الشكل ٩ نسبة تركيز الأملاح حول بئر الصرف في حالة الثبات كما يبين شكل ١٠ تغير هذه النسبة مع الزمن في ثلاث مواقع مختارة اما شكل ١١ فيوضح المنطقة المعرضة للتلوث بالمواد الصلبة التي يتم صرفها مع المياه الارضية .



شكل (٩) :معدل تركيز الاملاح حول بئر الصرف



شكل (١٠) :تغير تركيز الاملاح مع الزمن



شكل (١١) :المساحة المعرضة للتلوث

الخاتمة :

أفاد استخدام النماذج الرياضية في تخطيط وتصميم نظم صرف المياه الأرضية وفي بيان الآثار المستقبلية لتطبيق التوصيات الخاصة بتقليل معدل تغذية المياه الارضية سواء كان ذلك بتبني برنامج للكشف عن التسربات من شبكة مياه الشرب وعلاجها أو عن طريق تحديث وسائل الري والتحكم في المقننات المائية للنباتات .

وبناء على ذلك تم الحصول على المعلومات الخاصة بوضع المياه الأرضية في المدينة خلال العشر سنوات القادمة في حالة تبني بدائل البرنامج العلاجي المختلفة ومن ثم تم التوصل الى البرنامج العلاجي الأمثل للمشكلة .

وفي نفس الوقت تم تحديد معدلات التغير الذي قد قد تطرأ على نوعية المياه الجوفية في حالة حقن المياه الأرضية فيها دون معالجة . وبما أن المياه الجوفية تعتبر مخزونا استراتيجيا هاما لمدينة الرياض يمكن اللجوء اليه في حالات الطوارئ فانه قد تبين أن معالجة المياه الأرضية قبل حقنها في المياه الجوفية يصبح أمرا حتميا من أجل المحافظة على جودة نوعية المياه الجوفية .

DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR WATER RESOURCES

Evan Vlachos
Darrell G. Fontane

International School for Water Resources
Colorado State University
Fort Collins, Colorado 80521

Paper submitted at the First Gulf Water Conference,
Dubai, United Arab Emirates
October 1990

I. D.S.S. An Organizing Framework

The world around us is becoming more complex, more differentiated and highly specialized. Knowledge increases geometrically and the extent and magnitude of the effects of our actions continue to expand. Such developments imply also for resource management such requisites as increased problem solving capabilities; prudent judgment combining both structured reasoning and disciplined imagination; a shift from crisis management to long-range, risk management; and, an overall capacity in building a reasonable basis for monitoring and implementation.

In environmental management decision makers are continuously faced with the challenge of first of all finding and organizing relevant, valid, and reliable data. Second, with the accounting of a range of responses of the surrounding environments. And, finally with the articulation of alternative policy options.

In such an effort the analyst or decision-maker is faced with vast amounts of data and with increasing problems of retrieving them. At the same time, he is faced with the lack of an integrated, conceptual framework for organizing information, including complex problems; interdependence because of large numbers of factors; more than one decision maker; multiple attributes; and, increasing risk and uncertainty. In addition, the manager is also faced with the need for continuous assessment and

evaluation, including a wider range of options, trade-off considerations, and specific operational implementation steps.

In this context, Decision Support Systems attempt to combine raw data, meaningful information, and appropriate knowledge. This implies the obtaining, organizing, retrieving and evaluating collected data, which through methods of analysis and interpretation result to information, and which in turn can be assessed and evaluated in terms of coherent and systematic decision-making frameworks (knowledge). Thus, any improved decision making capability rests not only on the extent of available data, but also on the retrievability of such data through a variety of relevant formats and by a consideration of the uses of data.

In such a dynamic system it is obvious that one needs conceptual breakthroughs to accommodate a large variety of factors, variables, and conditions; strategies and tactics in a combination of hardware and software techniques and methods (such as computer graphics, image processing, data banks, etc.); interdisciplinary integration and expanded communication between disciplines and in a variety of cultural settings; and an attempt towards integrated resource management, concentrating especially on such items as evaluative techniques, risk assessment, management of uncertainty, optimization of goals, and delineation of sets of alternatives.

An implicit organizing framework for a coherent Decision Support System (DSS) implies a variety of strategies and tactics which could organize, process, analyze and present information necessary for decision making. Such a broad approach implies also systems of data collection, checking and filtering, data storage, computer modeling as well as communication with data base, user dialogue, artificial intelligence, decision analysis, and finally, coherent information presentation and visualization techniques. There is no doubt that we have always used forms of DDS concepts. However, the connections between all the processes in the past where manual and slow. Advances in computer hardware and software and the rapidly expanding computational prowess, have made computer-based DSS feasible and increasingly indispensable.

In such a system most central is the creation and the growing interest in knowledge-base systems (KBS) or variably described as expert systems (ES). Indeed, since the mid-1970s there has been a virtual explosion of activity in this area which has accelerated since the early 1980s. Work in expert systems has increasingly been demonstrating its utility in such diverse areas as medical diagnosis, mineral exploration, computer system configuration, computer-aided instruction, interpretation of mass spectrographs of chemical compounds, etc.

Central to all these attempts has been the understanding of the use of knowledge which moves beyond simple data or clusters of information. The term "knowledge" broadly suggests understanding

and intelligence as characteristics which are bound to the problem by human experts. While no one denies the data and information are quite helpful in solving particular problems, by themselves are not sufficient for the solution of the problem. What is most important is the selection of relevant data and information, i.e., relevant to the problem at hand and relevant to the ultimate goals of undertaken action. Information becomes useful when extracted in a form that can be readily utilized, provide understanding and meaning, and augment interpretation and in specific contexts of decision-making.

Implicit in recent developments and in the effort of creating fifth generation computers has been the notion that knowledge from human experts can be fed into artificial systems for subsequent manipulation and retrieval. Such systems would enable information to be used in such a manner that associations, generalizations, conclusions, and "reasoning systems" could be provided to human users who need processing of relevant information in a given area. This is the basis of automatic manipulation of knowledge currently known as knowledge engineering drawing from such diversified fields as cognitive psychology, information theory, computer science, and artificial intelligence. Here, data structures and interpretive procedures can be combined in computer programs in ways in which one can simulate "knowledgeable" behavior and outcomes. Knowledge-based systems which combined with modern microprocessors are becoming the frontier for helping decision making in complex problems, programs and projects.

Essentially, then, an expert system is a computer program that draws on a base of knowledge in some specific area to make conclusions by means that imitate in some form human reasoning. The simple schematic of Figure 1 implies that there are at least these basic components: a knowledge base (or set of rules); an inference engine (or control structure) which in some logical manner operates with established rules; and a working memory (global data base) for keeping track of the problem stages, the input data for the particular problem, and the relevant history of what has thus far been done. Such search strategies and inference mechanisms augmented by heuristic evaluation functions focus attention of ways to bring expert knowledge to bear on problem solving.

Expert systems are knowledge-based computer programs capable of giving intelligent advise, and whose logic and reference basis can be readily justified. Such systems have reached the point at which they can provide useful advice which combines knowledge bases with the heuristics used by human experts used to solve difficult programs. The major advantage of such an approach is the ability to justify the conclusions and to document through an "audit trail" the arrival to certain conclusions that can be better understood than the earlier mathematical models which users were often unable to follow in terms of their logical processes underlying their solution.

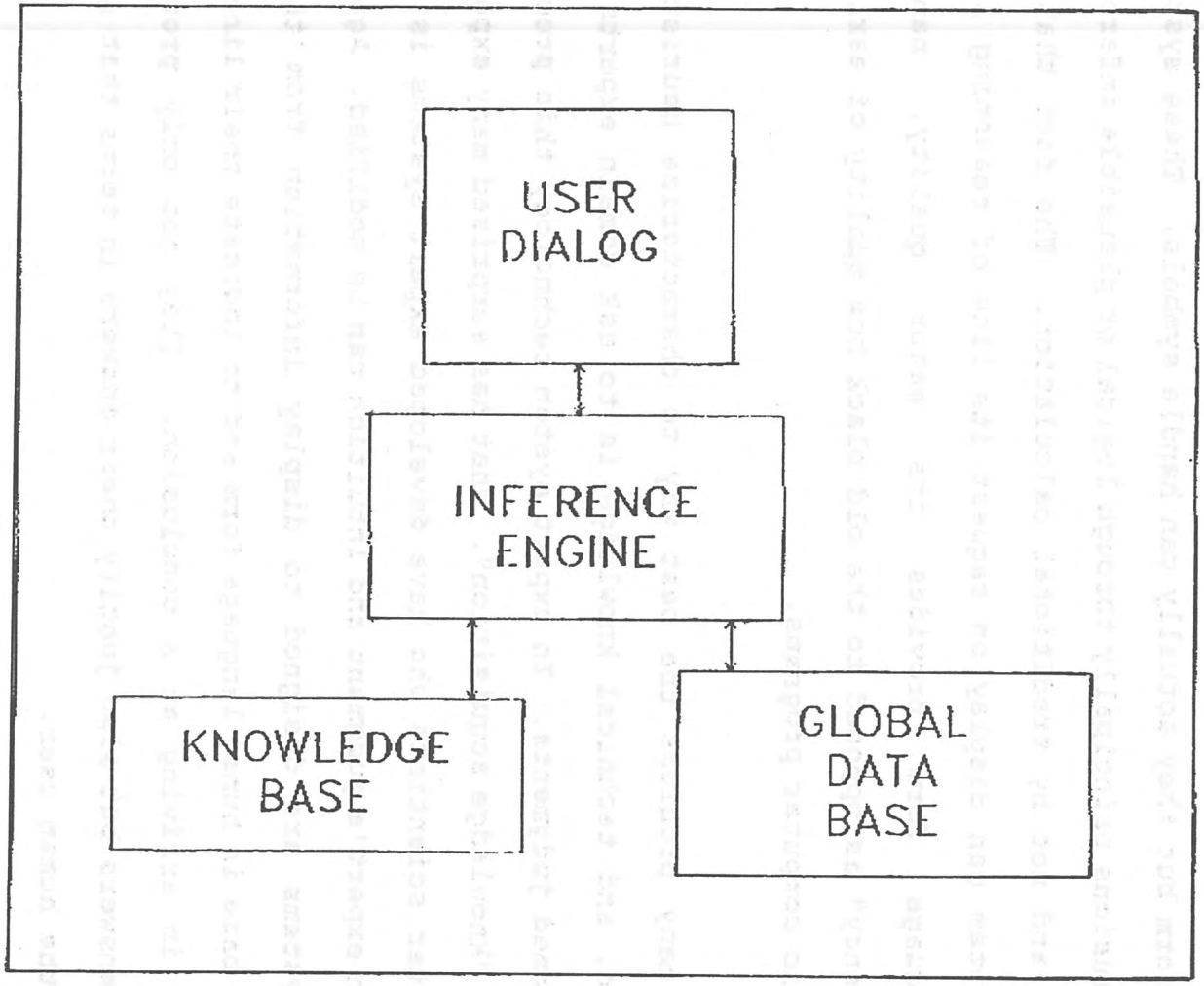


Fig.1 Schematic of expert system

To state it even simpler, compared to earlier heavily number-oriented computer systems, expert systems are designed in such a way as to help users solve complex problems in a common sense way. Expert systems are unique in that they can draw conclusions from task-specific knowledge. They not only encode knowledge in a symbolic form but they actually can handle symbols. These systems draw conclusions principally through logical or plausible inference sequences and not by traditional calculation. The fact that an expert system can display on request its line of reasoning in a human-language form provides its major quality, namely "transparency" as opposed to the old black box quality of earlier algorithmic computer programs.

For many problems the best way to characterize heuristic, scientific, and technical knowledge is to ask domain experts to make informed judgments. In expert system technology this process if called "knowledge acquisition". What has surprised many experts and computer scientists who have developed expert systems is how much of an expert's judgment and intuition can be codified. Again, expert systems are designed to display information from their knowledge base in human language form and to indicate their line of reasoning in arriving at a conclusion. They not only provide accurate answers but also justify their answers in terms that make sense to the human user.

In conclusion, therefore, the important ingredient in expert systems is that of experiential or judgmental knowledge which

underlies all forms of expertise. Such heuristics consist not only of "rules of thumb" but also of "rules of good guessing" which are used by experts as an additional dimension to the factual information which presumably is available to them. Judgment and facts, then, are the twins of the improvements in any kind of an ideal expert system whose characteristics involve, among others, the solution of very difficult problems; interaction with humans in natural language; manipulation and reasoning about symbolic descriptions; contemplation of multiple competing hypotheses simultaneously; and, the explanation and justification of conclusions.

There is not doubt that there are all kinds of problems with ES including biases, mistakes, forms of responsibility, liability as well as errors included in knowledge or in operational rules. But the central essence of such an approach in terms of human reasoning is that the expert system can produce a clear audit trail. Managers, decision makers, as well as other users can track down a specified communication protocol and, thus, monitor the quality and significance of decision making.

When all is said and done, it is recognized that there is an overall need to provide some "integration mechanism" that can bridge the gap between technical knowledge and effective decision making. While many scientists have highly structured approaches and complex models for knowledge generation, users and decision makers are forced into making utilitarian analysis which requires

a bridging of the gap between judgment and data. A highly complex and fast changing society is dependent on high levels of information requiring skillful managing of knowledge and effective utilization of technical findings and conclusions. The quest is for both useful formats of information utilization and for sensitivity to implementation needs. Appropriate information management and knowledge utilization techniques incorporated in expert systems can provide more and more leverage for effective decision making.

II. Recent Trends and Developments

The challenge for us is to combine data/information with preference/judgment. This is becoming more possible with the increasing use of computers that have been changing traditional decision making. Indeed, as it has been said by many authors, the main activities of modern societies are those of inquiring, communicating, and deciding with the help of dependent and efficient computational procedures.

The big gains of this increasing computational prowess have been the challenging of assumptions; the simultaneous consideration of numerous critical variables; the outlining of complex interrelationships; the simulation of outcomes; the enhancement of imaginative responses and alternative options; and, finally, the promotion of interactive management and consensus building. All the above are part of the efforts of managing increasing

uncertainty and complexification as well as of conceptual transformations in terms of shifting paradigms of complexity, of methodological advances in terms of decision support systems and of organizational transformations requiring participatory and anticipatory contingency planning. However, the danger lurking behind all such developments is also the consequences of "information inundation". Tremendous amounts of cascading data and information force us to consider guides for sifting through a lot of "noise" in the system.

The ability to manipulate data and information in ways in which one can simulate intelligent thinking and behavior requires also methods of communicating with computers which are commensurate with such a task. Indeed, the manipulation of knowledge-based information systems requires a different kind of programming, one which can be either descriptive or prescriptive. It is, therefore, important to adopt a "conversational approach" to the use of available information for the solution of a problem.

In this regard, knowledge-based information systems, combined with appropriate programming languages, have enabled expert systems to be implemented in today's fourth generation computers before even the machines of the fifth-generation computers have become available. Today microcomputers are more powerful and able to be connected via networks. In addition, software standardization is leading to increased connectivity. D-base, 123, Word Perfect are de facto standards. All software packages now communicate directly

with each other.

In many regards expert systems are maturing. Expert systems are also being developed for a wide variety of applications in water resources. These include a "smart" manual that guides the user through a structured process, preventing him from missing important steps and checking the validity or consistency of input. The results be displayed, then, in character or graphical forms and provide an explanation of recommendations to the user. On the other hand, hybrid models which link expert systems with more traditional algorithmic models can provide advice on the proper input for the models and can help interpret results.

By becoming user friendly, microcomputers are now the standard way of approaching decision support systems. But the key junction is not simply the generation of better numbers which can help in planning and decision making. More important is how one can better describe subjective factors which are much harder to formalize, let alone put into a computer.

Decision technology has taken over twenty years now to mature by the combination of the two disciplines which formed its roots, i.e. systems dynamics and decision analysis. Instead of asking a strategic planner "what if", or, "what should be a response to?", and, then, wait for days for answer, microcomputers can now provide simulated answers in only a few minutes. The main tools that have been used to help managers and decision makers to think more

clearly about complex problems emanate from cognitive mapping, decision mapping, microworlds, and interactive management through consensus building.

Any summary of the state of the art in decision support systems and especially expert systems should emphasize also the gamut of difficulties including narrow domains of expertise; the presence of single experts as contrasted to multiple contributions; the need to better explanatory schemes; the critical bottlenecks associated with knowledge acquisition; the attempt to validate complex computer programs; the lack of adequate and appropriate hardware, inadequate special knowledge engineering tools; the quest for orderly development and transfer of knowledge (which requires continuous funding over several years), and finally, the perennial shortage of knowledge engineers.

To such general problems and issues one should also add a major epistemological debate generated by those who believe that the current approaches to expert systems have difficulties in succeeding because the underlying quest for the automatic analysis ignores the basic problems of how human expertise and human decision making tends to work. The two general arguments as to why expert systems cannot really reach human expertise are the fact that human experts do not apply rules in the conventional sense but rather "recognize" each special case. The second argument is that if the expert system is created by a "knowledge engineer" responsible for devising the format in which the expert's knowledge

is to be embedded, then, the resulting model can at best be only as good as the knowledge engineer's understanding of the superstructure of expert thinking about the problem at hand (William Ascher, "Limits of 'Expert Systems' for Political-Economic Forecasting", Technological Forecasting and Social Change, Vol 36, 1-2, August 1989, pp 137-157).

Despite such larger debates as to the future of artificial intelligence, expert systems, knowledge based engineering, and similar forms of decision support systems, they all should be used exactly for what they are intended, namely, as support systems. One here can bring forward the example of the geographical information systems (GIS) as a way of using them as essential tools for addressing numerous problems of spatially defined systems. GIS has variably been defined but essentially a key definition has been "internally referenced, automated, spatial information systems designed for data management, mapping and analysis". In the past several years they have been increasingly utilized as quantitative inventories and modelling techniques with a spatial focus to plan cities, transportation systems, analyze forest fires, locate public utilities, etc.

III. Implications for Water Resources Management

Many water resources managers have been reluctant in the past to fully embrace decision support systems and especially expert systems because of the questions about ultimate cost effectiveness,

reliability, as well as because of fears about turning systems operations and possibly decisions over to computer programmers and modeling specialists (Labadie, 1986). Increasingly, however, in the total context of improved and faster response microcomputers, managers are recognizing the need to move into computerized DSS because of the complexity of water management and control decisions.

The major breakthroughs here have been not only the microcomputer revolution, but also the increasing acceptance of knowledge based systems among modelers. The computational prowess involved in personal microcomputers has changed the attitudes of increasing number of not only specialized users but also of the public at large. The dramatic cost reductions, the ease in the use of software, and attractive graphic systems, all have reduced the need for specialized personnel and have made it easier to use natural languages in the applications of information technology.

The conversational language and the "transparency" embedded in the expert systems make it possible that a variety of computer based DSS can be used directly by managers and, therefore, avoid the difficulties involved in what may have perceived in the past as arrogant computer modelers.

There have been four major opportunities that have helped the burgeoning field of expert systems. The first arises from the opportunities to improve data collection which now are becoming

more focused and relevant and easier to filter with rapid analysis and display mechanisms.

The second group of opportunities have to do with improvement of modeling both the capability of analyzing complexities in the management system and, yet, at the same time better displaying mechanisms of a richer menu of options to the decision maker in an understandable format. The existing models have been made easier to use by incorporating into them not only user-friendly "expert" shells, but also imaginative display formats.

Another group of opportunities has to do with the procedures of how one could collect not only data but explicate appropriate procedures. Such procedures are easier to adapt to changing environments and conditions and can be rapidly implemented. More than that, such procedures can provide "explanations" to the suer and, thus, simulate in a more natural manner decision making processes among a variety of users.

Finally, a major implication of opportunities for decision support systems is the emphasis of bridging the gap between data and preferences by improving judgment and by trying to consider constraints, qualitative conditions, criteria, and a variety of subjective circumstances whose weight may alter not only decision making but the very selection of a particular option.

Despite the very formal sounding term of expert systems such procedures can help all of us learn to live with ambiguity and uncertainty and pay particular attention to the improvement of subjective judgment. In addition, such decision support systems can help us appreciate better the contextual transformation of the strategic environment of the decision maker, consider more holistic approaches, and utilize the power of expanding DSS techniques in understanding the vagaries of contingency models in decision making.

For the water resources manager the use of decision support systems and especially of expert systems is not only an opportunity to improve collection, analysis, presentation, and implementation of decisions. They can also make us face more directly inherent threats in decision making. Such threats include problems of incorporating decisions to existing organizational structures and personnel; inundation and the questions of relevancy of large pools of data for rapid decision making; personal threats and psychological dependency especially of older managers who have always operated under highly subjective decision making modes; and, finally, the challenge of shifting conceptual and methodological paradigms that attempt to combine data and judgment and bridge the gap between quantitative and qualitative dimensions in design, planning and implementable action.

REFERENCES

Ascher, William, "Limits of 'Expert Systems' for Political-Economic Forecasting", Technological Forecasting and Social Change, 36:1989, pp. 137-157.

Boden, Margaret A., "Impacts of Artificial Intelligence", Futures, vol. 16,1. 1984, pp. 60-70.

Coulson, Robert N. et al., "Artificial Intelligence and Natural Resource Management", Science, 1987, vol. 237:262-267.

Davis, Randall, "Knowledge-Based Systems", Science, 1986, 231:957-963.

Duda, Richard O. and Edward H. Shortliffe, "Expert Systems Research", Science, 1983, 220:261-268.

Gevarter, William B., "An Overview of Expert Systems", Washington, DC: U.S. Department of Commerce, Report NBSIR 82-2505, May 1982.

Harmon, Paul et al., Expert Systems, Tools and Applications, New York, John Wiley and Sons, 1988.

Jeffers, J.N.R., "Expert Systems as Decision Tools for Land use Planning", Forecasting and Assessment in Science and Technology, Commission of the European Communities (Brussels), Occasional Papers No. 196, June 1987.

Johnson, L.E., "Water Resource Management Decision Support Systems", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, vol. 112, no. 3, July 1986.

Kowalik, J.S. (ed.), Coupling Symbolic and Numerical Computing in Expert Systems, Amsterdam: North-Holland, 1986.

Labadie, John W. and Charles H. Sullivan, "Computerized Decision Support Systems for Water Managers", Journal of Water Resources Planning and Management, American Society of Civil Engineering, vol. 112, no. 3, July 1986, pp. 299-307.

Labadie, John W. et al., (ed.), Computerized Decision Support Systems for Water Managers, American Society of Civil Engineers, 1989.

Levine, R.J., A Comprehensive Guide to AI and Expert Systems, New York:McGraw-Hill, 1986.

Maher, Mary L., Expert Systems for Civil Engineers, American Society of Civil Engineers, 1987.

Waterman, Donald A., A Guide to Expert Systems, Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1986.

جَلسة رقم (٣)

(٢) منق تسلج

تنمية مصادر الماء الصالح للاستخدام

محمد بن عبدالكريم الصوفي

تنمية مصادر الماء الصالح للإستخدام

إعداد
محمد بن عبدالكريم الصوفى

المستشار الفنى ـ المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، الخبر ٣١٤٢١
ف ٨٦٤٦٧٣٩(٩٦٦٣)،هـ ٨٩٤٠٩٩٧، تلكس ٨٧٠٠٩٢، ص.ب ٧٥٢ المملكة العربية السعودية.

الخلاصة

تتطرق الورقة الرئيسة لجلسة مصادر وبدائل جديدة للماء الصالح للإستخدام إلى الماء فى جزيرة العرب كمقدمة و كمدخل المصادر القائمة. وقد قسمت المصادر إلى ذات الأصل الطبعى، والطرق الصناعية لإستعذاب الماء المحتوى على نسب من الأملاح تتجاوز الحدود المقبولة للإستخدامات المختلفة. ويتم الإنتقال إلى تنمية المصادر المائية وبذات التقسيم أى بحث سبل تحسين المصادر المتاحة ثم بحث كيفية الحصول على الماء من مصادر طبعية جديدة. يلى ذلك الإنتقال إلى إمكانات وسبل الإنتاج الصناعى للماء بالمستقبل.

وتستعرض هذه الورقة ماسبق عبر جدولين. وقد جاء الجدول (أ) بعنوان المصادر القائمة للماء الصالح للإستخدام وعلى النحو التالي:ـ

المصادر الطبعية	الإنتاج الصناعى
الأنهار والبحيرات	التقطير التأثيرى
العيون والأفلاج	التقطير الومضى
الآبار بأنواعها	التبادل الكهربى
الأحواز والسدود	النضح الكهربى
البحيرات والبحار	التناضح العكسى

فالجدول (ب) بعنوان تنمية المصادر البديلة للماء الصالح للإستخدام وعلى النحو التالي:ـ

المصادر الطبعية	الانتاج الصناعى بالمؤثرات
ترشيد الإستهلاك	الطبعية
إستصلاح الرجيع	البلورية
تنمية الموارد	الكيميائية
التغيير المناخى	الحيوية
الجلب والإستيراد	النووية

وتخلص الورقة عبر المقارنة إلى إمكانات وفرص تنمية وتحسين المصادر القائمة والمتاحة. وكذلك إحتمالات ظهور بدائل وطرق جديدة للحصول على الماء الصالح للإستخدام.

المقدمة

الماء في جزيرة العرب

لقد مر على جزيرة العرب عبر تاريخها المديد عهود من الرخاء يدونها التاريخ القديم والحديث. كما وأنه قد كان لها نصيب من ضنك العيش بالقحط والمجاعات. ولله الحمد تعيش هذه الأرض في أيامنا أوج تقدمها التقني.

وبالماء إرتبط كلا الحالين عبر تاريخ الجزيرة حالها في ذلك حال باقي بقاع وأصقاع الأرض. فصدق الله العظيم "وجعلنا من الماء كل شيء حي".

إنطلاقاً من قلب الجزيرة العربية وحيث كانت الوجهة غرباً نحو الديار المقدسة بالحجاز وجبالها أو شرقاً نحو منابع النفط والنعم التي إرتبطت به أو شمالاً نحو جبال أجا وسلمى وطويق أو جنوباً كان ذلك نحو صحراءٍ ممتدة أو جبال عمان أو ماعرف عبر حقبة تاريخية باليمن السعيد، فإنه يمكن القول بأن غالب أجزاء أرض الجزيرة كانت غنية بالماء في زمن ما.

والشاهد على ذلك بساتين التمور بالمدينة المنورة وبيشة والقصيم والأحساء والقطيف والبحرين وغيرها. وكذلك ماتنتج الطائف وجبال الحجاز. هذا ولم يسمى جبل عمان بالجبل الاخضر عفواً. أما سد مأرب فإنه تراث وتاريخ وقصة قرآنية.

ويجدر بالذكر هنا المرور بتسميات أخرى منها حفر الباطن. إذ تشير إحدى المراجع على أن التسمية هي لوادي كبير بحجم الأنهار كان ينبع من جبال حائل ليصب بالخليج جنوب الكويت. ومراجع أخرى ذكرت بأن كان له فرع ينحرف جنوباً. وعلى مصب هذا الفرع قامت مدينة إشتهرت بقصير النخل فسميت المدينة "لينة". وهي تسمية عربية وردت بالقرآن الكريم. واللينة القديمة تقع جنوب مدينة الخبر والتي تعرف اليوم موقعاً لمحطة "التحلية" بالعزيزية.

ولم يقف ثراء المنطقة بالبر بل قد مد يداً بالماء فقد كان البحارة وخاصة صيادي اللؤلؤ يزدادون بحاجتهم من الماء العذب دون الحاجة للعودة إلى الشاطىء. وكان ذلك بقصبة تربط بفم القربة ينزل بها "الغيص" - التسمية الخليجية لغواص اللؤلؤ - إلى ماء الخليج ليزداد من ينابيع الماء العذب التي بالبحر. وقد عرفت المنطقة كثيراً من هذه الينابيع ومنها عين "غمسة" شمال مدينة الجبيل وعين مزاحم جنوب الدمام وعين جسوس وتنطق بالعامية "بين الجيم والشين" قرب البحرين.

وهناك العديد من المسميات لمصادر الماء. ومنها الوادي والبركة والغدير والعين ومنها عين النجم بالاحساء وعيون أخرى كثيرة. وعين بدحان بالخبر والنسيح قرب العزيزية.

كما وأن العين إسم لمدينة بالإمارات العربية المتحدة. وكذلك تسميات أخرى كالبئر والغلج ومنها منطقة تعرف بهذا الإسم جنوب غرب الرياض (الأفلاج). كما وأن هناك تسمية بالخليج هى الكويكبة وتجمع على كويكبات وتطلق التسمية على المصدر النابع ولكن غير المستمر على الارجح. وتكون عدم إستمراريته إما بسبب إنحسار مصدر الماء عنه أو لإختفائه عن الساحل بفعل المد. فالمعتقد أن التشبيه هو بالكواكب التى تظهر عادة وتختفى أحياناً. وقد تعود التسمية إلى مايمكن أن ينمو حولها من نباتات نجمية (غير ذات الساق). لقد لزم هذا التفصيل لمراجعة أن عين مزاحم الواقعة بين الخبر والدمام يعتقد بأنها كانت كويكبة بالأصل. كما وأن هناك العديد من الكويكبات بدولة البحرين. وآخر التسميات وأهمها بالذكر هو تسمية الرياض فهو الشاهد الاكيد على خصب الأرض ووجود الماء والحمد لله.

ومع هذا فقد عرفت الجزيرة العربية صناعة الماء منذ قرن من الزمان. إذ شيد بجدة أولى وحدات إعذاب الماء بالتقطير قبل نهاية القرن التاسع عشر الميلادى. وتلى ذلك بناء أخرى قبل الحرب العالمية الأولى. أما دخول المملكة العربية السعودية تلك الدولة الفتية عصر صناعة الماء فإنه قد أتى في عام ١٩٢٨م على يد مؤسسها الملك عبدالعزيز آل سعود (المغفور له إن شاء الله). فبأمر منه (طاب بإذن الله ثراه) جلب جهاز أكثر تطوراً لإعذاب ماء البحر إلى جدة وسميت بالكنداسة تحريفاً للكلمة الأجنبية الدالة على المكثف وذلك لخدمة الحجيج. خاصة عن وصولهم بحراً وللتزود به قبل شروعهم بالعودة إلى ديارهم بنهاية موسم الحج أى بعد أداء الفريضة. وإستمر النمو من هناك.

وبعد الحرب العالمية الثانية إستدعى فريق أجنبى لدراسة وضع المياه. وتلى ذلك بزمن وخلال العقد السابع "الستينات" من هذا القرن الميلادى أن أسس بوزارة الزراعة والمياه مكتب للتحلية تولى دراسة الأمر وإعداد المخططات لمحطات التحلية الأولى بالوجه وأملج وجدة. وتحول المكتب بعد ذلك وخلال نفس العقد إلى وكالة لوزارة الزراعة والمياه. وخلال السبعينات صار للتحلية كيان قائم بذاته يسمى الان بالمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة. وهى مؤسسة تديرها كفاءات سعودية.

أما دولة الكويت فكانت في مطلع القرن تعتمد على مايجمع من مياه الأمطار وعدد قليل من الابار السطحية (القلبان وهى جمع قليب وينطق بالعامية قافها جيماً "جليب").
وفي عام ١٩٠٥م إكتشفت أول بئر تحتوى على مخزون كبير نسبياً من المياه في منطقة حولى. وفى عام ١٩٢٥م أبحر من جلب الماء لأول مرة بمركب شراعى. وأفرغ الماء من "البراميل" إلى خزان صغير بالقرب من الشويخ. وإستمر ذلك حتى عام ١٩٣٩م حينما إنتظمت تلك العملية بتأسيس شركة لجلب الماء بمقدار ٨٥٠٠ جالون يومياً. وبنيت لذلك ثلاث خزانات على الشاطىء. وبحلول عام ١٩٤٦م أى بمطلع عهد النفط بلغ حجم الأسطول الذى يتولى الجلب ٤٥ مركباً ومعدل الجلب حوالى ٨٠ ألف جالون يومياً.

وقامت بعد ذلك شركة نفط الكويت بإنشاء محطة صغيرة لتقطير مياه البحر في ميناء

الاحمدى بطاقة إنتاجية قدرها ٨٠ ألف جالون يومياً. هذا وقد تم ضخ جزء من هذا الإنتاج إلى مدينة الكويت. وكانت أولى وحدات محطة الشويخ بطريقة الانابيب المغمورة وشيدت عام ١٩٥٣م. وعندما طور أسلوب آخر هو المتعدد الومضى بنت الكويت بمحطة الشويخ أربعة وحدات تعمل بهذه الطريقة لتنتج بنهاية الخمسينات كل منها نصف مليون جالون يومياً. تلتها في ذلك دولة قطر ولم يكن حال باقى دول مجلس التعاون مختلفاً إذ جاءت صناعة التحلية إليها مع صناعة النفط للاغراض الصناعية ثم الحضرية.

فعلى سبيل المثال لقد بنيت محطة صغيرة للتحلية بعوالى بدولة البحرين في عام ١٩٣٥م تقريباً وتلتها محطة صغيرة أخرى لبيع الماء بالمحرق. وعلى الجانب الآخر فقد بنيت محطات بمرافق الزيت السعودية. كما وقد أقيمت محطة صغيرة بالخبر كانت تبيع الماء المقطر خلال الخمسينات (١٩٥٣م).

وعودةً إلى جدة حيث بنى بها أول محطة مزدوجة لإنتاج الماء والكهرباء للإستخدام الحضرى. وقد إحتوت هذه المحطة على مقطرتين تنتج كل منهما ٣ مليون جالون بريطانى يومياً وعنفتين بخاريتين بقدرة ٢٥ مليون وات لكل منهما. وكان بدأ إنتاج هذه المحطة عام ١٣٨٩هـ (١٩٧٠م). وبعد حوالى عشر سنوات بنى بجدة أيضا أول محطة تناضحية بالملايين (٣ر٢ مليون جالون يومياً) لتحلية ماء البحر في نهاية السبعينات. وتلى ذلك خلال الثمانينات بناء وحدات تناضح أخرى بجدة والبحرين والكويت وقطر والامارات العربية المتحدة وسلطنة عمان وكذلك بمرافق الزيت على الخليج ومنها ماكان بالسعودية فى رأس تنورة والسفانية وتناقيب ورأس الخفجى وغيرها وبالدول الاخرى.

وقد كان ذلك ضمن النمو السريع الذى نمت به هذه الصناعة بالمنطقة نتيجة للطفرة النفطية حتى أن القدرات المركبة تبلغ الآن مايزيد على ١٠٠ ألف إلى ٢ر٥ مليون متر مكعب تنتجها يومياً وعلى الترتيب سلطنة عمان والمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة بالمملكة العربية السعودية حسب ماهو مبين بالجدول ١ والشكل ١.

الجدول رقم ١

القدرة المركبة لانتاج الكهرباء والماء

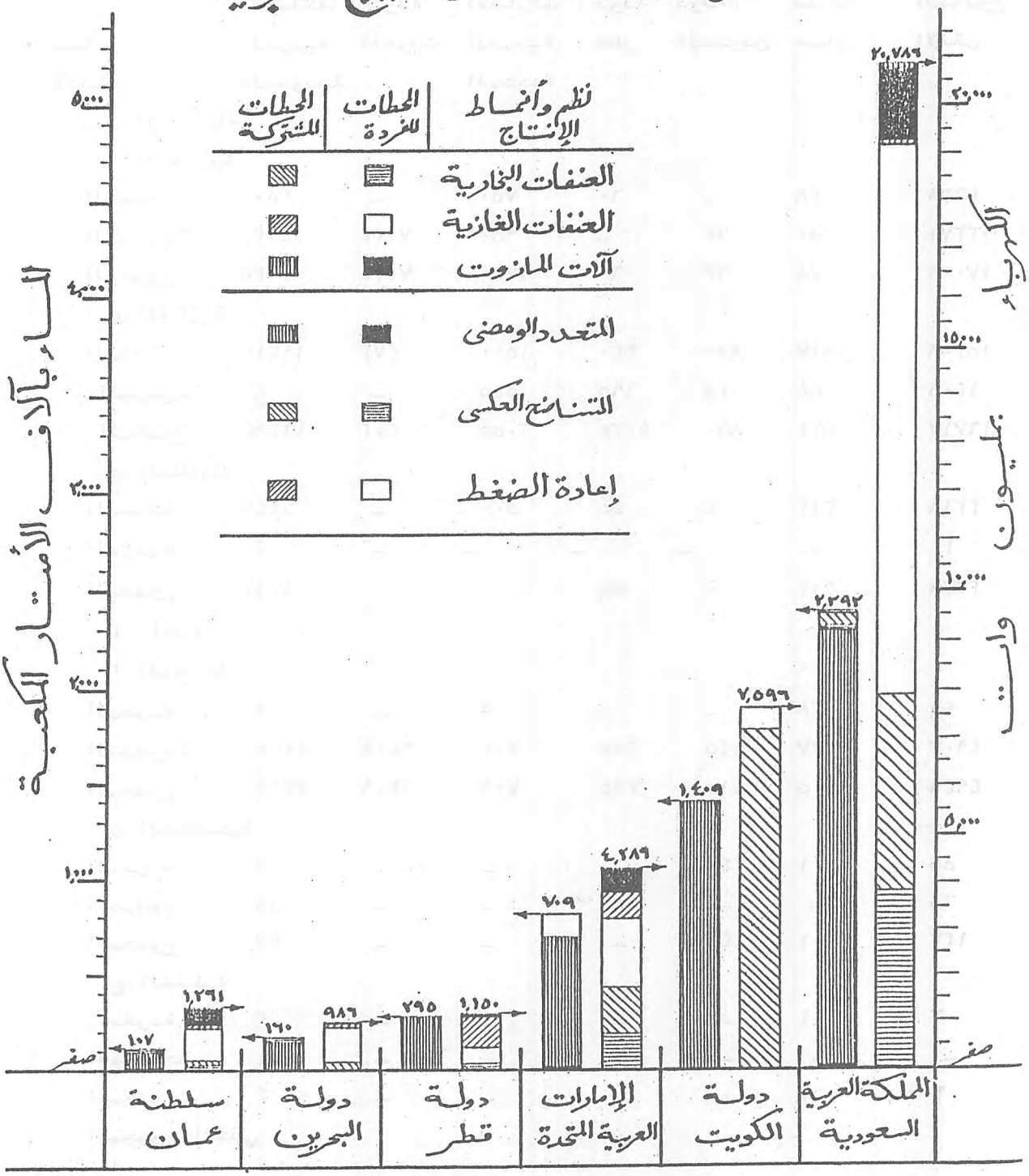
بمجلس التعاون لدول الخليج العربية حسب نظم وانماط الانتاج

(بمليون وات وآلاف الامتار المكعبة يوميا على الترتيب)

نظام ونمط الانتاج	المملكة العربية السعودية	دولة الكويت	الامارات العربية المتحدة	دولة قطر	دولة البحرين	سلطنة عمان	المجموع الاقليمي
١. الكهرباء							
أ. البخارية							
المفردة	٣٨٠٠	–	٧٥٠	٦٠	–	٢٨	٤٦٣٨
المزدوجة	٤١٢٥	٧١٢٤	٩٨٠	–	٩٢	٥٠	١٢٣٧١
المجموع:	٧٩٢٥	٧١٢٤	١٧٣٠	٦٠	٩٢	٧٨	١٧٠٠٩
ب. الغازية							
المفردة	١١٣١٤	٤٧٢	١٥٠٠	٣٤٠	٨٦٥	٨١٧	١٥٣٠٨
المزدوجة	٨٠	–	٥٥٥	٦٩٥	٢٥	٥٤	١٤٠٩
المجموع:	١١٣٩٤	٤٧٢	٢٠٥٥	١٠٣٥	٨٩٠	٨٧١	١٦٧١٧
ج. المازوت							
المفردة	١٤٤٧	–	٥٠٠	٥٥	٤	٣١٢	٢٣١٨
المزدوجة	٢٠	–	–	–	–	–	٢٠
المجموع	١٤٦٧	–	٥٠٠	٥٥	٤	٣١٢	٢٣٣٨
٢. الماء							
أ. الومبنية							
المفردة	٩	–	٩	–	–	٢٨	٤٦
المزدوجة	٢٣٠٧	١٤٠٩	٧٠٠	٢٩٥	١١٥	٧٧	٤٩٠٣
المجموع:	٢٣١٦	١٤٠٩	٧٠٩	٢٩٥	١١٥	١٠٥	٤٩٤٩
ب. التناضحية							
المفردة	٩	–	–	–	٤٥	١	٥٥
المزدوجة	٦٨	–	–	–	–	–	٦٨
المجموع	٧٧	–	–	–	٤٥	١	١٢٣
ج. الضغطية							
المفردة	٢	–	–	–	–	١	٣
المزدوجة	–	–	–	–	–	–	–
المجموع:	٢	–	–	–	–	١	٣
المجموع الكلي							
١. الكهرباء	٢٠٧٨٦	٧٥٩٦	٤٢٨٥	١١٥٠	٩٨٦	١٣٦١	٣٦٠٦٤
٢. الماء	٢٣٩٥	١٤٠٩	٧٠٩	٢٩٥	١٦٠	١٠٧	٥٠٧٥

الشكل رقم : ١

القدرات المركبة لإنتاج الكهرباء والماء بمجلس التعاون لدول الخليج العربية



البحث

لبحث تنمية مصادر الماء الصالح للإستخدام يلزم تحديد مصادر القائمة. والتى تنقسم إلى قسمين أساسين هما:-

٠١ المصادر الطبعية ٠٢ المصادر الصناعية

وللماء إستخدامات عدة لذلك سيستعرضها البحث لتحديد معالم وسبل توفير وتنمية المصادر لكل إستخدام. ويمكن تقسيم الإستخدام إلى ثلاثة أقسام رئيسة هى:-

٠١ الزراعية، ٠٢ الصناعية، ٠٣ الحضرية.

هذا ويمكن تقسيم كل واحد من هذه الاقسام الثلاثة إلى شعبتين هما الإستخدام المباشر وغير المباشر. ففى الزراعة يمكن القول بأن المباشر هو الماء الذى يستخدم لرى المحاصيل التى يتم تناولها دون معالجة أى الخضر والفواكه بصفة عامة. أما فى الصناعة فالإستخدام المباشر هو الماء اللازم دخوله بالعمليات الصناعية. وفيما يخص الإستخدام الحضرى فالمباشر هو مايصل إلى جوف الإنسان كالشرب أو لدخوله بعمليات غسل المأكولات وإعدادها بما فى ذلك الطهى. ويبين الجدول (أ) المصادر القائمة للماء.

الجدول أ

المصادر القائمة للماء الصالح للإستخدام

الطبعية	الانتاج الصناعى
الانهار والبحيرات	التقطير التأثيرى
العيون والافلاج	التقطير الومضى
الآبار بأنواعها	التبادل الكهربى
الاحواز والسدود	النضح الكهربى
البحيرات والبحار	التناضح العكسى

(أ) لقد جرى تمييز هذا الجدول والذى يليه بالحرفين (أ) و (ب) على الترتيب لاهميتهما بين جداول هذه الورقة.

إن من دواعى ذكر البحيرات مرتين بالمصادر القائمة هو للتمييز بين البحيرات ذات الماء العذب الذى يصلح للإستخدام الحضرى والزراعى القائم بجانب الانهار ولترابطهما. إلا أن الاصوب أن يحل محل هاذين المصدرين الوديان والبرك لعدم وجود أنهار وبحيرات

بجزيرة العرب. ومرة أخرى مع البحار لبيان أن هناك بحيرات ذات ماء مالح سواءً قلت درجة ملوحته عن البحر أو حتى زادت عنه. إلا أن الواجب ذكر مواقع تجمع مياه الأمطار والسيول على الأراضى المالحة المنخفضة بدل البحيرات. كما وأن المبرر الذى دعى إلى ذكر البحار هو للتاكيد على أنها وحتى الآن صالحة لعدد من الإستخدامات الصناعية وخاصة غير المباشرة كاغراض التبريد أو مايمكن تسميته بدقة أكثر باللفظ أو الطرد الحرارى. ويسمى الماء المعاد من هذه العملية بالرجيع الحرارى للمنشئات الصناعية كمصاف النفط ومحطات إنتاج الكهرباء وإعذاب الماء. ومما يجدر بالايضاح هنا أن الاستخدام غير المباشر للماء بالصناعة يعنى عدم تلامس أو وصول هذا الماء إلى مسار الانتاج. أى أنه لايختلط به أبداً. إلا إذا ماحدث خلل فادح يؤدى إلى توقف الانتاج أو يستعدى تصحيح المنتج لاحقاً وفى حالات خاصة جداً. ويجدر بالذكر أن المجتمعات التى تعتمد على المصادر الصناعية للماء للاستخدام الحضرى والصناعى تستخدم ماء البحر إستخداماً مباشراً بصفة رئيسة لانتاج الماء المعذب.

ويمكن الآن إستعراض الوسائل الممكنة لزيادة كميات الماء الصالح للإستخدام سواءً من مصادره الطبعية أو بالطرق الصناعية لإنتاجه. ويبين الجدول (ب) تصوراً لما يمكن الاخذ به كمدخل لبحث تنمية مصادر الماء الصالح للإستخدام.

الجدول ب

تنمية مصادر الماء الصالح للإستخدام

الطبعية	الانتاج الصناعى بالمؤثرات
ترشيد الإستهلاك	الطبعية
إستصلاح الرجيع	البلورية
تنمية الموارد	الكيميائية
الإستمطار والإستدرار	الحيوية
الجلب والإستيراد	النووية

(ب) لقد جرى تمييز هذا الجدول والذى سبقه بالحرفين (أ) الجدول السابق و(ب) لهذا الجدول لاهميتهما بين جداول هذه الورقة.

وهذا الجدول هو أساس هذا العرض. لذا سيكتفى هنا بذكر عدد من جوانبه فوضع الترشيد على رأس القائمة الطبعية لتنمية المصادر المائية جاء لما لهذا الجانب من أهمية كبرى. ولذا سيعتمد كإحدى المدخلات الاساسية لهذا البحث. إذ أنه المصدر الدائم المتجدد والقابل للتطوير على الدوام. وبالمقابل فإن تذيل هذا العمود بالجلب والإستيراد هو لبيان محدودية جدواه ودرجة العول عليه كمصدر دائم وقصر أمده.

وعلى الجانب الآخر أى بعمود الانتاج الصناعى فقد جاءت المؤشرات الطبعية على رأس القائمة لسببين أساسين هما:

أولا : أن محاكات الطبيعة هو دائماً أيسر السبل بالانتاج.

ثانيا: أنه وكنتيجة حتمية للسبب الاول فإن المعارف الإنسانية تقف عند هذه الحدود فى هذه الايام بالإنتاج الصناعى للماء.

أما تذيل هذا العمود بالمؤشرات النووية هو للتأكيد بأن المصدر النووى لازال وسيبقى أقل المصادر أماناً. وخاصة بمنطقة الخليج لما أنعم الله عليها بأنعم أخرى منها النفط وما سيظل حتى بعد النفط ألا وهو دفء الشمس الساطعة بفضل وبركة من المولى القدير.

أقسام الإستخدام

تقف الزراعة على رأس قائمة إستخدامات الماء. وحسب تحديد المصادر القائمة بالجدول (أ)، فقد يأتى الإستخدام الصناعى بالمركز الثانى. وذلك متى ماأدخل بالحسبان إستخدام ماء البحر وقد يؤدى ذلك حتى إلى وصوله إلى المركز الاول. ويأتى الإستخدام الحضرى بالمركز الثالث عادة. أما إذا ما إستبعد إستخدام ماء البحر من مجمل الماء المستخدم للاغراض الثلاثة فقد يتقدم الإستخدام الحضرى على الاستخدام الصناعى. وقد يدل هذا التقدم بالمرتبة على أن المجتمع يتمتع بقدر محدود من التطور الصناعى. كما وقد يكون دلالة واضحة على الإستهلاك غير المرشد للماء بالإستخدامات الحضرية. وكمثال لمنطقة الخليج يمكن سرد النسب المستخدمة بالاغراض الثلاثة بالمملكة العربية السعودية كما هو مبين بالجدول (٢).

جدول ٢

توزيع الماء بين الاغراض الثلاثة بالمملكة العربية السعودية

أغراض الاستخدام	الكميات(مليون متر مكعب سنوياً)	النسب المئوية
الزراعية	١٠٫٠٨٠	٨٤
الحضرية	١٫٥٦٠	١٣
الصناعية *	٣٦٠	٣
الاجمالى	١٢٫٠٠٠	١٠٠

* دون إحتساب المستخدم لاغراض التبريد أو لإنتاج الماء المعذب من البحر.

ومن معالم إعتماد الإنسان بهذا البلد على مصادره الذاتية إرتفاع الكميات والنسبة المئوية التى تذهب للأغراض الزراعية. وما لذلك من أثر على مستوى الإنتاج الزراعى. وخاصة مشروعات القمح العملاقة. ويجدر بالذكر هنا إعتماد الزراعة الكلى على المصادر الطبعية للماء دون اللجوء إلى المعذب من البحر. والذى يوجه نحو رفاه الإنسان للإستخدامات الحضرية أساساً. وكذلك للأغراض الصناعية حسب الحاجة.

المصادر الطبعية

الترشيد

ما دامت الصناعة قد تحولت إلى المصدر الوافر ألا وهو البحر كمصدر أساس بمنطقة الخليج سواءاً الصناعى غير المباشر أو لاغراض إعذاب ماء البحر فقد يكون من المناسب التعرض لجانبين من جوانب وإمكانات الترشيد. أولهما تحول جزء من النشاط الزراعى عن المياه الجوفية والسطحية (رغم قلة الاخيرة) إلى البحر الوافر. ويعنى ذلك تطوير محاصيل تتحمل ملوحة ماء البحر متى مارويت به. فهناك العديد من الأبحاث والدراسة التى تعمل بهذا الإتجاه. لذا فالمأمول بهذه المنطقة لندرة مواردها السطحية ومحدودية مواردها الجوفية أن يتم التبنى والبذل بسخاء على هذه الابحاث والدراسات.

وثانيهما الحد من الإسراف بالإستهلاك على كافة المستويات والاصعدة. فالمنطقة بحاجة ماسة لتصويب مساراتها الإستهلاكية حفاظاً على ثرواتها ونصيب الاجيال القادمة من هذه الثروات. ويمكن هنا أيضا البذل بسخاء على دراسات وأبحاث الترشيد وتطوير المعدات والاجهزة والنظم. فالبحث والدراسة الميدانية التى إضطلع بها معهد البحوث بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن بالظهران خير مثال على ذلك. ولقد أدت هذه الدراسة التى نفذت لصالح الشركة الزراعية الشرقية إلى خفض إستهلاك المياه بالرى المحورى. كما وقد أدت الدارسة إلى التحسين الكمى والنوعى لإنتاج المحوريات الثلاث التى إجريت عليها الدراسة. هذا وسيتم تعميم نتائج هذه الدراسة على باقى محوريات الشركة الثمانين. وعليه فالمأمول أن يقوم المنتجون الزراعيون الآخرون بالاخذ بنتائج هذه الدراسة. وكذلك إجراء دراسات مكملة بما يتفق والطبيعة الإنتاجية لكل جهة من هذه الجهات.

وإن ذكر هذه الدراسة ماهو إلا للتمثيل على الامكانات المتاحة للبحث والدراسة. وكأساليب أخرى للترشيد بالمجال الزراعى يمكن ذكر الرى بالتنقيط والزراعة بالبيوت المحمية لخفض الفاقد بالبخر. وهناك بحوث ودراسات ومعارف تقنية ومعدات جديدة تهدف إلى خفض إستهلاك الماء بالاغراض الصناعية والحضرية. وكما سبق ذكره فالترشيد هو باكورة سبل زيادة الكميات المتاحة أى أنه الأساس بتنمية الموارد. والترشيد مصدر متجدد فمهما تم تبنية بهذا المجال يظل به المزيد ليستوعب لاحقاً نحو الإستخدام الامثل للماء. ويبين الجدول (٣) أهم عناصر الترشيد.

الجدول ٣

أهم عناصر الترشيد

العناصر	الإمكانات والمتطلبات
التحول نحو البحر الوافر	إجراء دراسات وبحوث لتطوير المحاصيل المناسبة
خفض الإستهلاك والفاقد	تحسين السبل والمعدات

الاستصلاح

إن القدر الأكبر من الماء المستخدم ينتهى كرجيع. وللرجيع صفات وسمات تدمغه بهذه الوصمة. لذا فمن المهم أن يجرى تحديد هذه السمات. فالرجيع الحضرى يتصف عادة بتلوثه الحيوى وحتى الكيميائى فى هذه الأيام. فالتلوث الحيوى هو إحتواء الرجيع على كميات من المواد والعناصر العضوية النشطة حيوياً. وهى غالباً ماتكون أحياءاً دقيقة (كالبكتيريا والفيروسات). كما وأن الرجيع الحضرى يحتوى على قدر من الملوثات العضوية الاخرى و خاصة المواد الداخلة بالتنظيف كمركبات الصابون وخلافه. وقد تحتوى على مقادير محدودة من المركبات اللاعضوية. ويشكل بعض من هذه المركبات والمواد خطراً ولها آثار سلبية على صحة الإنسان سوائاً عبر الإستخدامات الحضرية لاحقاً أو عبر دورة النبات والغذاء. لذا فإن هناك من يدعو إلى الإستصلاح الثلاثى المراحل كسبيل لإعادة الماء المستصلح بعد الإستخدام الحضرى ليكون مهيئاً لأغراض الرى وخاصة غير المباشر. أى أن يستخدم لرى المحاصيل القادرة على إستبعاد أو تحويل المركبات ذات الأثر السلبى. وكذلك لتستخدم بالمحاصيل التى تمر عبر عمليات معالجة أهمها الطهى. وأن تستبعد تماماً عن الإستخدام المباشر حضرياً كان ذلك أو زراعياً بالمحاصيل التى يتم تناول ثمارها كما هى، كالفاكهة والخضروات الثمرية كالخيار والطماطم أوالجذرية كالجزر والبصل أو الورقية كالخس والجرجير.

أما الرجيع الصناعى فيجب إستصلاحه كذلك حتى ولو كان هذا الرجيع ماء بحر مالح. فإعادة الماء الرجيع إلى البحر أو حتى تركه ليتبخر على الأرض يؤدى إلى زيادة بالملوثات بالبيئة حتى ولو كان ذلك تلوثاً طبعياً كرفع درجة حرارة الماء. وفى مجال الزراعة فقد يكون هناك تداخل بين الإستصلاح والترشيد فخفض البخر والرى بالتنقيط قد يساهمان بالإستصلاح والترشيد بإتجاهين متعاكسين. إذ أن خفض البخر يوفر كميات أكبر ليعاد إستخدامها وقد تحتاج هذه الكميات الإضافية للإستصلاح. خاصة عندما تستخدم المواد الكيميائية بالتربة أو لإبادة الآفات الزراعية. ويجدر بالذكر بهذا الصدد بحث يهدف إلى الإستفادة من الكهربية الساكنة كوسيلة لخفض كميات المبيدات اللازم رشها على المزروعات. أما الرى بالتنقيط كأسلوب للترشيد فإنه لايساهم بخفض الإستهلاك وحسب بل ويساهم بخفض كميات الماء المراد إستصلاحه وبالتالى نفقات الإستصلاح. ويبين الجدول (٤) أهم جوانب الإستصلاح.

الجدول ٤

أهم جوانب الإستصلاح

مصدر الرجيع	الإمكانات والمتطلبات
زراعى	خفض كمياته ومحتواه الملوث وخاصة المبيدات،
صناعى	خفض كمياته ومحتواه الملوث كيميائياً وحرارياً،
حضرى	خفض كمياته ومحتواه الملوث الحيوى والكيميائى الضار.

تنمية الموارد

إن القصد بتنمية الموارد الطبعية هو البحث ودراسة إمكانات وجود طبقات جوفية مدرة لماء صالح للإستخدام بما يغنى عن إعذاب ماء البحر. كما ويلزم دراسة إمكانات زيادة المخزون الجوفى بإصلاح كثير من الآبار التى قد يثبت أن بها خلل يؤدى إلى تسرب ماء صالح للإستخدام إلى خارج الطبقة الحاوية له أو دخول ماء غير صالح إلى الطبقات المدرة. وضرورة إجراء دراسات لزيادة المخزون السطحى بإقامة السدود وخفض البخر بالطرق الصناعية. ويبين الجدول (٥) أهم جوانب تنمية الموارد الطبعية.

الجدول ٥

أهم جوانب تنمية الموارد الطبعية

الموارد	الإمكانات والمتطلبات
السطحية القائمة	تحسين كفاءة الإحتواء الفاقد،
السطحية المستحدثة	إقامة المزيد من السدود والخزانات.
الجوفية القائمة	تحسين الكفاءة ووضع التسربات منها وإليها.
الجوفية المستحدثة	البحث عن طبقات مدرة وإقامة سدود.
	تحويل المهدر السطحى إلى مخزون جوفى.

الاستمطار والإستدرار

قد يندرج تحت هذا العنوان عدد من الأفكار الشابتة حتى البعيدة المنال. وقد تؤدى بعض منها إلى إستحداث مصادر طبعية أو تحسين هذه المصادر. ومن أهمها الإستمطار. ويبين الجدول (٦) عدد من الطرق التى ورد لها ذكر بمجال الإستمطار والاستدرار.

جدول ٦

الإستمطار والإستدرار

الطريقة	الاعمال المطلوبة	نتائجها	التوقعات
٠١ الإستسقاء	"وإن لو إستقاموا على الطريقة لأسقيناهم ماءاً غدقاً"*		
٠٢ تغطية الصحارى	وضع طبقة داكنة	المطر	محتملة
٠٣ شق قنوات للماء المالح	إنشائية	الترطيب	محدودة
٠٤ ضخ ماء البحر إلى الجبال	إنشائية وطاقة	الترطيب	محدودة جداً
٠٥ أهرام الطل	أكوام من الصخور	الطل	ضئيلة للغاية
٠٦ التكثيف الصباحى	أجهزة تبادل حرارى	الطل	ضئيلة للغاية
٠٧ بناء جدار لرفع الجبال	مدنية هائلة	المطر	ضئيلة للغاية
٠٨ تنشيط البخر البحرى	سفن تمخر عباب بحر العرب	المطر	شبه مستحلية
٠٩ تحريك قطبى الارض	غير محددة الضخامة	المطر والثلج	مستحيلة

إن بكتاب الله سبحانه ترابط أكيد بين صلاح النية والعمل والدعاء من جهة والرخاء ونزول البركات على الإنسان من السماء بالجانب الآخر كما فى قوله تعالى فى سورة الجن*. ومن سنن الرسول الكريم المصطفى عليه أفضل الصلاة وأزكى التسليم "الإستسقاء". فعلى الإنسان أن يطلب الفضل من الله بنية خالصة صالحة فالدعاء الصالح حتى ولو كان بصلاح البعض وصلاتهم يرزق به الجميع لينزل الفضل من السماء. كما وأن شعوباً أخرى تطلب المطر بالرقص له. وقد يأتيها الفضل لصلاح نية وتوجه خالص. وقد يأتيها الفضل ليمتد الإنسان فى ضلاله والعياذ بالله من هذا الحال الأخير. وعلى الإنسان أن يسعى ليتحقق له الصفاء والنقاء. وعليه فى هذا المسار أن يكدح كدحاً لدنياه وأخراه.

قال تعالى "يأيها الإنسان إنك كادح إلى ربك كدحاً فملاقيه". ومن الكدح لدنياه البحث والدراسة والإعمار والبناء والتشييد مهما كان ذلك مكلفاً أو مضنياً. ولمّ لا؟ فقد سخر الإنسان عبر التاريخ لبناء أهرامات مصر ومسلاتها و "إرم ذات العماد التى لم يخلق مثلها بالبلاد". وقد ورد بأنها مدينة شداد بن عاد بن نوح الذى ملك الارض. وأنها مدينة بها قصره الذى شيدت أعمدتها ذهباً. فمكان هذه المدينة هو حسب ماروى أنها بالاحقاف على التخوم الجنوبية لصحراء الربع الخالى. فهل يعيد التاريخ نفسه بمدينة إرم وقصرها ذات العمد الذهبية؟ فلم لايكون وبعد ورودها بالقرآن بألف وأربعمائة سنة (وزيادة) أن يعود لها المجد؟ عندما يتم تغطية الجزء الاكبر من هذه الصحراء بطبقة داكنة اللون سوداء، لتمتص حرارة أشعة الشمس الدافئة (الحارقة). لكى ينخفض الضغط على أجواء مايقرب من ربع شبه الجزيرة العربية أو يزيد. فالمفترض أن يؤدى ذلك إلى إتجاه الرياح الموسمية الماطرة التى تغرق شبه القارة الهندية سنوياً إلى المنطقة الصحراوية الجافة. وقد يلى ذلك تغطية جزء من الصحراء الكبرى لتخرج قارة بأسرها من الجفاف والجوع والفقر.

أما الغرض من شق القنوات البحرية هو لإيصال الماء المالح إلى قلب الصحراء للترطيب وخفض الضغط والحرارة. وبالتالى إمكانية زيادة منسوب هطول الأمطار بتلك المناطق الداخلية. وعلى أقل تقدير إزدياد نسبة رطوبة الجو وهو ماورد ذكره بالقرآن عن إرتواء بعض الشجيرات بالطل. ولكى يصبح الحديث بهذا المنحى ذو مغزاً وجدواً يلزم إجراء دراسات وأبحاث للتأكد من الجدوى. ومع ذلك فإن التوقعات الأولية لاتدل على جدوى مثل هذا المشروع. خاصة وأن إقامة هذه القنوات وبعد ذلك الحفاظ عليها بالصحراء ستكون باهضة التكلفة.

أما ضخ ماء البحر إلى الجبال فإنه سيكون أكثر كلفة من قنوات ماء البحر لحاجة هذه المرافق لطاقة لضخ الماء. إلا أن البت فيه أصعب من المقترح السابق إذ لرفع الماء إلى الجبال عناصر تميزها عن القنوات المائية السابقة. ويبين الجدول (٧) هذه العناصر.

الجدول ٧

عناصر ضخ ماء البحر إلى الجبال

العناصر	أثرها
التبخر	الازدياد بفعل إنخفاض الضغط
الطاقة	إسترداد جزء من طاقة الضخ
المجرى	إمكانية شق قنوات بفعل المتبقى من فارق الارتفاع بعد المساقط.

أما ما ورد ذكره بالجدول (٦) تحت مسمى أهرام الطل فانه يرتبط بأسلوب عملت على بحثه ثم ترويجه بعض الجهات الأجنبية "طبعاً". وقد جائت الفكرة لما ذكر عن بقايا أكوام وجدت على البحر الأسود بشبة جزيرة القرم. وقيل بأن الأكوام هى بقايا تعود إلى ماقبل ٢٥٠٠ سنة. ولوجود قنوات أسفل هذه الأكوام حول مدينة فيودوسا جرى حساب للكميات التى كانت تتجمع بالفراغات البينية لصخور هذه الأهرام. وقد أورد المصدر أن هذه الأهرام وعددها ١٣ هرماً كانت مقامة على قاعدة أبعادها ٢٥×٣٠ متر وبإرتفاع ١٠ أمتار. وبقياس القنوات قدرت كميات الماء التى كانت تتجمع من الطل بالفراغات البينية لصخور كل واحد من هذه الأكوام بما يصل إلى ٥٥ ألف لتر (٥٥ متر مكعب) باليوم الواحد. وأشار المصدر إلى بقايا أكوام أخرى شرق فيودوسا وعلى مقربة من مدينة كرتش ببوغاز بحر أزوف. وتشهد هى الأخرى حسب ما أورده المصدر باستخدام هذا الإسلوب لإستدرار الماء.

ومع ذلك فمن المستبعد جداً أن تصبح هذه الطريقة ذات جدوى لتوفير الماء بالمناطق الحارة والجافة من الارض. فالدلالات لاتساند الاسلوب. وأول هذه الدلالات ماأورده المصدر ذاته عن فشل الباحث الفرنسى "شبتال" عام ١٩٢٨ ميلادية فى إستدرار كمية تذكر من الماء بواسطة ثلاثة أهرامات حجم الواحد منها ١٠ متر مكعب. فكمية الماء التى تمكن من جمعها بأفضل واحدة من أهراماته الثلاث لم يكن سوى قدراً يسيراً هو ١ر٢ لتر باليوم. وخابت آمال هذا الباحث لهذه النتائج. وثانيهما عدم ورود ذكر لمثل هذه الأهرام أو بقاياها بمنطقة الشرق الأوسط رغم أنها طاعنة فى الحضارة والتاريخ الإنسانى. وشواهد قدم تاريخ حضارة الإنسان بهذا الجزء من العالم شابت بدءاً بقوله تعالى "إن أول بيت وضع للناس للذى ببكة" الآية. وإنتقالاً إلى أهرامات مصر ومعابدها. ثم وجود أقدم ثلاثة مدن بهذه المنطقة بعد مكة المكرمة هى القدس وأريحا ودمشق. ومعلوم أن أصل عبادة الحجارة بالجزيرة العربية يعود إلى واحد من ذرية إسماعيل بن إبراهيم عليهما السلام، وهو من قرش أى جمع شتات آل بيت إسماعيل فهو من حمل معه فى بعض أسفاره شىء من صخور مكة أو ماحولها. ولولا ماسبق لكان بالإمكان القول أو الربط وحتى لو كان ذلك ضرب من الظن بين عبادة الصخور وأهرامات الطل. وثالث هذه الدلائل هو إنخفاض نسبة رطوبة الهواء وعدم تكون الطل إلا بمواسم محددة بأجزاء من المناطق الساحلية من الجزيرة العربية. فرغم ورود إرتواء الزرع بالطل كما ذكر بالقرآن فإن إعتباره كمصدر ثابت سيظل بعيد المنال بهذه المنطقة.

وهكذا فالطريقة التى تلى أهرام الطل بالجدول (٦) يمكن إستبعادها كذلك. وهى طريقة بحثها وتولى دراستها عدد من الباحثين الغربين وهى طريقة التكثيف الصباحى. والتكثيف الصباحى هى طريقة أخرى لإستدرار الماء من رطوبة الهواء.

وحدث أن جاء من يقول أنه بالإمكان بناء جدار هائل فوق جبال السروات بالحجاز وعسير. وذلك بغرض حجب الرياح. وليتحقق هطول مزيد من الأمطار. ولايمكن أن يعتبر مثل هذا المقترح أمراً جاداً كحل لمشكلة الجفاف عبر القرن الخامس عشر الهجرى الذى قد دخل عقده الثانى، إلا أنه تلزم الإشارة لقيام مثل هذا العمل بقارة أستراليا. ولكن هناك فارقاً هاماً بين جبال الحجاز التى تقابل البحر الأحمر وشواطىء القارة الإسترالية. إذ يقابل الشواطىء الإسترالية مسطحات مائية هائلة مقارنة بالبحر الأحمر.

ويلى هذا المقترح مقترح أكثر غرابة وذلك لتمويل سفن تمخر عباب بحر العرب جنوب الجزيرة العربية لتنشيط البخر ورفع الضغط. ومن المسببات التى تستبعد هذه الفكرة هو أن التحكم بإتجاه السحب المنشطة نحو الشمال أمر شبه محال حتى ولو تحقق البخر المضاعف وتكونت السحب المستنشطة.

وآخر ماقيل أن فريق بحث قام بإقتراح لدراسة وبحث إمكانات تحريك قطبى الارض الجغرافيين. فالمعلوم أن القطبين سواءاً الجغرافيين أو المغناطيسيين ليست ثابتة تماماً. إذ أنها تتحرك حركة ضئيلة للغاية. وبها يفسر العلماء تغيرات المناخ على وجه الأرض عبرآلاف بل وآلاف آلاف السنين.

وعوداً إلى صدر الجدول الثامن لإلقاء مزيد من الضوء على مشروع التغطية (التدكيـــن والتحويل إلى ماصات حرارية) للمساحات الشاسعة من الصحارى. فقد يكون هذا المشـــروع ذو جدوى متى ما أمكن توفير المال والتقنية اللازمة لذلك. ومما قد ينقل هذا المقتـرح من مصاف المشروعات الخيالية إلى أرض الواقع هو أن الغطاء المقترح إذ ما وضع علـــى الرمال دون تسوية للكثبات الرملية فمن الممكن الإ ستفادة منها كأحواض لجمع المطـــر النازل عليها بفضل من الله وبركته. وهكذا يمكن زراعة الأرض. ومتى ما قامت الزراعـــة على هذه الأرض إنتفى الغرض من الغطاء الداكن. إذ ستقوم الزروع مقام الغطاء الداكـــن لإمتصاص الحرارة. ولذلك فلن تقوم الحاجة لتجديد هذا الغطاء إلا عبر فترة محـــددة أى أن الحاجة للغطاء ستزول عبر عقد أو عقدين من الزمان. وقد أمكن إمتصاص الحـــرارة بفعل زيادة المسطحات الخضراء بالجنوب الغربى للولايات المتحدة وخاصة بولاية تكساس.

الجلب والإستيراد

هناك العديد من مقترحات الجلب وإستيراد الماء من الخارج. وقد يعود بروز مثل هـــذه المقترحات قبول المنطقة لواقع إستيراد أى شىء وكل شىء وحتى اللاشىء. وهكذا صـــارت دعوات جلب وإستيراد الماء أمر يستحق المناقشة والدراسة وحتى البحث. وللإستيـــراد تبعات لايمكن معها القبول به مهما كانت التقنيات متسيرة والتكاليف متدنية. ويبيـــن الجدول(١٠) هذه التبعات.

الجدول ٨

تبعات الجلب وإستيراد الماء من الخارج

التبعات	آثارها
الإستمرارية	متقطعة حتى ولوكانت بشق القنوات
التكلفـــة	غير مضمونة الدوام على حالها.
مسار الجلب	غير مضمونة الأمان (تبعات إستراتيجية)
مصادرالجلب	قابلة للتذبذب لإسباب مناخية أو إقتصادية أو حتى سياسية.
النوعيـــة	عدم ضمانها على الدوام.

ومع كل ماسبق فإن مشروعات الجلب التى سبق وأن طرحت تستحق سرداً حتى يمكن بيان صحـــة التبعات المشار إليها بالجدول السابق. لذا وضع الجدول (٩) ليبين وسائل الجلب التـــى جرى طرحها على مدى ماقد يصل إلى نصف قرن من الزمان.

الجدول ٩

المشروعات المقترحة للجلب

وسائله	سماته ومعالمه
الناقلات	متقطع دائماً
الأنابيب	قابلة للعطل فالتوقف
القنوات	قابلة للردم فالتوقف
الجليد	متقطع على الدوام

هذا وقد سبق إقتراح أسلوبين للجلب بالناقلات فإما أن تخصص ناقلات عملاقة لهذا الغرض وحسب أو أن تستخدم ناقلات النفط فى طريق الإياب. وعند إستخدام ناقلات النفط إقترح أن يتم الشحن فى أكياس لدنة تلتصق بجدار الوعاء الحديدى عند شحن النفط فى طريق الذهاب إلى أسواق العالم. ولما كان الجلب بالناقلات من مصب الأنهار فإن نوعية الماء إضافة إلى الجوانب الأخرى التى وردت بالجدول (٨) ستكون من التبعات التى يجب أن يحسب لها ألف حساب عند التبنى وخاصة نقاء الماء ودرجة تلوثه بالملوثات الحضرية والصناعية والزراعية.

وحول مشروعات الأنابيب يمكن إستعراض مقترحات خمس مبين مصادرها ومسارها بالجدول(١٠).

جدول ١٠

مشروعات الأنابيب

المصدر	المسمى - الموقع	المسار	الوجهة
النيل	السد العالى	على اليابسة وتحت البحرالأحمر	السعودية
سيحون وجيحون	السلام التركى	على اليابسة عبر الحدود	دول المنطقة
السند	سد بالجبال	على اليابسة وتحت خليج عمان	دولة الإمارات
جبال إيران	جنوب غرب إيران	على اليابسة وتحت مياه الخليج	دولة قطر
دجلة والفرات	قرنة النهرين	على اليابسة عبر الحدود	دولة الكويت

إن التحفظات الواردة بالجدول (٩) قائمة عند بحث الجلب عبر مشروعات الأنابيب. وخاصة مايتعلق بالتكلفة وظروف المصادر ومسار الجلب.

وخلال العقد الثامن من القرن الهجرى الماضى، أى خلال العقد الخامس للقرن العشرين

جاء ذكر لثلاثة مشروعات أحدها لجلب المياه عبر قناة إلى شبه الجزيرة من نهر الفرات والثانى لتغطية مدينة على الخليج لشدة حرها وتكييف المدينة بالكامل. أما المشروع الثالث فقد كان الجسر الذى إقترح بنائه لربط أرخبيل البحرين بشرق الجزيرة. واليوم تحولت مشروعات الجلب من الفرات وكذلك "المدينة المكيفة" إلى رماد بعد أن صارت فكرة الجسر طريقاً يسلكه الناس بالسيارات والشاحنات واقعاً ومعلماً حضارياً وشاهداً آخر على أنعم الله على هذه الأرض بأهلها.

وتجدر الإشارة هنا مرة أخرى إلى أن شق القنوات سيظل أسلوب غير مضمون لإحتمالات الردم بفعل الرمال وخاصة بنهاية الخريف وفصل الشتاء لإشتداد الرياح خلال تلك الفترات. وتواكب ذلك مع إنحسار الماء وجفاف أو نضوب بعض الروافد والمناهل ومنابع الأنهار.

ويبقى بعد ذلك جلب الجليد أو جبال الثلج وخاصة من القطب الجنوبى للأرض إلى شواطىء شبه الجزيرة العربية. ولهذا الأسلوب تبعاته كذلك كما هو بالجدول (١١).

الجدول ١١

جبال الثلج القطبية

التبعات	آثارها
القطر (السحب)	تكاليفه والقدرة على التحكم به.
البيئة	التغييرات المناخية على البيئة وخاصة التاثيرات على أحياء البحر عبر المسار.
الإيصال	عبور باب المندب ومضيق هرمز.
التقطيع الحرارى	إدخال صفائح ثلجية قائمة عبر المضائق.
الذوبان	الإحتواء بأكياس عبر المسار ثم ضخ الماء من أحواض الجمع قبالة الشواطىء.
أخرى	راجع الجدول (١٠)

الانتاج الصناعى للماء

ويقصد بالإنتاج الصناعى أساساً التحسين النوعى لحالة الماء عما هو عليه بالطبيعة. إلا أن آخر هذه الطرق الصناعية قد ينتهى بالتفاعل النووى لمكونات الماء أى أنه الإنتاج الفعلى لجزيئات الماء بتركيب عنصريه وهما الاكسجين والهيدروجين. وخلافاً لذلك مايتعارف عليه بالمؤثرات النووية هذه الايام فهى طرق طبعية يستخدم بها التفاعل النووى كمصدر للطاقة لاغير وهو ما أشير إليه سلفاً بأنه أقل الطرق أماناً.

المؤثرات الطبعية

إن طرق الإعذاب بالمؤثرات الطبعية عديدة ولكن يمكن وضع جدول لبيان أهم أنواع هذه الطرق.

الجدول ١٢

الإعذاب بالمؤثرات الطبعية

الطريقة	المستوى التقنى	إمكانات التطوير
التقطير	مطورة جداً	التبادل الحرارى، التصاميم والدمج، الطاقة الشمسية.
التناضح العكسى	مطورة إلى حد ما	الاغشية والمعالجة، التصميم والسبائك.
النضح الكهربى	مطورة إلى حد ما	إزالة الإستقطاب.
التجميد والإذابة	تحت الدراسة والبحث	قيام وحدات تجريبية.
الغرز الكهربى	مطورة للصناعة فقط	خفض كلفة الفصائل.
النضح البخارى	تحت البحث والدراسة	القيام بتطبيقات عملية.
الغرزالكهرومغناطيسى	تحت البحث والدراسة	القيام بتطبيقات عملية.

التقطير

إن تقنيات الإعذاب بالتقطير هى أكثر الطرق المعروفة تطوراً. ومع ذلك فالنواحى الثلاثة المبينة بالجدول (١٢) تلخص مجالات متاحة للتطوير. ولبيان ذلك يلزم تقسيم التقطير إلى أقسامه الرئيسة. ويبين الجدول (١٣) المستوى التقنى وإمكانات تطوير طرق التقطير المعروفة.

الجدول ١٣

طرق التقطير

صور الطاقة المستخدمة	المستوى التقنى	إمكانات التطوير
حرارية حركية	مطورة للغاية	التبادل الحرارى
حركية بالكامل	مطورة للغاية	رفع السعات
إمكانات الدمج	محدودة التطوير	التصاميم

ومما يجدر بالبيان أن لكل أسلوب من أساليب التقطير أنماط وتقنيات إنتاجية. ويبين الجدول (١٤) أنماط وتقنيات الطرق الحرارية الحركية.

الجدول ١٤

أنماط التقطير الحرارية الحركية

النمط	أهم ميزاته	أهم تبعاته	رفع السعات
الشمس	كفاءته الحرارية عالية	الحجم والمسطحات	تحتاج إلى مساحات كبيرة.
التأثيرى	كفاءته الحرارية عالية	محدودة السعات	قابلة للتطوير.
الومض	جيد الكفائة الحرارية،	الترسبات الملحية،	تطبيقات عملية لخفض.
	وسعاته كبيرة	الكفائة الحرارية	وحتى إزالة الترسبات.
		بالنظم المفردة	وتحسين التبادل الحرارى.
الضغط	عالية الكفائة الحرارية	محدودة السعات	إمكانات الرفع متاحة.
الدمج	مرتفعة الكفائة	محدودة السعات	بحاجة إلى التطوير الشامل.

إن أهم الإمكانات المتاحة أمام الأنماط السابقة لتطويرها هو رفع سعات الإنتاجية للأولى والثانية والرابعة. هذا وقد يكون السبيل إلى ذلك عبر الدمج وتحسين التبادل الحرارى

ويجدر بالذكر أن التقطير الشمسى هو أرخص الأساليب والأنماط والطرق قاطبة من حيث كلفة الطاقة. وذلك لكون أن مصدر الطاقة به طبعى. وهو أقرب صور محاكاة الطبيعة. إذ أن جزء التبخير به طبعى بحت بفعل حرارة الشمس. أما الجزء المحاكى فهو التكثيف الذى يتم على الجانب الداخلى من السقف المائل والشفاف لوعاء التقطير. ومن أهم مايتصف به هذا النمط هو أنه لازال محدود التطوير والسعات الإنتاجية وكذلك حاجته لمساحات شاسعة للإنتاج. وللدلالة على المساحات المرادة يمكن ذكر حقيقة أن مساحة سطح البحر والبحيرات يصل إلى حوالى ثلاثة أرباع وجه الأرض كله.

أما النوع الحركى البحت فهو ذو نمط واحد هو النمط الضغطى وهو محدود الجدوى والسعة الإنتاجية وليس أمام هذا النظام من فرص وإمكانات للتطوير بمعزل عن الأنماط السابقة التى ذكرت بالجدول (١٤). وهى إمكانت التطوير لرفع السعات الإنتاجية والتبادل الحرارى عبر دمجه كنمط مع الأنماط السابقة. مما يعنى أن النمط الحركى البحث غير مهيء لرفع قدراته الإنتاجية. إذ أن النمط القابل للدمج هو النمط الضغطى الحرارى الحركى وليس الحركى البحت.

وصورة أخرى لتغير حالة الماء هى عملية التجميد. وهنا أيضا يتحقق تجمد الماء دون الملح الذى بالمحلول عندما يتجمد جزء منه. وليلى ذلك إذابة الثلج الذى يكون أقل ملوحة من المحلول بكثير. ويرى كثير من الباحثين أن الطاقة اللازمة للتجميد هى أقل بكثير من الطاقة اللازمة للتقطير. ورغم ذلك فأمام التجميد خطوات لازالت باقية حتى يصل إلى طور التطبيق العملى بالمرافق ذات السعات الكبيرة. هذا وقد سبق ذكره وإستخدامه على الأرجح لإنتاج قدر محدود من الماء للشرب على ظهر السفن المبحرة بالأجواء الباردة. وهناك نمطان للتجميد والإذابة كما هو مبين بالجدول (١٥).

الجدول ١٥

التجميد والإذابة

النمط	سماته	تبعاته	إمكانات التطوير
المباشر	منخفض الطاقة	محدود التطوير	تحسين المعدات ورفع السعات
غير مباشر	منخفض الطاقة	محدود التطوير	تحسين المادة الحاوية ورفع السعات

وقبل الإنتقال إلى الطرق الطبعية الاخرى للإعذاب يلزم التعرض لحقيقة أن الانواع الحرارية الحركية للتقطير تتمتع بقدر هائل من إمكانات التطوير بالتوازى والتداخل مع إنتاج الكهرباء بالطرق الحرارية وخاصة بالعنفات البخارية. كما وسيتم التعرض لسبل دمجها مع بعضها ومع إنتاج الكهرباء. إضافة إلى إمكانات الدمج الممكنة بين التقطير والتناضح العكسى الذى سيتم بحثه فيما سيلي. ولكن قبل ذلك فإنه يلزم القول أن كافة سبل التقطير هى صورة واحدة لتغيير الحالة الطبعية للماء من سائل إلى بخار وبالعكس. وأن الإعذاب يتحقق كخاصية هامة من خواص الماء إذ أنه عندما يتبخر فإن الماء ينفصل عن المحلول الملحى إلى الحالة الغازية دون أملاحه. وهكذا يتحقق الإعذاب بتكثيف البخار الذى يكاد أن يوصف بأنه ماء خالص لايحتوى إلا على قدر يسير من الأملاح. ولا يعتمد درجة نقاء الماء المنتج على كمية الطاقة اللازمة بل إنها تتاثر بالطرق والوسائل التقنية والهندسية للتقطير.

النضح

وبعد تحويل الحالة يمكن إستعراض طرق النضح وأهمها النضح عبر الاغشية بفعل الضغط الواقع على المحلول الملحى. إذ يتم بهذه الطريقة وبفعل الضغط عبور الماء ومعه قدر محدود جداً من الاملاح عبر غشاء شبه نفاذ. ويطلق على هذه الطريقة التناضح العكسى لإن الوضع الطبعى عند تساوى الضغط الواقع على المحاليل جانبى غشاء شبه نفاذ يؤدى إلى إنتقال الماء نحو المحلول الاكثر تركيزاً حتى يتحقق التوازن. ويحدث ذلك تبعاً للضغط الضمى الذى يكون أعلى بالمحلول الاقل ملوحة. وذلك لكون جزيئات الماء بالمحلول الاكثر تركيزاً تكون أكثر تقييداً. أما جزيئات الماء بالمحلول الاقل تركيزاً فهى أكثر مقدرة على الحركة. ولكى يتم الإعذاب للمحلول الملحى يتم ضغط المحلول الأعلى تركيزاً حتى يتجاوز الضغط الضمنى للمحلول الاقل تركيزاً، وهكذا يتحقق إتجاه الماء بعكس مساره الطبعى عبر غشاء شبه نفاذ.

وقد بدأت نظم التناضح العكسى تستخدم بالبدأ بصناعة إعذاب ماء الآبار الاقل ملوحة من ماء البحر بكثير. كما وإستخدمت بصناعات أخرى كصناعة الورق وتركيز العصير وصناعة الالبان. وخلال العقدين الماضيين تطور التناضح العكسى ليصبح قادراً على إعذاب ماء البحر. ومع ذلك فالسعات الإنتاجية المطلوبة وضخامتها تضع عدد من العقبات بطريق التناضح العكسى لإعذاب ماء البحر.

وهناك عوامل مشتركة ستحسن من أداء التناضح منها تطوير التصاميم والتشغيل عند ضغط أقل وعلى مقربة من الضغط الضمنى للمحاليل الملحية. وذلك بتحسين الاغشية وتطوير أنواع جديدة أفضل تكون قادرة على إستيعاب قدر أكبر من العوالق بالمحلول الداخل. وإمكانات تنظيف الاغشية بشكل أفضل يعيد إليها قدراتها الإنتقائية لنضح الماء وقليل من الاملاح. مع الحفاظ على ضغط غير متزايد مع العمر التشغيلى للأغشية. ويبين الجدول (١٦) التبعات التى تؤثر على التناضح العكسى لماء البحر وإمكانات التطوير.

الجدول ١٦

تبعات التناضح العكسى

التبعة	مسبباتها	إمكانات التطوير
السعات	التعدد الهائل للمسارات الانتاجية	ـ بناء أوعية أضخم، ـ دمج الضخ.
المعالجة	العوالق الصلبة والعضوية	ـ تحسين الأغشية.
التآكل	إرتفاع الضغط والتركيز	ـ تحسين السبائك، ـ المعالجة الكيميائية.
الطاقة	إرتفاع الضغط والتركيز	ـ خفض فارق الضغط، ـ إسترداد الطاقة.

أما السعات فهناك حاجة إلى بناء أوعية تستوعب عدد أكبر من مجموعات الأغشية. ومن أهم ماتتميز به طرق التناضح العكسى لإعذاب ماء البحر هو الحاجة للرفع الهائل لضغط ماء البحر الوارد. كما وأن هذا الضغط يبقى بما يتجاوز نصف الماء الداخل أى بالمحلول الملحى. وتسهيلاً للتعبير عن ذلك يمكن القول بأن الضغط المضاف يفقد لإعذاب ماينضح من الماء. ولذلك فالشائع الآن هو إسترداد الطاقة من المحلول الملحى (الرجيع الملحى). وذلك بإمرار المحلول عبر جهاز يعيد الضغط إلى حركة كالمضخات المقلوبة. فالمضخات هى معدات تحول طاقة حركية إلى ضغط ولذلك سميت هذه المعدات عندما تمد بالضغط لتنتج الحركة بالمضخات المقلوبة. وتطوير المضخات المقلوبة وماشابهها بالاداء هو مجال جار تطويره بصناعة التناضح العكسى. إذ من الصفات المميزة كون الطاقة اللازمة للإعذاب تتناسب مع درجة الملوحة لإرتباطها بالضغط اللازم للتناضح العكسى. وهناك مقترحات عدة للإستفادة من الضغط أو لخفض الضغط الأولى اللازم للتناضح العكسى. ويبين الجدول(١٧) هذه المقترحات حسب ترتيب إمكانيات تطويرها.

الجدول ١٧

مقترحات لخفض الضغط وإسترداد الطاقة
بالناضحات العكسية لإعذاب ماء البحر

المقترح	المستلزمات البحثية والفعلية
تحسين الأغشية	أبحاث ودراسات ومحطات تناضح تجريبية.
تحسين الإسترداد	أبحاث ودراسات ومحطات تجريبية.
الدمج مع التقطير	دراسات ميدانية ووحدات تجريبية للإثنين.
التناضح بالأعماق	دراسات نظرية ومرافق التناضح بقاع البحار.

فتحسين الأغشية هو مايراد به أن يصل الضغط المطلوب إلى حدود فارق الضغط الضمنى للمحلولين على جانبى غشاء شبه نفاذ. فصناعة التناضح بالوقت الحاضر تعانى من أن الضغط المراد للإعذاب يبلغ حوالى ثلاثة أضعاف أو أكثر للفارق بين الضغط الضمنى للمحلولين بجانبى الغشاء. ولذا فإن أبحاث تجرى لتطوير أغشية تنضح الماء تحت ضغط قريب لفارق الضغط الضمنى (أسموزى). وأبحاث أخرى تجرى لتحسين معدات إسترداد ضغط الرجيع الملحى وتحويله بكفاءة أعلى إلى حركة نافعة. أما الدمج فإنها لازالت فى بداياتها. فهناك العديد من المقترحات بهذا الصدد.

والإعذاب بالأعماق يهدف هو الآخر لخفض الطاقة اللازمة للتناضح العكسى. إذ سيتم النضح العكسى تحت تأثير عمود السائل المتمثل بالبعد بين موقع وحدة الإعذاب بالقاع وسطح البحر. ولينتقل الناضح إلى خزان هناك. ويضخ الماء الناضح من الخزان المثبت بالأعماق إلى خزانات على الشاطىء أو على سطح البحر. وذلك بفرض خفض طاقة الضخ عن مايلزم لضغط ماء البحر الداخل إلى أوعية التناضح إلى القدر المراد لضخ الماء الناضح إلى السطح. فكفاءة الأغشية تتراوح بين ٣٠ ـ ٤٥ بالمائة ومقدار الخفض بالطاقة سيكون بنسبة تتراوح بين ٥٥ـ٧٠ بالمائة (بعكس الترتيب بنسبة الإعذاب). كما وسيؤدى ذلك إلى عدم الحاجة إلى مضخات لرفع ضغط الماء الداخل إلى أوعية التناضح.

إضافة إلى ماسبق فقد ورد ذكر للتآكل وأسبابه بالجدول (١٦) وإمكانات تحسين السبائك التى تخفف من تأثير التآكل تحت الضغط المرتفع. لذا لزمت هذه الإشارة إليها.

أما النضح الكهربى فهو الإعذاب تحت تأثير قطبين كهربيين هما الموجب والسالب وفى وجود أغشية ذات نفاذية إنتقائية. فأغشية النضح الكهربى إما أن تكون أغشية ذات كهربية موجبة وبالتالى تسمح للشوارد السالبة للأملاح بالمرور ولذلك تسمى بالأغشية السالبة رغم أنها فى الحقيقة أغشية موجبة الكهربية. وإما أن تكون الأغشية ذات كهربية سالبة ولذلك فإنها تسمح بمرور الشوارد الموجبة للأملاح وهكذا فإنها تعرف بالأغشية الموجبة تبعاً لخاصية التمرير.

وغالباً ماتوجد هذه الأغشية فى تتابع ضمن أطر مربعة أو مستطيلة. ويوجد القطبان الكهربيان على طرفي أزواج متناوبة من هذه الأغشية. وأهم مايواجه هذه الطريقة من صعوبات هو الإستقطاب ويقصد به تجمع الشحنات غير المرغوبة قرب الغشاء المشابهة لها، ليس بفعل الغشاء بل لتأثر الشحنات بالقطبين الكهربيين. ولذلك فإن تطوير حدث لهذه الطريقة هو إجراء المبادلة بين القطبين لإزالة الإستقطاب. وقد أدى ذلك إلى تبادلية للمسافات البينية للأغشية وبالتالى مسارات المحاليل المركزة (أى المحلول الملحى) والمخففة (أى الماء المعذب). ويبين الجدول (١٨) إمكانات التطوير الواجب الإتجاه إليها بهذه الطريقة.

الجدول ١٨

الاعذاب بالنضح الكهربى

العناصر	إمكانات التطوير
التصميم المأطر	التحول نحو أوعية أسطوانية إن أمكن لخفض التسربات.
الإستقطاب	تحسين التبادلية مع الحفاظ على نوعية المنتج.
الطاقة اللازمة	فرغم صغرها فقد يؤدى تحسين الأغشية والتصميم إلى تحقيق وفر.

هناك أوجه شبه بين النضح البخارى و التناضح العكسى من جهة وبينه والنضح الكهربى من جهة ثانية والتقطير من جهة ثالثة. فوجه الشبه بينها وبين النضح الكهربى هو إنتقائية الغشاء المستخدم. فأغشية النضح البخارى تعرف بالعازفة عن الماء السائل. أى أنه إذا ماحدث وأن سخن الماء بحيث يتبخر جزء منه حتى ولو ضئيل للغاية لإمكن أن يصل هذا البخار إلى سطح الغشاء بسهولة ويسر نظراً لطرد الغشاء للماء السائل أى المحلول الملحى. ووجه التشابه بين النضح البخارى والتقطير.

يمكن بحقيقة حدوث البخر فالتكثف على جانبى الغشاء. أما وجه الشبه مع التناضح العكسى هو مرور بخار الماء دون الأملاح التى بالمحلول المراد إعذابه. ولا تزال هذه الطريقة فى مراحلها الأولية أى أنها تحت البحث والدراسة.

أما الغرز الكهرومغناطيسى فهو بتمرير المحلول الملحى بين جدارين يمثل كل منهما قطباً مغناطيسياً. وعبر المسار بين الجدارين يزداد تركيز الشوارد ذات الكهربية الموجبة جهة الجدار السالب. أما الشوارد ذات الكهربية السالبة فإنها تتركز جهة الجدار الموجب. وبذلك يتكون مسار بالوسط بين الجدارين به الماء الذى يحتوى على قدر محدود من الأملاح. وترتبط كفائة الإعذاب هنا بطول المسار وقوة المغناطيس. وهكذا يمكن القول بأن نقاء مائها المعذب يتناسب مع الطاقة المستخدمة فى حالة إستخدام مغناطيس كهربى. ولاتزال هذه الطريقة فكرة أولية جداً والابحاث التى أجريت عليها محدودة وغير منشور عنها إلا اليسير.

الإعذاب البلورى (التميوء)

بعد المأثرات الطبعية يمكن أن يشار إلى المأثرات الاخرى ومنها البلورية. فالإعذاب بالمؤثرات البلورية هى الاخرى فكرة لاتزال بمراحلها الأولية جداً. وتعتمد هذه الطريقة على إحتواء الماء خارج المحلول الملحى ضمن مركب قادر على التميؤ لكون المركب تواق لإحتواء الماء. والمقصود بالتميؤ هو دخول الماء ليصبح جزءاً من التركيب البلورى للمادة المضافة إلى المحلول الملحى. ومتى ماكانت هذه البلورات المتميأة غير قابلة الذوبان بالمحلول أمكن فصلها وهى محتوية الماء. وليلى ذلك إستخلاص الماء بإزالة التميؤ. ولتستخدم البلورات مرة أخرى لدخول المحلول الملحى وحمل الماء ثم فصلها عن المحلول وإستخلاص مائها وهكذا دواليك.

المأثرات الكيميائية

يبين الجدول (١٩) إحتمالات الإعذاب بالمأثرات الكيميائية.

الجدول ١٩

إحتمالات الإعذاب بالمأثرات الكيميائية

الطريقة	الحالة القائمة	إستخداماتها	إمكانات التطوير
الإحتواء الكهربى	مطورة	صناعية	تحسين الفصائل (Resins).
التحليل الكهربى	مطورة	صناعية	إزالة الإستقطاب والفصل.
التفاعل الكيميائى	غيرمعروف الأبعاد والنتائج وهو لازال بحاجة إلى البحث والدارسة.		

الإحتواء الكهربى هو فى الحقيقة تبادل الشوارد بتفاعل كيميائى وتستخدم لفصل شارد محدد بفصيل (على وزن فسيل النخل) معين. أى أن لكل شارد من شوارد الأملاح المذابة فصيل يمكن به فصل هذا الشارد. وهى طريقة تستخدم لفصل بعض الشوارد. ولقد تم تطويرها إلى مستوى جيد إلا أن إستخدامها لايزال محدوداً حتى الآن للأغراض الصناعية بصفة رئيسة. ومع ذلك فإمكانات التطوير بأنواع وكلفة الفصائل وإستنشاطها مازالت كبيرة. وتعتمد هذه الطريقة أساساً على الخاصية السطحية للزوب أى إلتصاق الشوارد الملحية بسطح فصيل معين.

أما التحليل الكهربى فهو أسلوب معروف منذ عدة عقود. إلا أن إمكاناتها التقنية محدودة للغاية نظراً لتبعة الاستقطاب وهى مشكلة ناتجة عن تراكم نواتج التفاعل الذى يتم عبره تحويل شوارد الأملاح إلى مركبات وعناصر عند القطبين الكهربيين. فهذه الطريقة يمكن تشبيهها بأنها كبطارية سائلة تعمل بالعكس. أى أنها تمد بالكهرباء ليحدث التفاعل. وهو عكس مايحدث بالبطاريات التى تولد تياراً كهربائياً مستمراً نتيجة لتفاعلات عن القطبين (المصعد والمهبط). كما وأن الطاقة اللازمة للإعذاب تتناسب مع كمية الأملاح أى أن نقاء المنتج يرتبط بالطاقة اللازمة مباشرة. لذلك فإن إعذاب ماء البحر بهذه الطريقة قد يكون مكلفاً لهذا السبب وسببين آخرين. أحدهما مشكلة الإستقطاب. وثالثة الاسباب هو إمكانات فصل الماء المعذب. وقد يكون بالإمكان تطوير هذه الطريقة بالتخفيف من هذه المؤثرات السلبية.

وفيما يخص التفاعل الكيميائى فقد يكون غير مباشر أى بوجود وسيط للتفاعل. بأن يتم تطوير مادة قابلة للتفاعل مع الاملاح وفصلها عن المحلول الملحى. وهذا باب لم يطرق بعد. أو على أقل لم يدرس جدوى حدوث مثل هذه التفاعلات وإنتاج ماء معذب بالكميات المادة ولكلف مناسبة المرادة وبتكاليف.

المؤثرات الحيوية

وبعد المؤثرات الكيميائية يمكن التطرق إلى المأثرات الحيوية وهو الاخر باب قد بدأ بطرقه مؤخراً. إذ أن هذا الإحتمال ورد بمقال وورقة ومراجعة خاصة تم إعدادها خلال الاعوام القليلة الماضية.

وخلاصة الإعذاب الحيوى والذى أشير إليه بأنه الإعذاب الطبعى، هو بتسخير أحياء بحرية لتحقيق الإعذاب. فالمعروف أن أحياءاً كالمحار تتولى إستخلاص أملاح بذاتها فى عملياتها الحياتية لإصدافها و حتى اللؤلؤ ماهو إلا رواسب ملحية مستخلصة من ماء البحر. كما وأن أحياءاً بحرية دقيقة تقوم باختزال الكبريت وتعرف بـ(بكتيريا إختزال الكبريت).

ويعتقد بوجود أحياء أخرى تقوم عبر عملياتها الحياتية أيضاً بتحويل شوارد الصوديوم. لذا فمتى ماأمكن فصل وتنمية هذه الاحياء أو حتى التدخل فى نمطها الحياتى عبر الهندسة الوراثية مثلاً لتقوم باختزال شوارد الكلوريد بدل الكبريت لكان بالإمكان أن يستخلص عند ذلك ماء معذب.

بالإضافة إلى ذلك هناك توجه بحثى نحو إستخلاص "انزيمات" هذه الأحياء البحرية التى تحفز التفاعل الكيميائى لتحويل الشوارد إلى عناصر ومركبات. أى قد يكون بهذا التوجه دمجاً بين المأثرين الحيوى والكيميائى لإعذاب ماء البحر.

التفاعل النووى

وقد يكون التفاعل النوى بعداً آخر. وهنا ستتجاوز عمليات توفير الماء الصالح للإستخدام مرحلة صناعة الإعذاب التى يتم خلالها تحسين نوعية ماء موجود بالطبيعة إلى عملية نووية يتم خلالها تكوين الماء بالتفاعل النووى لمركبيه وهما غازى الاكسجين والهيدروجين والمتوقع متى ماتحقق ذلك أن ينتج عن التفاعل ليس الماء العذب وحسب بل وكذلك الكهرباء. إلا أن حدوث هذا التفاعل وتوفر الظروف الملائمة لذلك بصفة ميسرة قد تكون بعيدة المنال للغاية. خاصة إذا تم الرجوع إلى حقيقة الماء.

فالماء من الناحية الكيميائية ماهو إلا أكسيد لعنصر الذى بوسعه منح كهرب (إلكترون) واحد عند الدخول بالتركيب الجزيىءللماء. وهكذا ولكن يتم الوفاء بحاجة الاكسجين لإرتباط كهيربين (إلكترونين) بجداره الخارجى فإن تركيب الماء يحوى ذرتين من الهيدروجين لكل ذرة أوكسجين بجزيء الماء الواحد.

إن عملية التأكسد التى سبق محاولة تفسير التفاعل والتركيب الجزيىء للماء به تفاعل يحدث بكثرة بانطبيعة لكثير من العناصر. ومن هذه العناصر تلك التى تمنح كهيربـاً واحداً وتقع بذات العمود (الأول) بالجدول الدورى للعناصر. وعليه فقد جرى التوجه نحو هذا المصدر للماء.

إلا أن صفات الماء الطبعية والكيميائية تؤكد تغرده عن مجمل الاكاسيد عامة، بما فى ذلك أكاسيد عناصر العمود الأول بالجدول الدورى والتى تمنح التركيب الجزيىء كهيربـاً واحداً. ولذلك فقد جاء الإستدراك بنهاية الفقرة الأولى تبعاً لتغرد الماء بخواصه وتركيبه.

وبالقرآن الكريم إشارات إلى تغرد الماء بأكثر من موضع وأهمها الإرتباط الوثيق بين الخلق والماء من عدة نواحى. ففى قوله تعالى "وجعلنا من الماء كل شىء حى" دلالة على إعتماد الحياة على الماء وبإستمراره وبدأ الحياة بوسط مائى بإحدى مراحلها المبكرة لكافة الأحياء ثم دخول الماء بتركيب البنوى أى بنية الكائن الحى.

وقبل كل ذلك فبالقرآن تأكيد على قدم الماء وإرتباطه بالخلق فى قوله تعالى "وكان عرشه على الماء".

الخاتمـــة

ذهبَ الإعذابُ أم ذهبُ الإعذابِ

لقد كان التقطير بصوره المبسطة السمة الأساس لصناعة الإعذاب عبر العصور. إذ لم يـدون سواه إلا اليسير عن نمط مبكر للإعذاب بالتبادل الكهربى والتثليج وإستدرار البخـــار ماءاً. وكرة الشمع (الناضحة). لذا يحق لهذا الجيل أن ينسب صناعة الاعذاب كما هـــي اليوم إلى نفسه دون إنكار لما قدمه الأولين نبراساً لهذا الطريق.

وقد تميز كل عقد من العقود الخمس الماضية (من العقد السابع إلى العاشر للقـــرن الهجرى المنصرم والأول من هذا القرن) بخطوة جريئة على طريق الحصول على المـــاء المعذب بالأساليب التقنية. إذ كانت سمة العقد السابع نظام التقطير بالمقطـــرات ذات التأثير المتعدد. تلى ذلك بالعقد السادس تطوير المقطرات ذات المراحل الومضيـــة المتعددة. أما العقد السابع فقد تميز ببدايات الإعذاب بالنضح. وقد إستمر الحـــال بالعقد التاسع إذ تم تطوير التناضح العكسى. ولم تقف الأغشية التناضحية عنـــد إستخدامها لإعذاب المياه ذات الملوحة القليلة نسبياً كمياه الآبار الجوفيـــة. إذ تجاوزت ذلك إلى إعذاب ماء البحر بالعقد الأول من هذا القرن. راجع الجدولين (أ١، أ١).

الجدول أ١

متوسط إنتاج الماء بمجلس التعاون لدول الخليج

نظام الانتاج	الانتاج اليومى لدول المجلس (ألف متر مكعب/يوم)						المجموع
	السعودية	الكويت	الامارات	قطر	البحرين	عمان	
المتعدد الومضى	٢٣١٦	١٤٠٩	٧٠٩	٢٩٥	١١٥	١٠٥	٤٩٤٩
التناضح العكسى	٧٧	–	–	–	٤٥	١	١٢٣
إعادة الضغط	٣	–	–	–	–	١	٣
المجموع الكلى	٢٣٩٥	١٤٠٩	٧٠٩	٢٩٥	١٦٠	١٠٧	٥٠٧٥

(أ١) لقد جرى تمييز هذا الجدول بالرقم فالحرف (أ١) لكونه مستنبط كخلاصة للإعذاب من الجدول (١) الذى جاء بالمقدمة.

الجدول (١أ)

خلاصة العقود الخمس الماضية
بصناعة الإعذاب

العقد الميلادى	السمة البارزة
٠١ الخامس	التقطير التأثيرى المتعدد المراحل.
٠٢ السادس	التقطير الومضى المتعدد المراحل.
٠٣ السابع	النضح الكهربى الغشائى.
٠٤ الثامن	التناضح العكسى لإعذاب مياه الآبار.
٠٥ التاسع	التناضح العكسى لإعذاب ماء البحر.

(١أ) لقد جرى تمييز هذا الجدول بالحرف فالرقم (١أ) لكونه مستنبط كخلاصة للإعذاب من الجدول (أ) الذى جاء بصدر هذه الورقة.

وبنظرة حالمة يمكن رسم شكل العقود الخمسة القادمة. فقد يتميز هذا العقد وهو الثاني من هذا القرن بإمكانات جمة نحو دمج سبل الإنتاج. دون أن يكون حدود ذلك الدمج الجمع بين التقطير والتناضح. أى أن يصبح بالإمكان الوصول مع نهاية هذا العقد إلى المحطة الكاملة لإنتاج الماء والكهرباء. وقد تشتمل المحطة الكاملة على طرق للإعذاب لازالت قيد التطوير والبحث العلمى. ومن هذه الطرق تلك المعتمدة على الطاقة الشمسية والرياح وأمواج البحار. إضافة إلى طرق الإعذاب بالتجميد والتميؤ.

وقد تتميز العقود التالية بعدد من التطورات الهائلة. وذلك بأن يكون البدأ بالعقد الثالث بالإنتقال إلى الطرق الطبعية الكيميائية وخاصة فصل الأملاح بتكوين البلورات.

أما العقد الثانى فقد يتم خلاله الانتقال إلى الطرق الكيميائية بشكل أوضح. وذلك بأن يتحقق إزالة الاملاح أو فصلها عن الماء بالتفاعلات الكيميائية.

سيلى ذلك بمشيئة الله تعالى إمكانية تطور علم الهندسة الوراثية بالعقد الخامس لتصل إلى سبر غور الأحياء الدقيقة كالـ(بكتيريا). لتقوم بدور كالذى تقوم به الـ(بكتيريا) المعروفة هذه الأيام بقدرتها على إختزال الكبريت. وسيكون عمل هذه الـ(البكتيريا) هو بأكسدة وإختزال الشوارد الملحية المذابة بالماء. وينتج عن ذلك ماء وعناصر ومركبات نافعة غير قابلة الذوبان بالماء أيضا حالها فى ذلك حال الطرق الكيميائية.

أما العقد السادس فقد يكون الزمان الذى يفتح به الله على الانسان باب من النعم وليعلمه مالم يكن يعلم. وذلك بأن يتم تطوير التفاعلات النووية المسخرة للسلام والإنسان إلى الحد الذى يصبح فيه بالامكان إنتاج الماء والكهرباء بالتفاعل النووى للعنصرين المكونيين للماء وهما الاوكسجين والهيدروجين. راجع الجدول (ب١).

الجدول (ب١)

أمنيات العقود الخمس القادمة
لصناعة الماء

العقود الميلادية	السمة البارزة
نهاية القرن العشرين	دمج سبل وطرق وأنماط الإنتاج
الأول بالقرن ٢١	التحول نحو المأثرات البلورية
الثانى بالقرن ٢١	التحول نحو المأثرات الكيميائية
الثالث بالقرن ٢١	التحول نحو المأثرات الحيوية
الرابع بالقرن ٢١	التحول نحو المأثرات النووية

ب١ لقد جرى تمييز هذا الجدول بالحرف فالرقم (ب١) لكونه مستنبط كخلاصة لإعذاب الماء وإنتاجه الصناعى من الجدول (ب) الذى جاء بصدر هذه الورقة.

عندها تكون نعمة سابغة يرتقى بها الانسان سلم عصر الذرة لخدمة السلام وعلى صدره وسام من ذهب حفر عليه قرن من العمل الدؤب. وقد تكون هذه التصورات نزهة عقلية فى المستقبل أو أحلام يقظة.

كما ويمكن أن تصبح واقعاً ملموساً ولكن لن يتأتى ذلك إلا بفضل ورحمة من الله العلى القدير ثم برفع شعار يدعو إلى:

دعم البحث العلمى المسخر للإنسان والسلام

المراجع

"١" القرآن الكريم (التفسير لإبن كثير وأسباب النزول للجلالين).
"٢" النقل عن الآباء والتاريخ (بما فى ذلك من السير والمواقع والقصص والأساطير).
"٣" تكاليف الإنتاج المشترك للماء والكهرباء لـ"محمد بن عبدالكريم الصوفى" قدم بالمؤتمر العالمى الخامس للتحلية بواشنطن العاصمة فى أغسطس ١٩٩١م (راجع ص٧، ٨).
"٤" تاريخ لينة للعباسى (وقد يقدم نونها على الياء وينطق الياء جيماً ـ لنجة).
"٥" الإنسان والتطور التقنى لديرك بردسول وكارلو سيبولا، أعد عام ١٩٧٩م (راجع المقتطفات).
"٦" تاريخ المنطقة الشرقية لعبدالله بن ناصر القرينيس (رحمه الله ترعرع بالخبر وعمل بالدمام).
"٧" التاريخ المصور لصناعة التحلية للدكتور جيمس بركت قدمت بالندوة المشتركة للمؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة والجمعية الأمريكية لتوفير وتحسين المياه عقدت بالخبر وجدة فى نوفمبر وديسمبر ١٩٨٤م (المرجع التقنى الأساس كالمبين بالمقتطفات.
"٨" التحلية ودانيال ديفو مقال للدكتور جيمس بركت بمجلة المنظمة العالمية للتحلية العدد الثانى المجلد الأول أغسطس ـ سبتمبر ١٩٨٦م (راجع الشكل ٢٢ ص ٣٥).
"٩" تقارير مراجع أخرى منها قاموس المحيط وأعمال العديد من الدارسين والباحثين والعاملين بمن فيهم المعد نفسه.

Application of Renewable Energies for Water Desalination

O. A. Hamed

APPLICATION OF RENEWABLE ENERGIES FOR WATER DESALINATION

By
O.A. Hamed
Department of Chemical & Petroleum Engineering,
Faculty of Engineering, UAE University,
P.O.Box 17555, Al-Ain, U.A.E
and
ET. I. Eisa & W.E. Abdalla
Technology & Energy Research Centre,
UAE University, P.O.Box 17777 Al-Ain,
United Arab Emirates

ABSTRACT

This paper presents an overview of the possible application of renewable energy technologies to water desalination processes. The renewable energies which are normally employed include; solar and wind. Technical difficulties, breakthroughs and structural failures arising during the running of combined renewable energy powered desalination plant, together with the results of successful field experiments of the combined plants are presented and discussed. The prospects of the application of renewable energy for desalination in United Arab Emirates is discussed. Analysis of a solar still performance using a specific site data in United Arab Emirates (UAE) is predicted and the results indicate to some extend good prospects.

1. INTRODUCTION

Desalination is an energy intensive separation process. The energy requirements for Seawater desalination ranges between 6-15 KWh/m^3 of product water.The cost of energy represents around 30-40 percent of the total production cost of fresh water. The economic viability of desalination process can thus be significantly improved by minimizing the energy cost factor.Large scale multistage flash(MSF) distillation are frequently part of a dual purpose plant which produces power for a distribution network as well as distilled water. The MSF is thus an add-on to the steam generation power plant , economically justified on the basis of low pressure steam remaining at the end of the power cycle.

For small scale desalination plant, renewable energies have been used as viable alternatives to fossile fuels. The original source of renewable energies is the solar energy and owing to its diffuse nature there is less advantage to be gained by scaling up to large systems than is the case for fossile fuel, and small scale desalination stills are likely to be used for providing water for families or small communities ref[1].

The renewable energies which have been under developments for water desalination can include direct solar energy, which incorporates both thermal and photovoltaics, and indirect solar energy which covers the wind energy ref[3].

The objective of this paper is to explore the recent developments in the utilization of renewable energies for water desalination. The viability of different sources and applications of these alternatives will be discussed. The current practice and prospects of the application of renewable energies for water desalination in United Arab Emirates will then be examined.

2. RENEWABLE ENERGIES SOURCES, CONVERSIONS AND THEIR PRACTICAL APPLICATION WITH WATER DESALINATION

The types of renewable energies which will be considered in this study are direct and indirect solar energy. The definition of direct solar energy is the energy in the form of heat (solar heat) and in the form of electricity (Photovoltaic Cells), while the indirect solar energy covers the wind energy (other types of indirect solar energy are not considered in this study).

2.1 Direct Solar Energy

Although one of the major concept of using renewable energy is to convey the idea of simplicity in design and performance, it's interface with water desalination is rather unsimple. The fluctuation and the unsteady state nature of the energy sources such as solar and wind power places special requirements on the desalination systems. But some experimental results of water desalination plants based on vapour compression, electrodialysis and reverse osmosis processes indicated positive results with the use of solar energy as a power source. Desalination can also be achieved by freezing, since the ice is formed from fresh water and the salt is rejected during freezing, and solar ice-making could be considered for this purpose.

Generally, solar energy varies during the day, from day to day, and depends on location and atmospheric conditions. Although averages can be measured or calculated, the exact energy available at any place at a specific time is dependent on atmospheric conditions. Due to the nature of solar radiation, applications utilizing it must either gauge their operations to the varying energy supply or provide some type of storage to lessen the variations and deliver power for a longer period by actual sun light.

Variety of mechanisms are used to convert solar energy directly to other forms of energy , either heat or electricity, e.g. flat plate collector, focussed collector, solar ponds and photovoltaic cells.

Solar Collectors

The most common way to collect and make use of solar energy is in the form of low temperature heat (<100°C). Where a surface, blackened so that it will absorb most of the incoming solar radiation, is placed in the sun it will get hot, if the surface is

a metal plate then the heat can be removed by passing a fluid through pipes soldered to it. In this case:

Heat removed by coolant= Heat absorbed - Heat lost

And the efficiency of the collector is given by,

$$\eta = \frac{\text{Heat absorbed - Heat Lost}}{\text{Incident solar energy}} \qquad (1)$$

There are two methods for raising this efficiency.
a- by reducing the heat losses
b- by increasing the incident radiation and hence the heat absorbed per unit area.

For low temperature collector (<100°C) the first method is adopted. Heat loss is reduced by using transparent cover plates, specially treated absorber surfaces and by evacuating the space between the cover plate and the absorber surface.

For a higher temperature collector (>100°C), it is necessary to increase the incident radiation by means of concentrators. And in this case only the direct radiation is used.

Flat plate collectors

For a flat plate collector the energy incident on the surface can not be increased and all can be done is to ensure that the absorber surface absorbs as much as possible of the incident radiation and that the losses from the absorber surface are reduced to a minimum.

Fig.(1) shows a collector made from a single absorber surface. Some of the incident radiation will be lost by reflection; however, for a blackened surface, about 95% of the radiation will be absorbed, ref[2]. The heat generated can be transferred to another location by circulating a fluid (usually water or air) along the plates to pick up the heat energy.

For water desalination applications, the heated fluid could be used to transfer energy to a heat engine, increase humidification, and/or provide heat for a low-temperature distillation unit. If the collector efficiency is to be increased then the heat losses must further be reduced and this can be achieved by;

Selective Surfaces

Generally solar collectors must have high absorbance for radiation in the solar energy spectrum. At the same time, they lose energy by a combination of mechanisms including thermal radiation from the absorbing surface, and it is desirable to have the long-

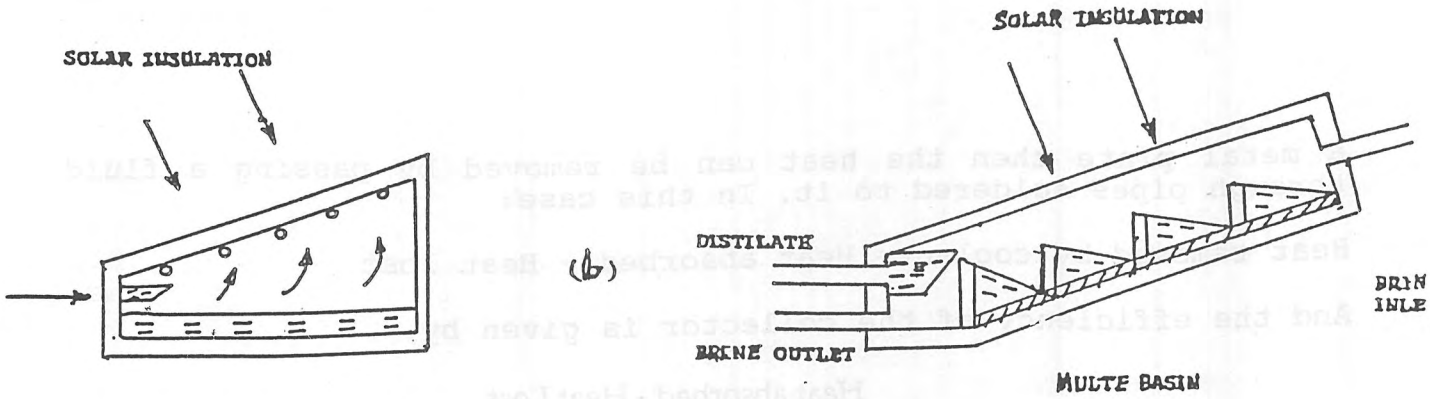


FIG.(I) SIMPLE SOLAR STILL

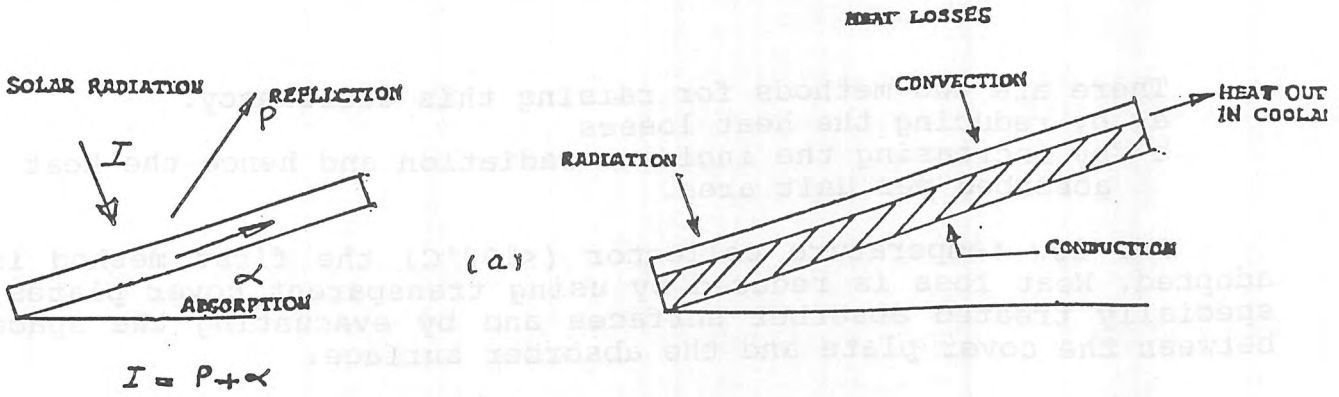
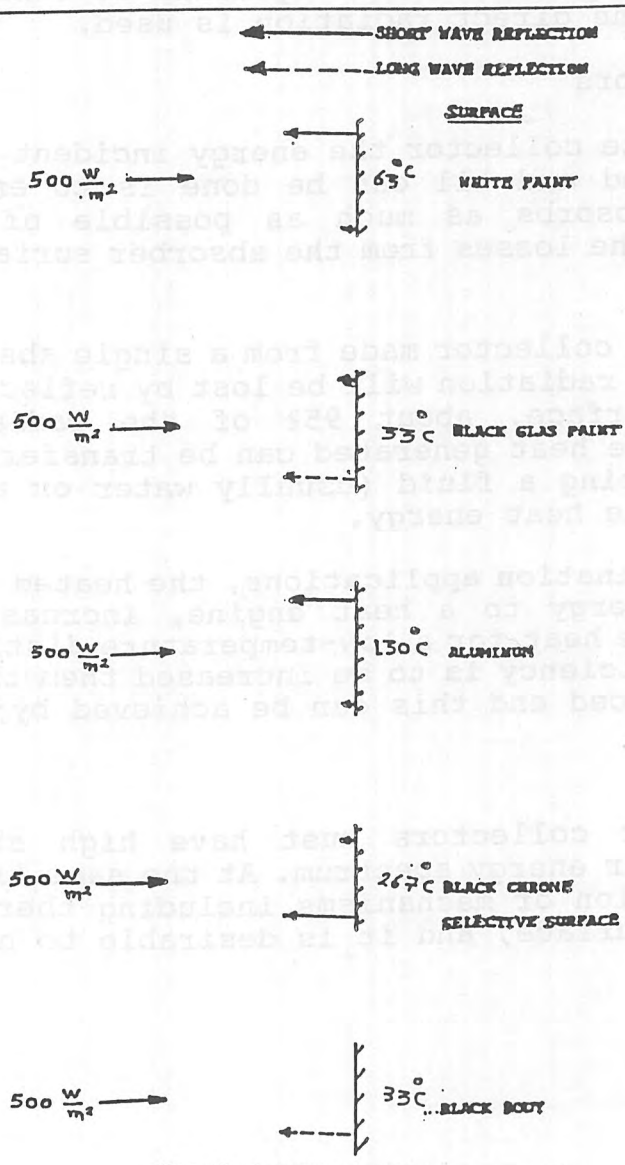


FIG. (I) SINGLE SURFACE FLAT PLATE COLLECTOR



wave emittance of the surface as low as possible to reduce losses. Therefore it is necessary to device surfaces having high solar absorbance and low-wave emittance, these known as the selective surfaces. Fig.(2) shows several surfaces, with a solar flux of 500 W/m^2 falls on the surface which is thermally insulated from its surroundings, ref[3]. The figure indicates the amount of radiation absorbed and the equilibrium temperature achieved if the heat is lost to outer space only from the single outer surface.

Concentrators

There are many concentrator types which are adopted to increase the flux of radiation on receivers. They can be reflectors or refractors. They can be cylindrical to focus on a line or circular to focus on a point. Fig.(3-a) shows two of concentrator types. Temperature range for these concentrators may be up to 150°C and for desalination application this heat can be used for operating a heat engine or producing a steam for a turbine or a distillation unit.

Evacuated Cover Collector Spacing

These types of collectors based on eliminating the convective losses by evacuating the space between the cover and the absorber plates. The atmospheric pressure acting on the cover plate is too great to allow the evacuation of the simple flat plate geometry and it is usual to build up an arrangement of evacuated tubes as shown in Fig.(3-b).

Solar Ponds

The logic arrangement of a solar pond is shown in Fig(4) and the principal of operation is based on the fact that in a water pool there is a layer of saline water overlaid by a layer of fresh water with non-convecting salinity gradient in between, and in this case the water at the bottom of the pool will be at a higher temperature than the water at the top. An output water of a temperature of 60-90°C can be given by this solar pond. For desalination application this heat output could be used for powering heat engines and/or with low-temperature distillation units.

Photovoltaic Cells

These devices convert light from solar radiation directly to electricity, by means of cells made out of specific crystalline materials.The P.V. cells produces direct current and for desalination application this could be used to operate motors, controls and instruments in all the processes and supplying direct current for the membrane stacks of electrodialysis units.

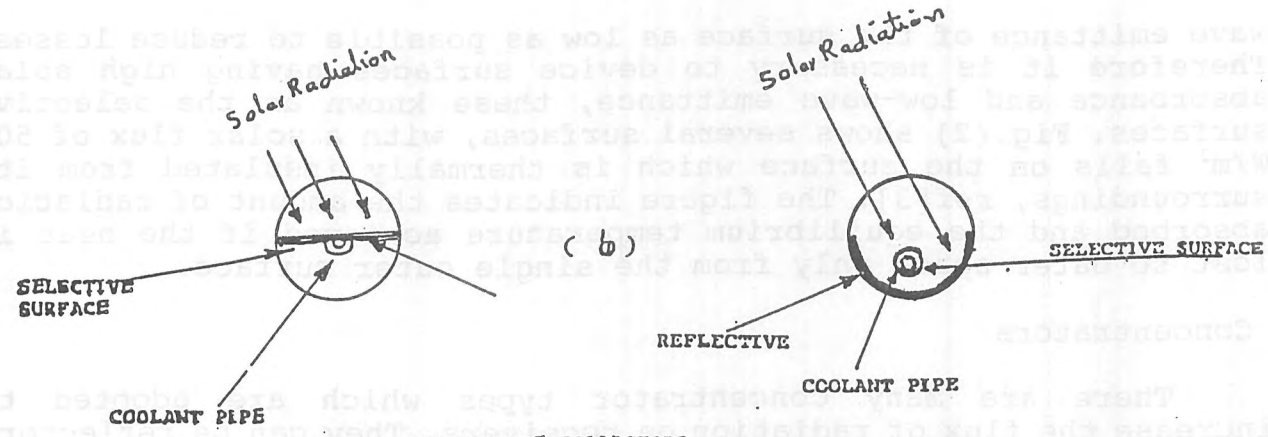


FIG. (3) EVACUATED TUBE COLLECTORS

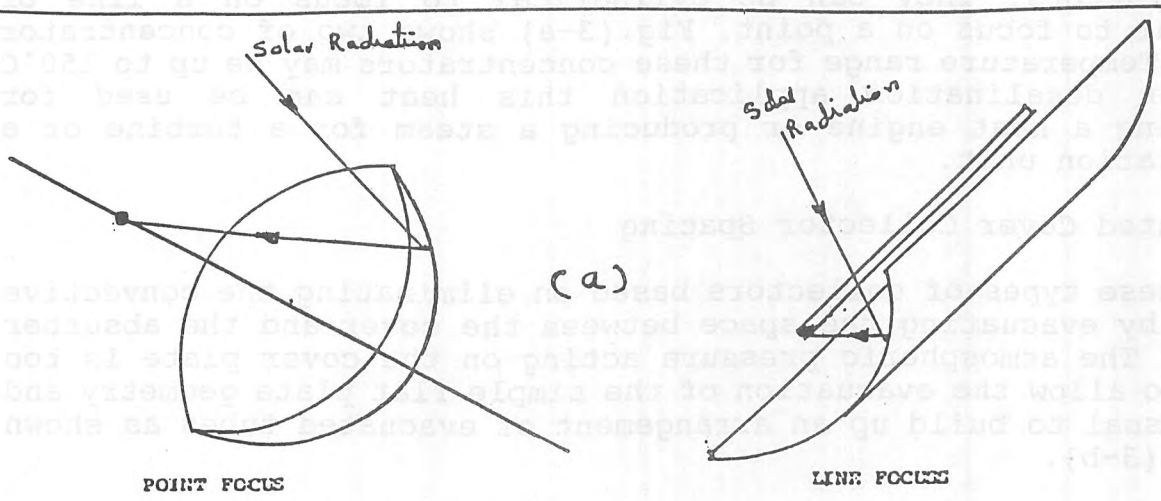


FIG. (3) PARABOLIC CONCENTRATOR

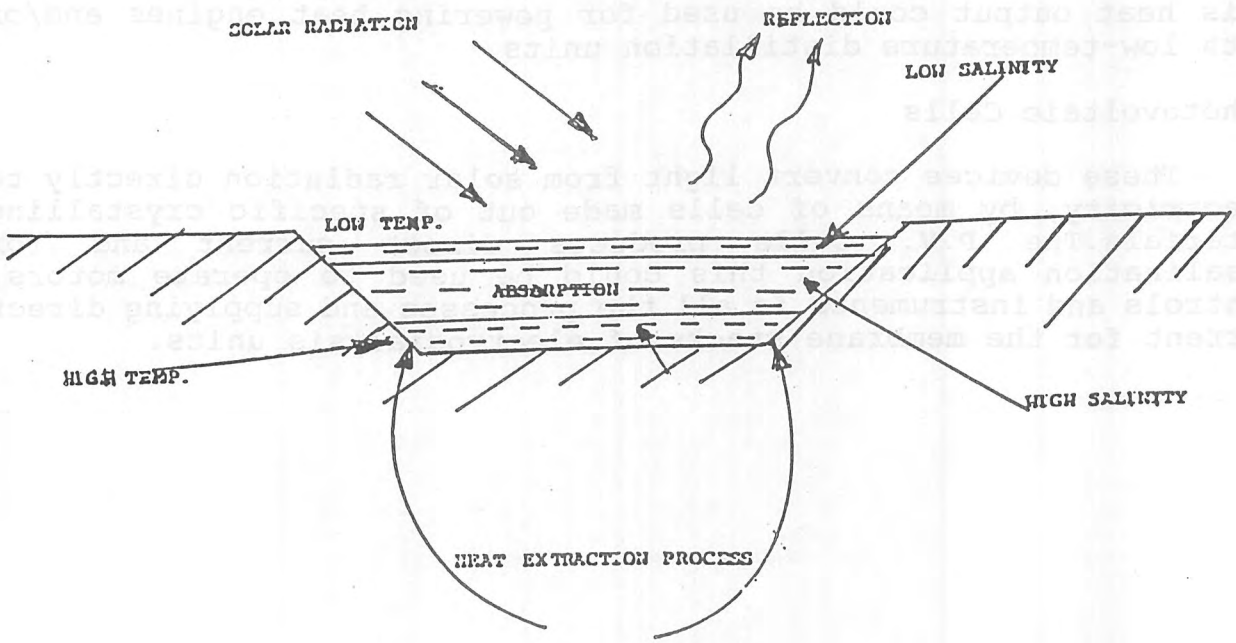


FIG. (4) SOLAR POND

Application of direct solar energy with water desalination:

Small amounts of water can be obtained from simple solar stills of the type shown in Fig.(1.b). the saline water is situated in a shallow tray and is heated by the sun to cause evaporation. The water vapour condenses on the glass cover plate and is collected by a container as shown in the figure.

In order to evaporate 1 Kg of water at a temperature of 30°C about 2.4×10^6J is required. Assuming an insolation of 250W/m^2, averaged over 24 hours, this energy could evaporate a maximum of 9 L/m^2/day.

In practice heat losses will occur and the average daily yield which might be expected from a simple solar still is 4 - 5 L/m^2/day, which gives an efficiency of 45 - 55% .

Solar still consists of a shallow pit which is made water tight by means of a plastic or rubberised sheet, or concrete having a bitumen coating. The cover can be glass or plastics, the former is preferred since, if properly cleaned, the water will condense as a film. Such a film will allow most of the radiation to pass through to be absorbed by the bottom of the pool. The disadvantage of the plastic cover is that water does not wet the surface but instead forms small droplets which reflect the incoming radiation.

Although solar energy is free, the low efficiency of the simple still does mean that the output per unit area is relatively low and hence the cost of the equipment per unit output is correspondingly high.While the materials used are not expensive. The reason why the simple solar still is so inefficient is that considerable energy must be provided to evaporate the water. Much improved efficiency is achieved in the large fossil fuelled commercial plant by carrying out the evaporation in a number of stages. Heat from the water vapor is recovered at each stage by allowing the vapour to condense and provide heating to an earlier stage of the process. in this way the overall efficiency can be raised to 1.5%, a factor of fifteen improvement. This type is known as multistage flash distillation plant ref[1].

Distillation

The concept of using solar energy for the standard distillation process (i.e. multistage flash, multi-effect,...etc) rather than solar stills (solar humidification) has been evaluated for a number of years. Most of these evaluations has centered around using solar energy as an energy augmentation to these units. That solar energy is used to heat feed water, to reduce overall fuel consumption, but the remainder of the motors, pumps, instruments, controls etc, would be conventionally powered.

A practical example for such desalination combined plant is the multiple solar desalination plant which was built by the Japanese Government in the bilateral agreement with United Arab

Emirates Government. the plant was designed and constructed in Um AlNar, in 1984, under the administration of Abu Dhabi Water & Electricity Department, UAE. The solar collector used is of the evacuated tubes type, of a total number of 1600 panels. The plant is operating successfully with no major breakdown part of the routine maintenance and repair. The main features and operating performance were reported by ref[5]. The average capacity of the plant is about 120 m^3/day. Another promising results are given by ref[6], who designed and tested a multi-effect stack (MES) distillation system. The thermal performance of Um AlNar desalination plant was assessed for one year and then a mathematical model was developed to simulate the performance of the multi-effect stack evaporator and compared the model results with actual operational data. The result of the comparison indicated an acceptable agreement. The flow diagram of the system is shown in Fig(5).

Reverse Osmosis

There are a number of field experiments on combination of reverse osmosis (RO) with solar energy, in which the energy is furnished either as electricity or mechanical shaft power. However the experience gained shows that there are three ways for combining reverse osmosis with solar power ref[4]:

- Photovoltaic to produce electricity to power standard electric motor to drive the high pressure pump.
- Flat plate collector, solar ponds, focussed collectors to produce heated fluid to drive a heat engine.
- Focused collector to produce steam to drive a turbine. The turbine could drive the high pressure pumps directly or produces electricity by driving a generator. When a heat pump is used, it generally drives the pumps directly.

Due to the high pressures involved and the potential for membrane fouling by precipitation, reverse osmosis installations do not perform well over long-term if they are continually subjected to start and stop operations, unless they are specially constructed to do so. Thus, a workable system should have provisions to handle interruptions in energy generation. Whether to operate continuously or only during daylight hours is a decision based on economics, and site requirements. In most units built to date, it has been economical to supply storage for heat energy than for electricity (batteries).

Ref[3], who has a long experience with solar desalination, comments that " The use of reverse osmosis with solar energy suffers from the problem of having only a few hours of operation during the day. The power units are likely to operate only about 6 hours per day, thereby necessitating the start-up and shut down of the reverse osmosis unit, after a very short run. Since the start up and shut down parts of the operating cycle are non-productive and require close and expert attention, the operational problems are severe".

Also the 6 hours per day are available, the rating of the plant must be nearly four times that of a continuously operating plant. This means, in turn that the capital expenditure will be very high per unit of water produced. If grid power is available, the cost of electricity to keep the plant running continuously should be balanced against the added capital cost to use only solar energy, with its short daily period of operation. In this case, the solar energy becomes an augmentation to the grid power and could be justified.

One of the successful field experiments was built in France by French Atomic Energy (CEA) Centre for Nuclear Studies in Cadarache ref[4]. Efforts on this plant were made to simplify the pretreatment system so that the complex chemical addition pumps, mixing tanks could be eliminated. Experiments were conducted using units which employed setting tanks, cartridge fillers, sand and activated carbon and electrochlorination in an effort to work out a suitable pretreatment system.

To reduce the energy required, several efficient pumps were tested. These include single cylinder types with pulse damping in addition an energy recovery system using Pelton turbine on the brine steam was incorporated in the design. the turbine was connected by a belt drive to the shaft of the high pressure pump to reduce the power required for operation.

The energy to operate the unit comes from flat plate collectors, about 223 m^2 of collector area in south facing collectors set at 45° to the horizon. These heat water using Freon as the expanding fluid. The engine's condenser is cooled by saline well water pumped from the same sources as the feed water. Fig(6) shows the flow diagram of the plant. the unit was operating on an experimental bases for two years using brackish water and then a large plant was constructed by CEA which having a collector area of 381 m^2 and the production is in the range of 218 m^3/day.

Another successful plant was built in the State of Zacatecase in Mexico in 1985 by the Mexican Government. The facility is powered by photovoltaic cells with an area of 30m^2, peak power output of 2.5 Kw and average daily energy production of 7.5 Kwh at 24 volts DC, ref[6]. The plant is designed to desalinate water 8 hours per day during daylight hours using both P.V. cells and batteries. The batteries are for providing power at constant rate despite variation in insolation during the day, they are not used to operate the plant during night. Flow diagram for this plant is shown in Fig(7).

Electrodialysis

Experience on utilizing solar energy as a source of power for electrodialysis process has been gained so far and there are some useful and meaningful technical information about the system ref[4]. However combining electrodialysis with solar energy has three major characteristics to be considered on designing the

Also the 6 hours per day are available, the rating of the plant must be nearly four times that of a continuously operating plant. This means, in turn that the capital expenditure will be very high per unit of water produced. If grid power is available, the cost of electricity to keep the plant running continuously should be balanced against the added capital cost to use only solar energy, with its short daily period of operation. In this case, the solar energy becomes an augmentation to the grid power and could be justified.

One of the successful field experiments was built in France by French Atomic Energy (CEA) Centre for Nuclear Studies in Cadarache ref[4]. Efforts on this plant were made to simplify the pretreatment system so that the complex chemical addition pumps, mixing tanks could be eliminated. Experiments were conducted using units which employed setting tanks, cartridge fillers, sand and activated carbon and electrochlorination in an effort to work out a suitable pretreatment system.

To reduce the energy required, several efficient pumps were tested. These include single cylinder types with pulse damping in addition an energy recovery system using Pelton turbine on the brine steam was incorporated in the design. the turbine was connected by a belt drive to the shaft of the high pressure pump to reduce the power required for operation.

The energy to operate the unit comes from flat plate collectors, about 223 m^2 of collector area in south facing collectors set at 45° to the horizon. These heat water using Freon as the expanding fluid. The engine's condenser is cooled by saline well water pumped from the same sources as the feed water. Fig(6) shows the flow diagram of the plant. the unit was operating on an experimental bases for two years using brackish water and then a large plant was constructed by CEA which having a collector area of 381 m^2 and the production is in the range of 218 m^3/day.

Another successful plant was built in the State of Zacatecase in Mexico in 1985 by the Mexican Government. The facility is powered by photovoltaic cells with an area of 30m^2, peak power output of 2.5 Kw and average daily energy production of 7.5 Kwh at 24 volts DC, ref[6]. The plant is designed to desalinate water 8 hours per day during daylight hours using both P.V. cells and batteries. The batteries are for providing power at constant rate despite variation in insolation during the day, they are not used to operate the plant during night. Flow diagram for this plant is shown in Fig(7).

Electrodialysis

Experience on utilizing solar energy as a source of power for electrodialysis process has been gained so far and there are some useful and meaningful technical information about the system ref[4]. However combining electrodialysis with solar energy has

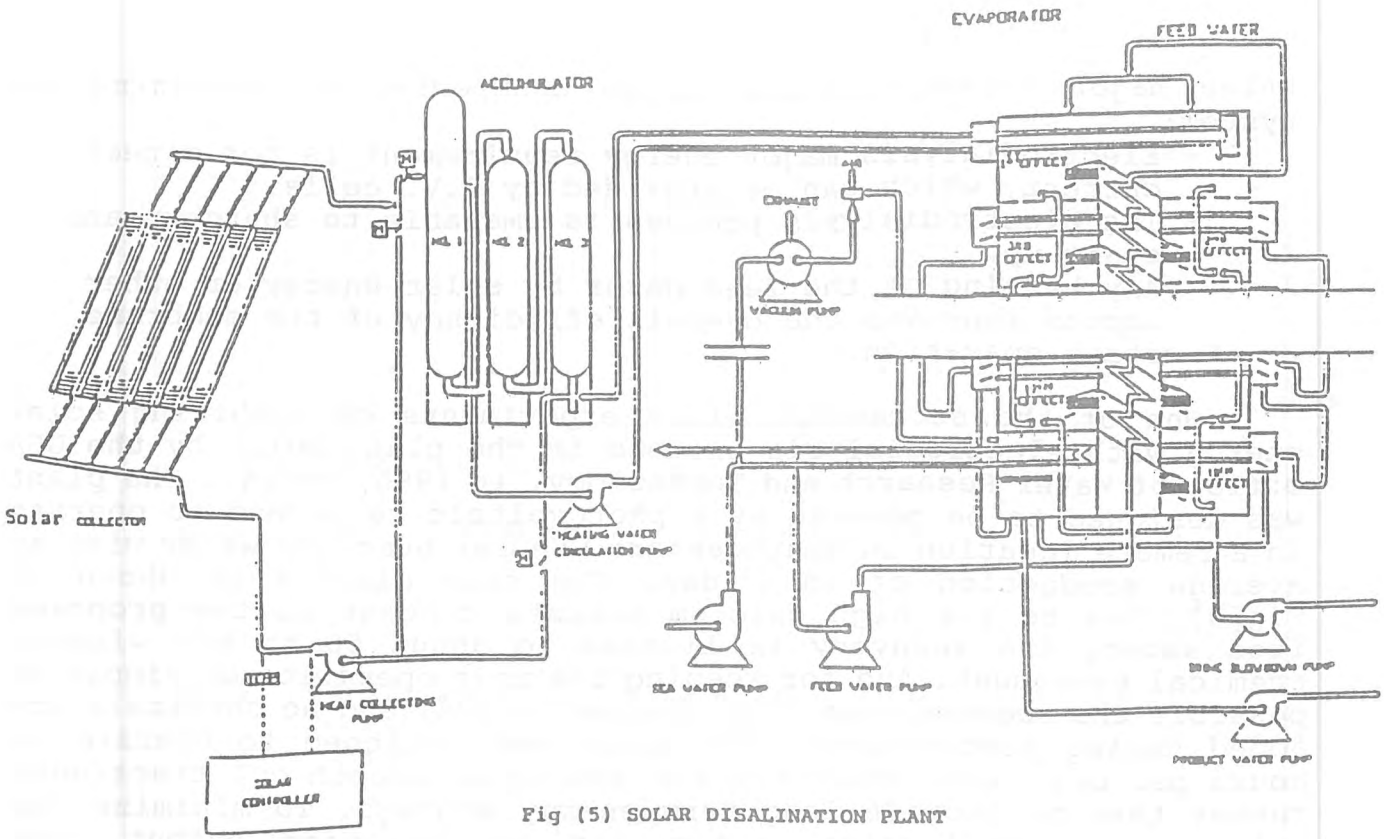


Fig (5) SOLAR DISALINATION PLANT

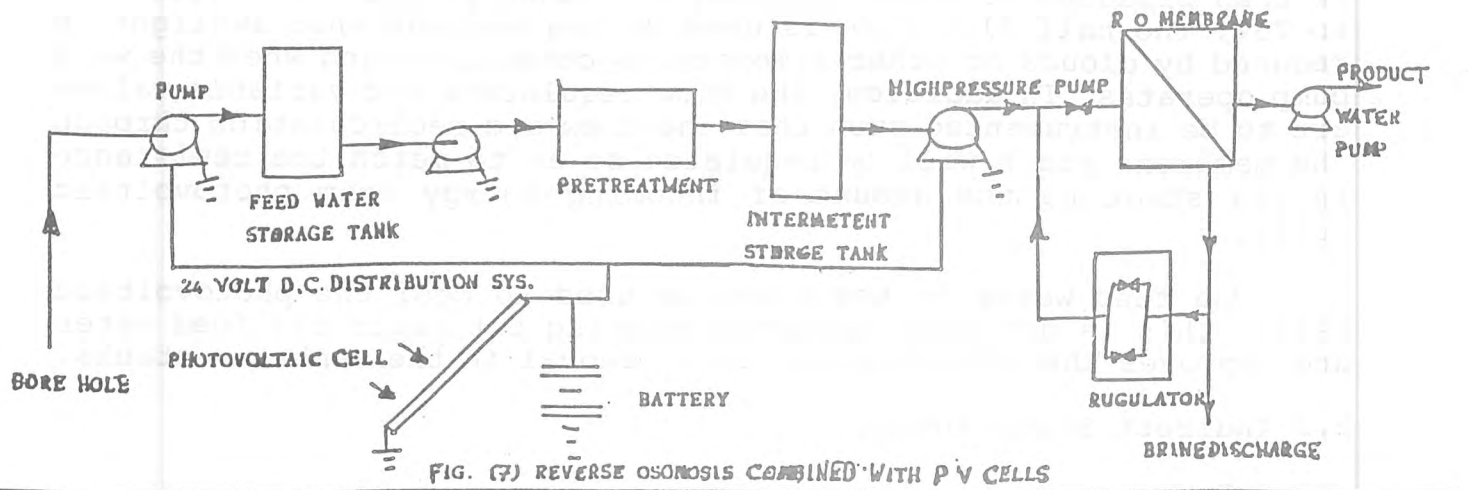


FIG. (7) REVERSE OSONOSIS COMBINED WITH P V CELLS

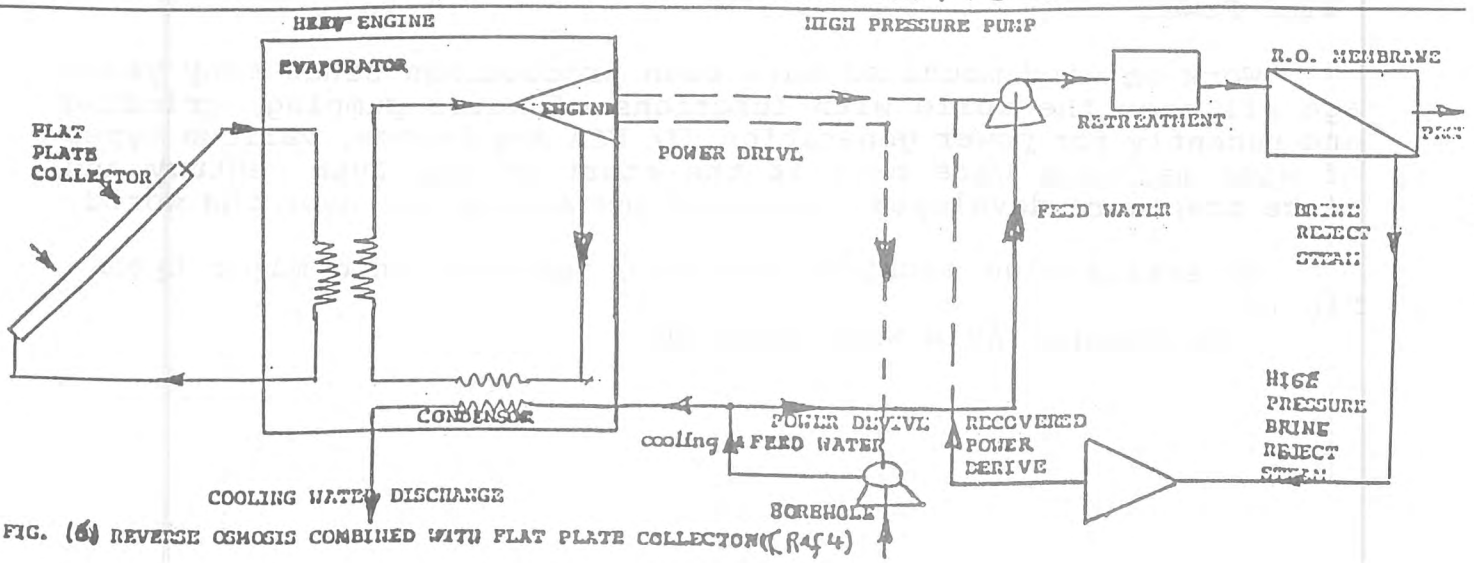


FIG. (6) REVERSE OSMOSIS COMBINED WITH FLAT PLATE COLLECTOR ((R454)

three major characteristics to be considered on designing the system:

- Electrodialysis major energy requirement is for direct current, which can be provided by P.V. cells.
- The electrodialysis process is amenable to shutdown and start up.
- Any heating of the feed water by solar energy or other inputs improves the overall efficiency of the membrane stack operation.

One of the successful field experiments on combining solar energy with electrodialysis process is the plant built by the USA Office of Water Research and Technology, in 1985, ref[4]. The plant was designed to be powered by a photovoltaic cells and to operate in a remote location in Southwestern USA for brackish water with an average production of 15 m^3/day. The flow diagram is shown in Fig[8]. Due to the high calcium sulfate content of the proposed feed water, the recovery is limited to about 50 to 60% without chemical treatment. And for keeping the unit operation as simple as possible the recovery has been limited to 50%, and no chemicals are added during pretreatment. The plant was designed to operate 10 hours per day, with the batteries acting to smooth out transients rather than to provide long term energy storage. To minimize the solar energy collection system and yet maximize output, the facility has two distinct modes of operation, full and half-full. During the full flow the unit uses the main feed pump and produces at the rated capacity. For the half flow mode the main feed pump is shut off and a smaller secondary feed pump is operated. Production is then produced to about half and the power required is reduced 50 to 75%. The half flow mode is used during periods when sunlight is reduced by clouds or other atmospheric conditions and when the well pump operates. In addition, the flow regulators and variable valves are to be instrumented such that the flow and recirculation through the membrane stack will be regulated so as to match the resistance in the stack to the amount of incoming energy from photovoltaic cells.

The feed water to the plant is used to cool the photovoltaic cells, this is not only conserves pumping but heats the feed water and improves the efficiency of salt removal in the membrane stacks.

2.2 Indirect Solar Energy

Wind Power

Work on wind machines have been proceedings since many years ago all over the world with functions of water pumping, grinding and recently for power generation. In USA and Europe, various types of wind machines were made at the start of the 20th century and since then were developed, improved and spread all over the world.

Generally wind machines can be classified into major types Fig (9) :

- Horizontal axis wind machines

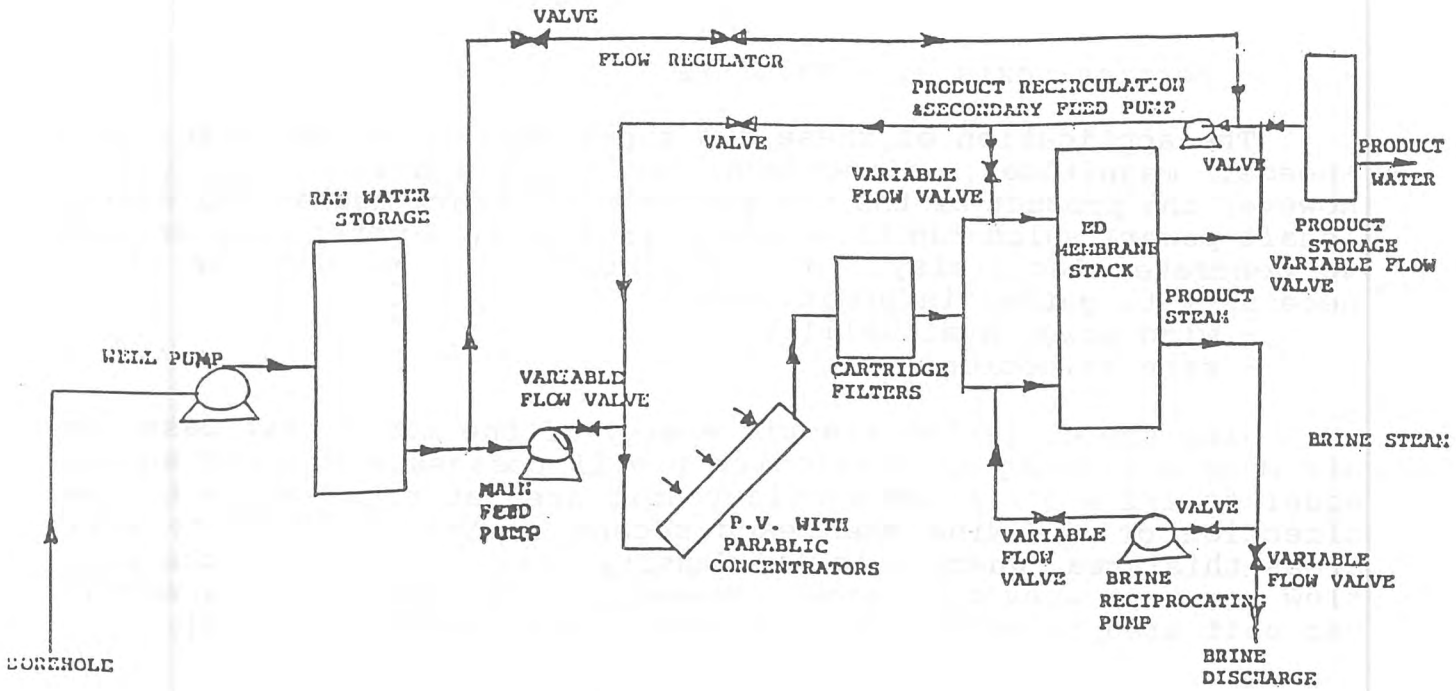


FIG. (8) ELECTRODIALYSIS CONBINED WITH P.V. CELLS. Ref[4].

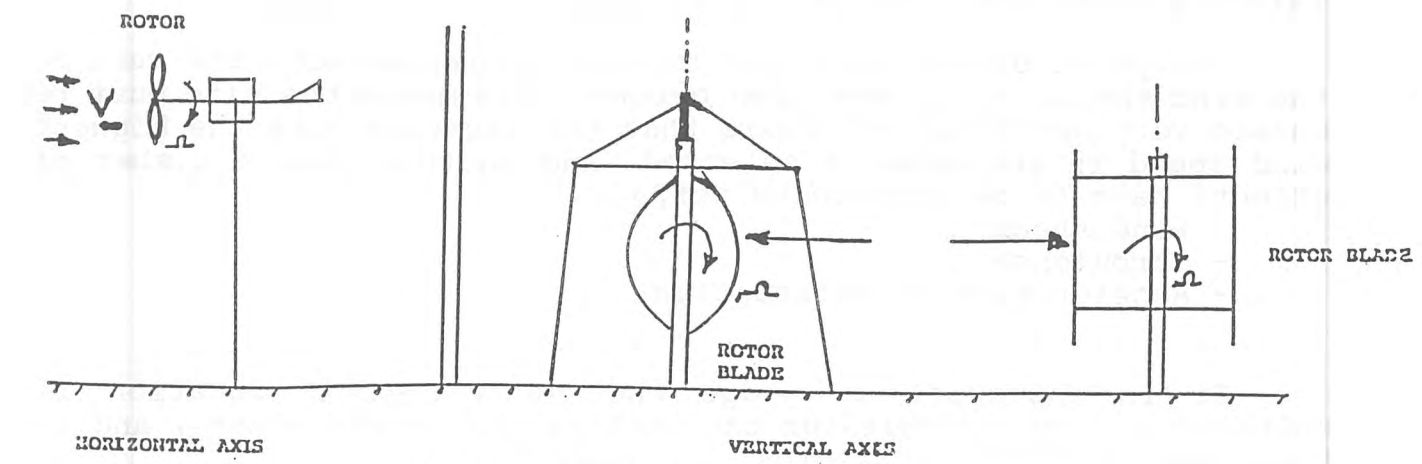


FIG.(9) TYPES OF WIND MACHINES

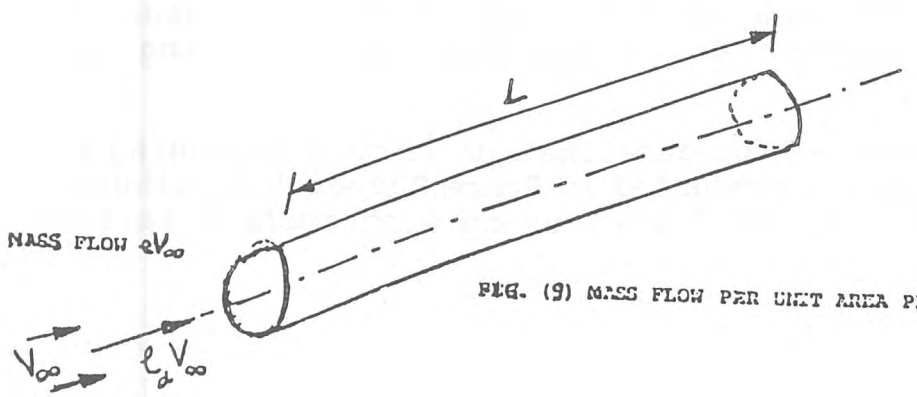


FIG. (9) MASS FLOW PER UNIT AREA PER SECOND(

- Vertical axis wind machines

The application of these two types depends on the area, wind speeds, magnitudes, directions, and distribution over years. However the product of the two machines is rotary mechanical energy (shaft power) which can be coupled directly to a water pump or used to generate electricity. For application of wind machines it is necessary to gather information on:

- wind power availability
- site selection

Wind energy is the kinetic energy of the moving air mass. An air mass m flowing with velocity v will possess a kinetic energy equal to 1/2 m v^2. If we consider unit area at right angle to the direction of the wind then each second a mass equal to *v will cross this area, where * is air density. Fig(2.1.1) shows the mass flow per unit area per second. Therefore the corresponding energy per unit area or power per unit area P/A is given by ref[3],

$$P/A=\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^{3} \qquad (2)$$

From the expression it is clear that for a constant area and air density, the power available in the wind is proportional to the cube of the wind velocity. And its very important to carefully select a good site: 10% more wind gives 30% more power.

The power output of a wind machine increases with the cube of the wind speed, as we have seen before. This means the site must be chosen very carefully to ensure that the location with the highest wind speed in the area is selected. And in this case a number of effects have to be considered ref[3]:

- Wind shear
- Turbulence
- Acceleration or retardation

It is essential to judge whether a certain location is suitable or not suitable for the utilization of wind energy and in this respect there is interest to know:

- Hourly, daily, monthly, and annual wind pattern.
- Duration of low and high wind speed.
- Energy that can be produced per month and per year.

Wind machines have been improved and developed based on advanced aerodynamic theories as in the case of developing the solar stills.

The use of wind machines for desalination is only beginning to be explored. The experiments conducted in Brace Research Institute, Canada, indicates promising results of using wind machine to run

standard reverse osmosis unit for brackish water.

Application of wind energy with water desalination:

Reverse Osmosis

The combination of reverse osmosis with wind power was recently considered for application. Power from wind need to be furnished either as electricity or rotating energy. If electricity is provided it could be used to power motors to drive pumps etc. While if rotating energy is produced it could be used directly to drive the pumps, but still some electrical energy would be needed to operate controls, instruments, etc.

In practical application for combining wind power with reverse osmosis, a unit was built in North Sea, Germany 1979, to be used for an island in the North Sea, ref[4]. The facility was powered by a three-bladed horizontal axis propeller. The wind machine drives a generator which produces three-phase alternative current at 380 volts and further rectified to variable voltage direct current, used to operate the pumps in the reverse osmosis system. The unit is still operating and a viable experience is gained so far.

There are some other practical applications in USA, Britain etc and they are all indicating a promising results, ref[3].

Distillation

The experimental work results carried by ref[7] indicates there is some potential for using the rotating energy from a wind machine for operation of a vapour compression unit, with certain design consideration of the interface between the two systems. But still units of this type of application have received little field testing.

Electrodialysis

The combination of an electrodialysis system with wind power is only theoretically studied ref[4], indicates that there is a good potential for such application . The combined system can tolerate the variable energy output of wind generators better than other processes, but still a design work is needed to account for energy transients and power variability.

The laboratory work on wind-powered electrodialysis system is still at experimental level and very little has been done on field application .

2.3 Energy Storage

Renewable energy sources are subjected to fluctuations due to atmospheric conditions and its diurnal nature, some type of energy storage system is required. Two basic systems are often used ref[3]:

- Insulated hot fluid (water, oil etc) or rock bed storage for heat producing systems.
- Batteries for photovoltaic systems.

3.PREDICTION OF SOLAR STILL PERFORMANCE USING UAE SOLAR & WIND DATA

The United Arab Emirates (UAE) is one of the Arabian Gulf Countries which suffers from the lack of natural fresh water source, and at the same time enjoys an abandance of solar energy throughout the year. Conventional water desalination plants, using fossile fuels, are at present used intensively to supply fresh water to the main cities and towns. Solar distillation can offer a reliable and competitive water supply to many remote locations in the country. It would thus be worthwhile to assess the thermal performance of a simple solar still using UAE solar data. The main heat flux components are shown in Fig(10).

To predict the variations of output of a solar still, it is first necessary to collect the solar and meteorological data, such as wind speed, temperature and relative humidity, have been measured and recorded in the UAE University Farm in Al-Oha. Figures 11 and 12 show monthly variations of solar radiation and ambient temperatures.

The output U and the thermal efficiency ( ) of the solar still using local data can be estimated from the following expressions (ref 11),

$$U=\frac{Q_{eva}}{L}=\frac{h_1 \Delta T_{wg}}{L} \qquad (3)$$

and the thermal efficiency by,

$$\eta_{th}=\frac{h_1 \Delta T_{wg}}{G}=\frac{\psi_g \alpha_w h_1}{h_1+h_2} \qquad (4)$$

The value of the heat transfer, by evaporation - condensation in the still is estimated by using the heat transfer coefficient h_1 by,

$$Q_{eva}=h_1 \Delta T_{wg} \qquad (5)$$

The value of(h_1) is found experimentally by ref[11] and it is a strong function of T_w;

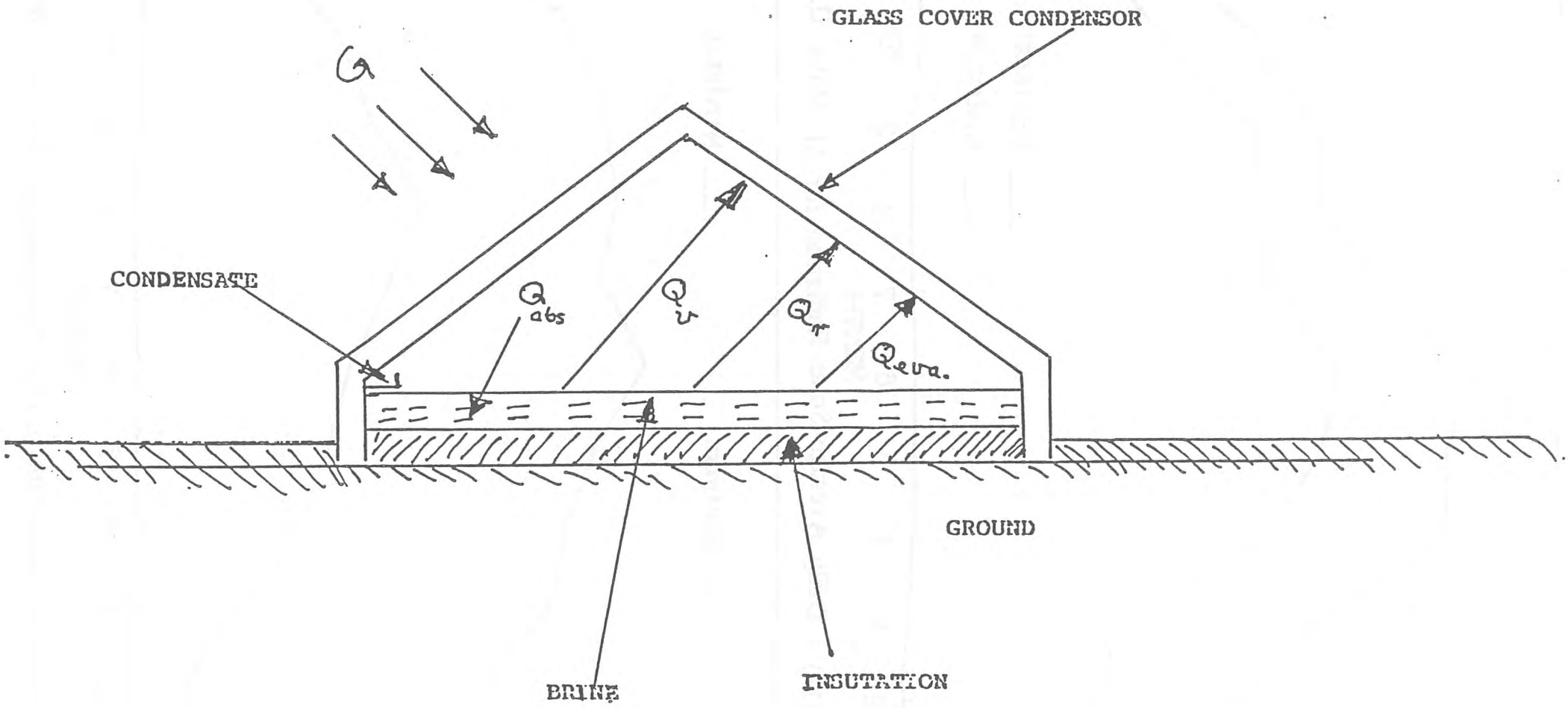


FIG (10) MAJOR ENERGY TRANSPORT MECHANISM IN SOLAR STILL.

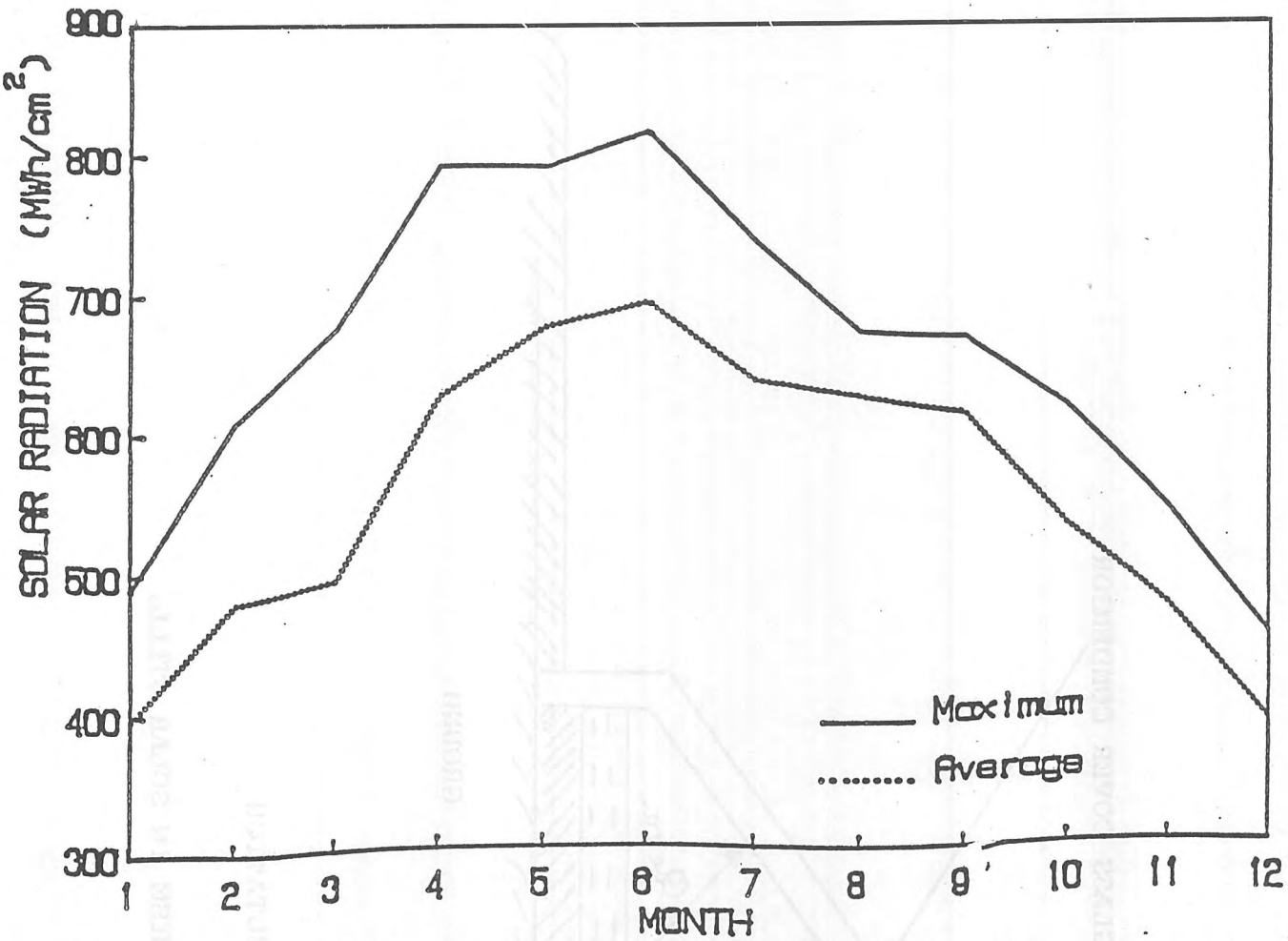


Fig. (11) : Daily Average Solar Radiation for Al- Hoha, U.A.E.

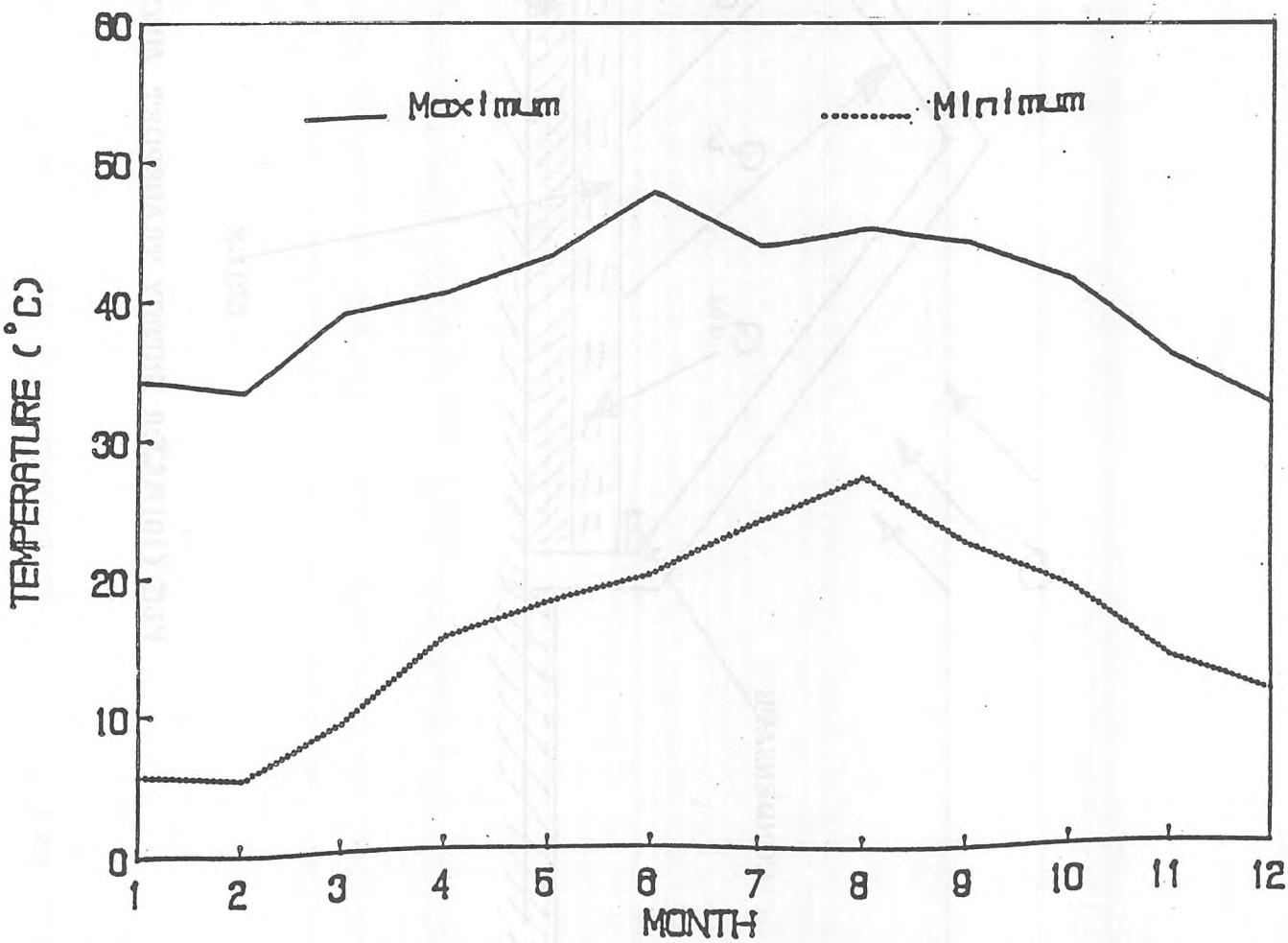


Fig. (12) : Maximum & Minimum Daily Temperature for Al- Hoha, U.A.E.

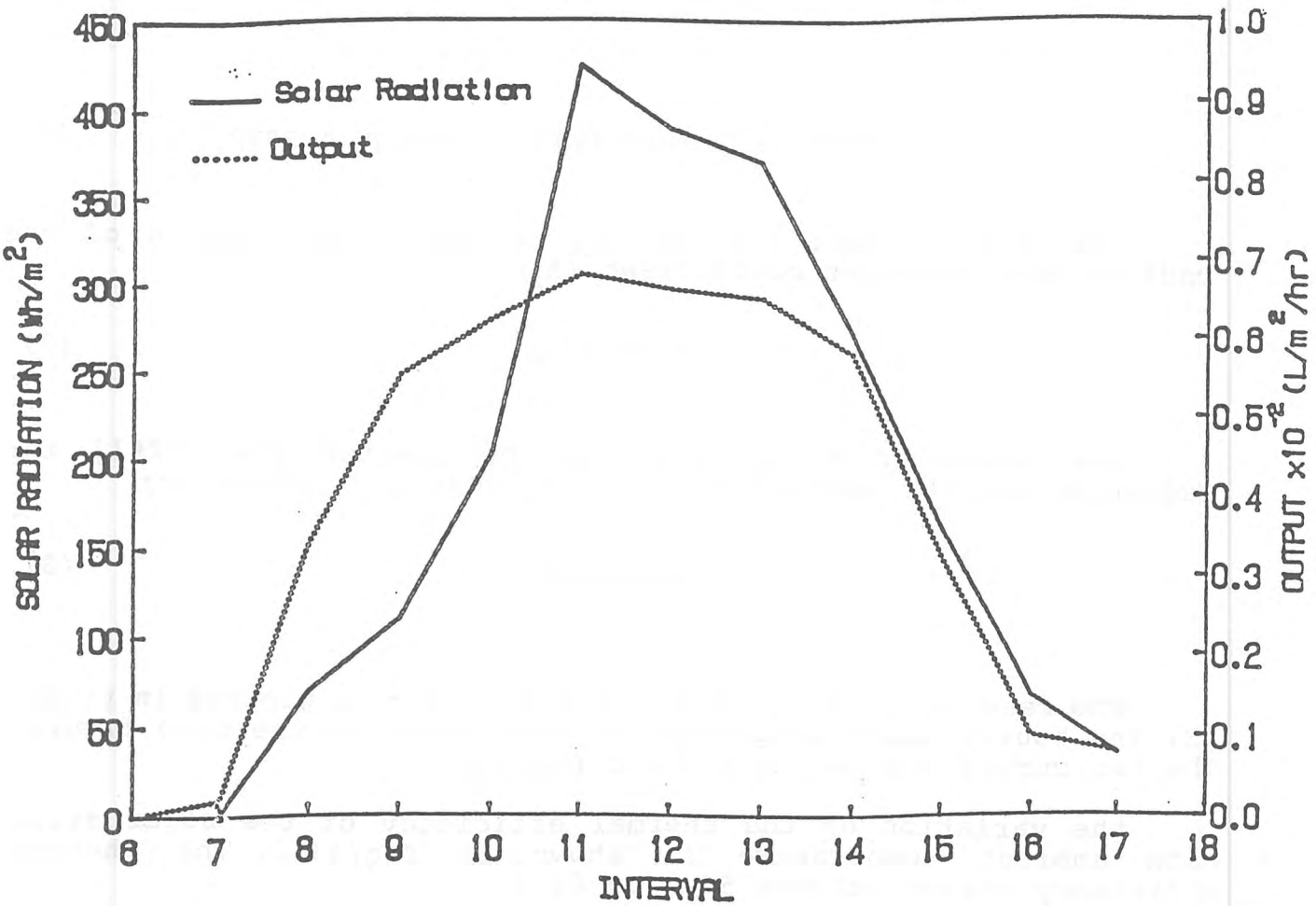


Fig. (13) : Output Vs Daily Variation of Solar Radiation for Al- Hoha, U.A.E.

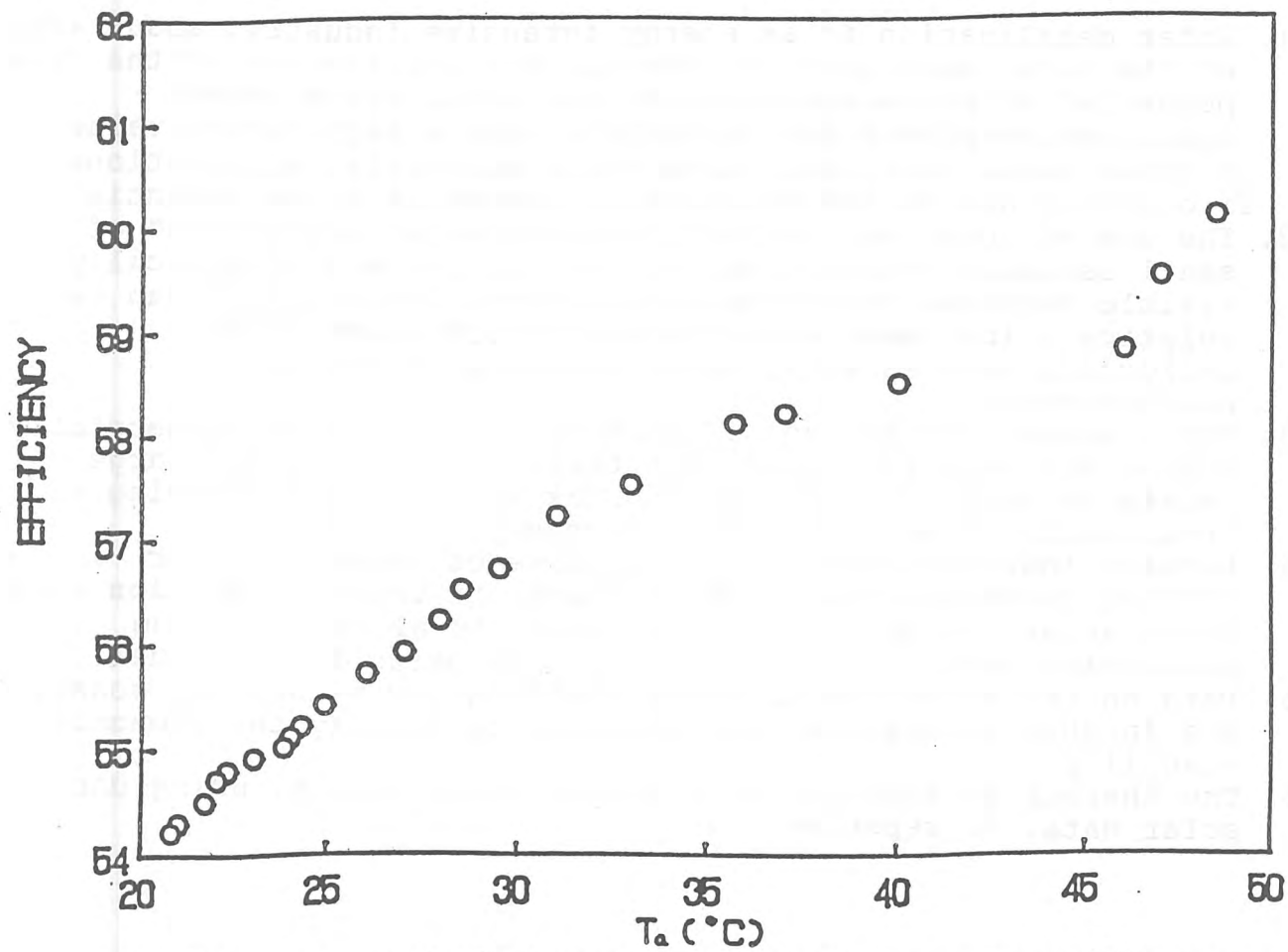


Fig. (14) : Thermal Efficiency Vs Ambient Temperature [for constant values of convective heat loss].

$$h_1=0.00023915T_w^3-0.012489T_w^2+0.3082T_w-0.5379 \quad (6)$$

The radient heat transfer Q_r is determined interms of the radient heat transfer coefficient (h_2):

$$Q_r=h_2\Delta T_{wg} \quad (7)$$

The value of h_2 is described by Steffan law ref[1] for radiation and for small values of T_{wg} then h_2 is given by;

$$h_2=4\epsilon_w\sigma T_g^3 \quad (8)$$

The resulting hourly variations of output is plotted in figure 13. The hourly solar radiation are also shown in the same figure. The two curves are having similar profile.

the variation of the thermal efficiency of the solar still with ambient temperature is shown in fig(14). The thermal efficiency varies between 57.3 to 60.3.

4.CONCLUSION & RECOMMENDATIONS

1. Water desalination is an energy intensive industry, about 40% of the total cost goes for energy. The utilization of the free potential of renewable energies for small scale water desalination plants can contribute with a significant value of their total cost, but large scale commercial applications is doubtful due to the fluctuation nature of these potential.
2. The use of solar stills for providing water requirement of small isolated communities, are attractive and economically visible compared to conventional means. Their output can be relatively increased with the use of efficient solar collectors such as solar pond, evacuated tubes or concentrators.
3. Small scale applications of photovoltaic cells is commercially spread all over the world, but their application for large scale is questioned unless a break through in developing a reasonably inexpensive cells is made.
4. Results indicated significant promise of using pond for driving reverse osmosis plants where the water production cost using solar energy is US\$3.5/m^3 which is almost half the production cost of desalination plants using fossile fuel.
5. Data on the economics of solar desalination plants are scanty and further information are required to justify the economic viability.
6. The thermal performance of a single solar stills, using UAE solar data, is reported.

5. NOMENCLATURE

A - Area in meter square.
L - Latent heat of vaporization.
G - Solar radiation Wh/m^2.
h_1 - Heat transfer coefficient $Kcal/m^2/hr$.
h_2 - Radiant heat transfer coefficient $Kcal/m^2/hr$.
m - meters.
m/s - meter per second.
P - Power in watts.
Q_{ev} - Heat transfer by evaporation.
Q_r - Radient heat transfer.
T_w - Water temperature °C.
T_g - Glass temperature °C .
U - Output in $litre/m^2/hr$.
V - Wind speed in m/s.

Other Scrips

Ψ_g - Transmissivity of the cover = 0.9
α_w - Absorptivity of the brine = 0.9
σ - Stefan constant for radiation = 13.45×10^{-12} $Kcal/m^2K$
ε_{wr} - Emissivity of the brine = 0.9

6. REFERENCES

1. Howe, E.D. " Fundamentals of Water Desalination", Environmental Science and Technology series, Volume 1, Marcell Dekker Inc., 270 Madison Avenue, N.W. 10016, 1974.
2. Duffie, J.A. and Beckman, W.A.,"Solar Engineering of Thermal Processes", Willy Interscience Publication, 605 Avenue, N.Y. 10158, 1980.
3. Dunn, P.D.,"Renewable Energy Sources, Conversion and Application.", Peter Peregrinus Ltd, Southgate House, Stevenage, Herts SG11Hg, U.K., 1986.
4. The USAID Desalination Manual, "Desalination by Renewable Energy Sources", 1985.
5. El-Nashar,A.M.," Performance of the Solar Desalination Plant at Abu Dhabi, Desalination J., No. 72, 405-424.
6. Hamed, O.A. and Aly, S.," Simulation and Design of MSF Desalination Processes", International Journal of Desalination, Volume 80, 1991.
7. Hamed, O.A. and Al-Jabri, J.A.S.," Simulation and Performance of an MES Solar Desalination System", Accepted for publication in the International Renewable Energy Congress, Reading, U.K., Sept. 1992.
8. Toyama, S., Aragaki, K. and Murase, K.," Simulation of a Multi-effect Solar Desalination", Desalination J., No. 45, 101-106, 1983.
9. Eisa,ET.I, El-Mehaideb, R.A. and Abdalla, W.E.," Analysis of Wind Energy Potential in UAE", Dirasat Hundasia, Faculty of Engineering, UAE University, Vol. 4, No.1, 1412 A.H./1991.
10. Energy & Meteorological Station, UAE University Farm, Al-Oha, UAE,"Solar & Wind Data Report", 1989-1991.

11. Desalination Technology 92, Proceedings of an intensive course on desalination held at Water & Electricity Dept., Engineering Section for Information, Abu Dhabi, 1992.

تنمية مصادر بديلة للمياه في البلاد العربية

باستخدام وسائل الاستشعار عن بعد

(تحلية المياه طبيعياً)

الدكتور شحته عمر الخطيب

تنمية مصادر بديله للمياه في البلاد العربية
بإستخدام وسائل الإستشعار عن بعد
(تحلية المياه طبيعياً)

د . شحته بن عمر الخطيب

مدير برنامج الدراسات العليا في علوم الصحراء والأراضي القاحله
رئيس قسم العلوم الفيزيائيه والهندسيه
جامعة الخليج العربي ، ص . ب ٢٦٦٧١
المنامه - دولة البحرين

الخلاصـــــــة

تقدم هذه الورقه فكرة لمراعاة التكامل بين موارد المياه السطحيه والجوفيه وذلك بخفض ملوحة مياه بعض الخزانات الجوفيه عالية الملوحه والمنتشره بكثره في بعض مناطق الوطن العربي وخاصة في الجزيره العربيه ، قد تبدو التكاليف مرتفعه لتغيير مجرى وادي أو أوديه إلا أنها على المدى الطويل تعتبر ذات تكاليف نسبة قليله إذا ما قورنت بالتكاليف الباهظه ذات الإستمراريه لعمليات تحلية مياه البحر ذات التقنيات المحتكره من قبل الدول المالكه لهذه التقنيات .

Abstract

This paper presents an outline of a technique that can aid in the integration of the surface water resources with the groundwater resources in our arid region. This technique consists of lowering the salinity of Brackish groundwater basins, which are abundantly present in many Arab countries and especially in the Arabian Peninsula, by artificially recharging them by rain water. The cost of this technique, which could involve diverting a number of valleys, could be very high. However, on the long run this cost will be relatively small if compared to the consistently high costs of the desalination operations. Furthermore, it is noteworthy that at present the high cost desalination operations produce only about 2 billion cubic meters per year, while the annual volume of surface water that can be utilized in this technique is about 100 billion cubic meters.

مقدمـــة

١. يتناول هذا البحث قضية حيوية من قضايا الوطن العربي تزداد أهميتها من عام إلى آخر ألا وهي موارد المياه . ولعل المياه هي أهم مورد طبيعي ومصدر للحياه في المنطقة العربية على وجه الخصوص والتي تقع ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة من العالم مما ينجم عنه ندرة في مواردها المائية . وقد حذر الخبراء المحليون والعالميون مراراً وتكراراً من تفاقم مشكلة ندرة المياه في المنطقة بل وذهب بعضهم إلى القول أن الصراع على موارد المياه وليس البترول هو الذي سيحدد مستقبل المنطقة في العقود القريبه القادمة .

٢. تنحصر الموارد التقليدية للمياه في الوطن العربي في الإنهار (والتي تنبع في غالبها من خارج الوطن العربي ولن يتم التطرق إليها في هذه الورقة نظراً لأن هناك عشرات الأبحاث التي تعني بأنهار الوطن العربي ومواردها المائيه) والأمطار والمياه الجوفية ، وفي كثير من الأحيان يغيب التكامل بين هذه الموارد (السطحية والجوفية) وهذا ماتطرحه هذه الورقة . ولقد نشأت فكرة هذا البحث من واقع تجربة في مجال الجيولوجيا الحقليه لأكثر من ثمانية عشر عاماً في الجزيرة العربية لاحظنا خلالها وجود كميات كبيرة من المياه الجوفية ذات ملوحة عاليه وبالقرب منها وفي موسم الشتاء تجري الأودية والسيول تندفع في مجراها محدثة أضراراً وخسائر ومندفعه إلى مناطق أخرى ، وبعد دراسة شامله للجزيره العربية بصور الأقمار الصناعية والصور الجوية ومن ثم إدارة برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة بجامعة الخليج العربي والتركيز على التصحر وندرة المياه في المنطقة وفي هذا المناخ ولدت هذه الفكره .

٣. يسقط على الوطن العربي مايعادل ٢٢١٣ مليار م٣ سنوياً من الأمطار تختص السودان (٦ر١٧٪ من مساحة الوطن العربي) بما يقارب نصف هذه الكمية ، إلا أن التساقط يعتمد غالباً على كثافة الهطول والتوزيع والتكرار مع ملاحظة أن الجزء الأكبر من هذه الأمطار يسقط على سلاسل الجبال والمرتفعات في المنطقة وما ينتج منها يعتبر محدوداً نسبياً وذلك نتيجة لمعدل التبخر العالي . أما من ناحية المياه الجوفيه فلا تتجاوز ٢٩ مليار م٣ تقدر كمية الأمطار المتجدده فيها بالربع تقريباً .

٤. أما الموارد الغير تقليدية فتتمثل في تحلية مياه البحر والتي لجأت لها بعض الدول العربية ، خاصة دول مجلس التعاون الخليجي لتأمين بعض مصادر مياهها بهذه الطريقة وتعتبر المملكه العربيه السعوديه رائدة في هذا المجال إذ تختص بإنتاج ٤٥٪ من هذه الكمية وتقدر بحوالي مليار م٣ سنوياً . ولا يغيب عن المخططين وواضعي السياسات الإستراتيجية التكاليف الباهظة لعمليات تحلية مياه البحر وإستيراد غالبيه التقنيات اللازمه .

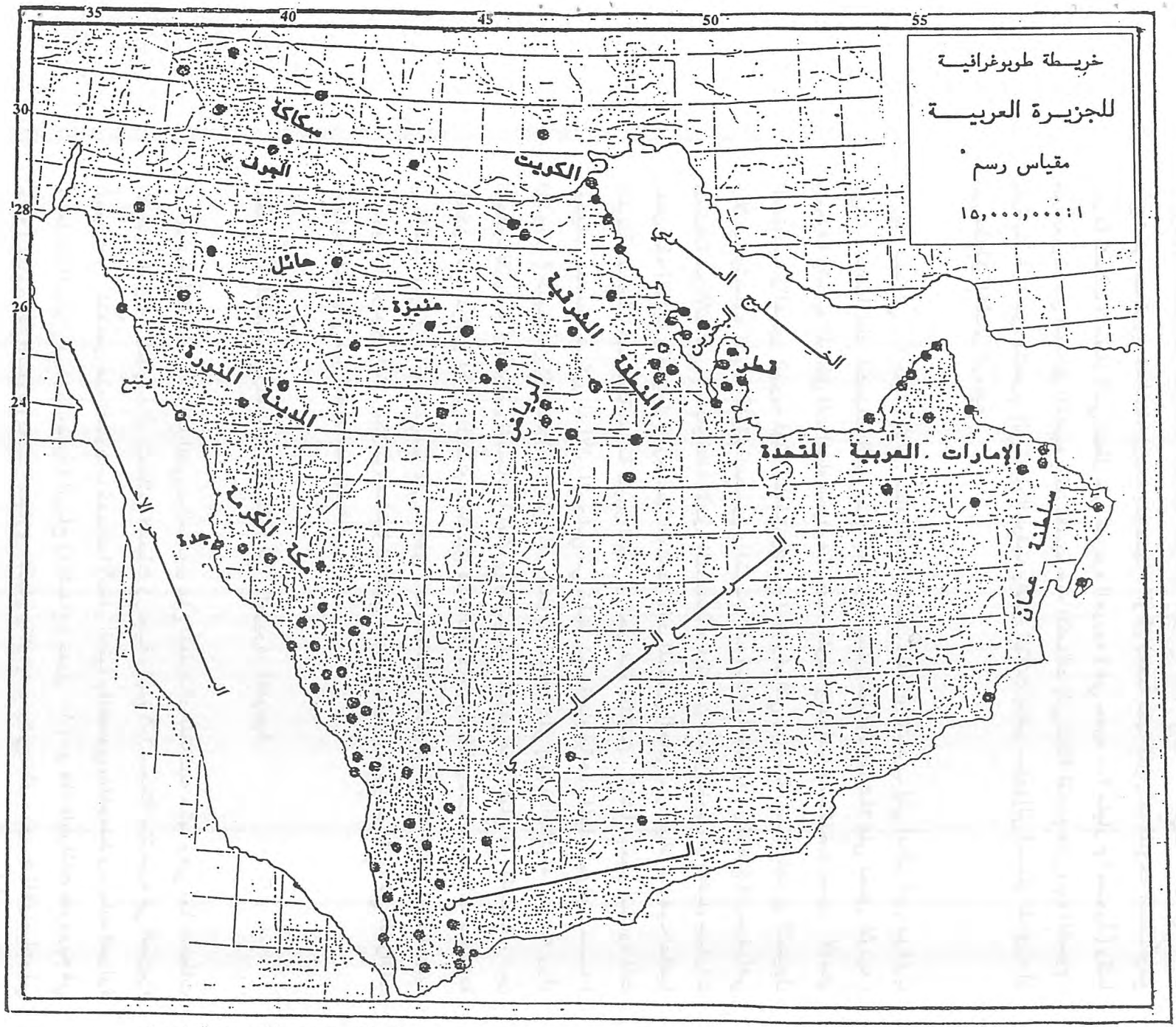
٥. ومن هذا المنطلق ستركز هذه الورقه على التكامل بين الموارد السطحيه (مياه الأمطار على

وجه الخصوص) وموارد المياه الجوفيه (المتجدده منها) في الجزيره العربيه ، حيث من المعلوم أن إزدياد السحب من الخزانات الجوفية لأغراض التوسع الزراعي والصناعي والعمراني قد أثر على تدني مستوى هذه المياه وزيادة ملوحتها ، أو أن بعضاً منها كان زائد الملوحه أساساً ومع معرفة كميات الأمطار التي تهطل على الجزيره العربيه (في حدود ٣٠٠ مليار م٣ سنوياً) وكما هو معروف من الحقائق العلميه يمكن تقسيم هذه الكميات إلى ثلاثة أقسام على وجه العموم : جزء يتبخر ، جزء يتسرب إلى المياه الجوفيه والجزء الثالث يذهب سدى إلى البحار المجاوره أو إلى مناطق الكثبان الرمليه .

٦. إذن فحوالي ١٠٠ مليار م٣ من مياه الأمطار تذهب سدى أو تتسرب إلى أماكن غير مرغوب فيها ، ماعدا تلك الكميات التي تقوم بحجزها بعض السدود المنشأة على بعض الأوديه ، وبمعرفة وتحديد المناطق ذات المياه الجوفيه العاليه الملوحه وبدراسة مستفيضه لصور الأقمار الصناعيه والصور الجويه لهذه المناطق والمسح الطبوغرافي ودراسة دقيقة لمجاري السيول والأوديه وتساقط المياه وأنواع الصخور والتربه (المساميه والنفاذيه) والوضع الديموغرافي للمنطقة مع الأخذ في الإعتبار كافة الأمور الهندسية ، فإنه من الممكن تحويل أو تعديل مسارات بعض هذه الأوديه والسيول وتوجيهها للمناطق ذات المحتوى العالي من المياه الجوفيه عاليه الملوحة نسبياً ، وبمراقبة سرعة مرور المياه أو غمر هذه المناطق ، بإنشاء بعض السدود ذات نوعيات مناسبة سيكون له الأثر الإيجابي في خفض نسبة ملوحة هذه المياه الجوفيه (المتجدده) طبيعياً وبتكاليف قليله على المدى الطويل ، علاوة على إستخدام المياه المخزونه وراء السدود للزراعة والأغراض الإنسانية الأخرى وتأثيرها المتوقع على المناخ في المنطقة . من الممكن وفي المراحل الأولى القيام بتطبيق هذه الفكره على مناطق ذات مساحات محدودة وبتكاليف دنيا ومن ثم تعميمها على مناطق ذات مساحات أكبر في المملكه العربيه السعوديه والجزيره العربيه والتي يمكن بواسطتها التأثير على مستوى ونوعيات المياه في الخزانات الجوفيه إقليمياً (عبر الحدود السياسية) .

المعلومات المناخية وكميات الأمطار في الجزيره العربية

٧. يوضح شكل (١) المواقع التي تم الحصول على المعلومات المناخيه منها وهي أما محطات الأرصاد الجوية ، المطارات أو محطات لأبحاث زراعية وتبلغ ١٠٩ محطة منتشره في الجزيره العربيه . تتضمن هذه المعلومات كميات الأمطار الدنيا والقصوى والمتوسط ودرجات الحراره ومعدلات البخر والرطوبة وسرعة الرياح والإشعاع (جدول - ١) ، و هذه البيانات ضروريه في حالة إنشاء بعض السدود وتغيير مجاري الأنهار والأوديه ، وهي تمثل متوسط القياسات في السنوات الأخيرة (من خمسه - عشرة سنوات) . وتبين بعض هذه الجداول أن أقل كمية مطر في المتوسط سجلت في منطقة السواده على الأطراف الغربيه للربع الخالي ٥٠ر٥ مم٣/سنوياً في حين سجل أعلى معدل للأمطار في منطقة النماص - جنوب المملكه العربيه السعوديه ٤٨٥/



شكل رقم (١) : مقياس رسم تقريبي ١ : ١٥,٠٠٠,٠٠٠ خريطة للجزيرة العربية تبين
بعض الإقليمات المناخية .

STATION NAME: MARMUL | LONG. 56:39 | LAT. 18:23 | ELEV. 269

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC	YEAR
AV.MAX.TEMP	26	28	32	36	41	42	43	43	39	34	31	27	35
AV.MIN.TEMP	11	13	17	21	25	26	26	21	20	19	16	12	19
MEAN	18.5	20.5	24.5	28.5	33	34	34.5	32	29.5	26.5	23.5	19.5	27
RANGE	15	15	15	15	16	16	17	22	19	15	15	15	16
RAINFALL	0	3.8	2.7	4.1	0	0	0.8	0.1	0	0	0	0	11.5
R.H. %													
AV.MAX.HUM	84	88	87	83	75	56	59	66	84	86	83	85	78
AV.MIN.HUM	34	32	21	17	11	8	15	16	18	20	25	35	21
MEAN	59	60	54	50	43	32	37	41	51	53	54	60	49.5
EVAPORATION													
SUN-SHINE	10	10.5	10.8	11.3	11.9	11.2	10.7	11.1	11.2	10.9	10.3	9.7	10.8
RADIATION	542	627	669	706	711	622	599	650	673	951	559	498	7807
WIND SPEED	12	18.6	20.1	17.4	16.3	16.7	15.7	13.5	15.7	15.4	11.6	12.5	15.4
BIO.TEMP	18	18.4	20	21.6	23.4	23.8	24	23	22	20.8	19.6	18	21

(2)

جدول رقم (١) عينه من جداول المعلومات المناخيه للجزيره العربيه - منطقة المرمول - عمان وتبين نسبة أمطار في حدود ٥ر١١ مم٣/ سنه أما أقل نسبه أمطار فسجلت ٥ر٥ مم٣/ سنه في منطقة السواده غرب حدود الربع الخالي .

مم٣/سنوياً . ومن متوسط النقاط المنتشره عبر الجزيره العربيه أمكن حساب متوسط التساقط في حدود ١١٦ر٣٣ مم٣/سنوياً وهي تقارب إلى حدما المتوسط الذي ورد في تقرير المنظمة العربية للتنمية الزراعية ١٩٨٧م والذي ذكر أن متوسط التساقط في المملكه العربيه السعوديه ١٢٦ر٧٩ مم٣/سنوياً دون أن يأخذ في الإعتبار باقي دول المنطقة .

٨. وبنظره تحليليه للبيانات (جدول - ٢) يمكن ملاحظة أن أعلى نسبة تساقط في الجزيره العربيه تقع جنوب - جنوب غرب المملكه العربيه السعوديه وفي اليمن وبعض مناطق أخرى في سلطنة عمان حيث يبلغ متوسط التساقط في هذه المنطقة أكثر من ٣٠٠ مم٣/سنوياً ويؤكد ذلك الشكل (٢) والذي يوضح مناطق التساقط المرتفع بعد أن عولجت هذه المعلومات بالحاسب الآلي ، وإذا تم إستبعاد هذه المنطقة من حساب المتوسط أصبح المتوسط السنوي للتساقط ٧٦,٣٤ مم٣/سنوياً وبمعادلة بسيطة يمكن إحتساب كميات التساقط (على وجه التقريب) في الجزيره العربيه بإعتبار أن المساحه التقريبيه حوالي ثلاثة ملايين كيلومتر مربع ومتوسط التساقط ١٠٠ مم٣/سنويا (وليس ١١٦ر٣٣ مم٣/سنوياً) لتبلغ كميات الأمطار حوالي ٣٠٠ مليار م٣ في العام .

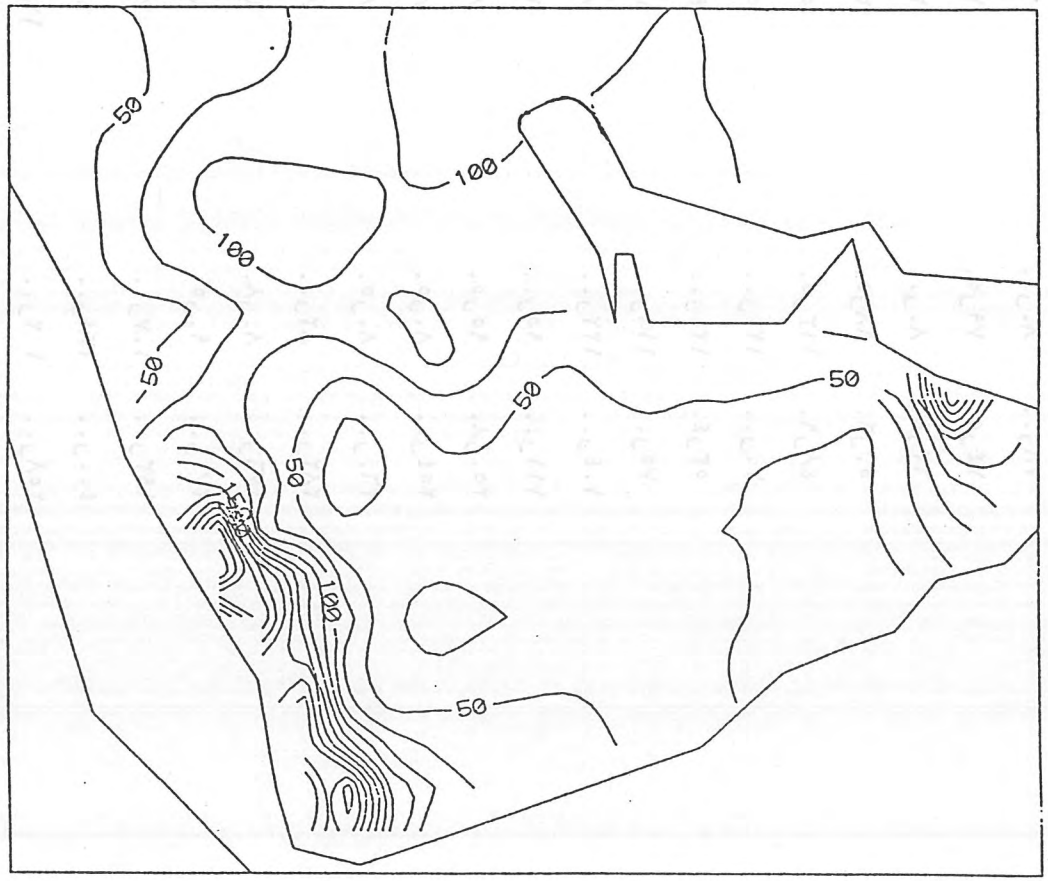
٩. كما أسلفنا وكما هو معروف من الحقائق العلمية إن ثلث هذه الكميه (حوالـــي ١٠٠ مليـار م٣) ينتهى إلى البحار المجاوره أو إلى مناطق الكثبان الرمليه (حيث يمتص ولا يتحرك بالجاذبيه) . أما باقي المعلومات المناخيه والموضحه بجدول (١) فهي ذات أهمية متباينه ستكون ذات أهمية بالغه عند تنفيذ مشاريع تحلية المياه طبيعياً .

الإحتياجات المائية

١٠. كما سبق وأن أوضحنا فإن مجموع ما يتم تحليته من مياه البحر في منطقة (دول مجلس التعاون) يبلغ حوالي مليارين م٣/سنوياً وبمبالغ طائله لها طابع الإستمراريه ، وذلك لمواكبة التطور الحضاري والصناعي التي تعيشه المنطقه وخاصه المدن الكبرى . أما بالنسبه للزراعة وهي أحد المحاور الإستراتيجيه في خطط الدول العربيه لبناء مستقبل يعتمد إلى درجة كبيرة على المنتجات الزراعيه ومحاولة الوصول الإكتفاء الذاتي منها ، فهي بحاجه إلى كميات كبيره من الموارد المائيه وخاصه الجوفيه منها ، حيث إن النشاطات الزراعيه التي إزدهرت في العقد الماضي في بعض الدول العربيه إستنزفت كميات كبيره من مخزون المياه الجوفيه . وقد ورد في تقرير للدكتور / منذر حدادين أنه مع مطلع عام ١٩٨٨م إنقسمت الدول العربيه إلى قسمين من ناحية الموارد المائية ، قسم كانت الموارد المائيه والأراضي الزراعيه فيها تكفي لدعم السكان وهي السودان ، تونس ، العراق ، سوريا ، المغرب وليبيا أما الأمطار التي نقصت فيها هذه الموارد عن حاجة سكانها فهي بالترتيب : الكويت ، قطر ، البحرين ، موريتانيا ، عمان ، الأردن ، الإمارات العربيه المتحده لبنان ، فلسطين ، المملكه العربية السعوديه ومصر .

٠ر٥٠ (منطقة السواده)	٠ر٦٨١	٠٠ر٤٨	٠٠ر٨٠	٠٠ر٥٠	٠٠ر٣٧٠
٠٠ر٢٦	٠٠ر٨٢	٠٠ر٤٩	٠٠ر٨٥	٠٠ر٤٢	٥٠ر٤٣٩ (تعز)
٥٠ر١١	٠٠ر٨٢	٠٠ر٧٥	٤٨٥ (النماص)		
٠٠ر١٤	٠٠ر٨٥	٠٠ر١١٢			
٠٠ر٣٢	٠٠ر٩٢	٠٠ر٥٠			
٥٠ر٣٥	٥٠ر١٣٤	٠٠ر٧٨			
٧٠ر٢٤	٢٠ر٧٥	٠٠ر٨٤			
٠٠ر٢٣	٠٠ر٨٠	٠٠ر٧٨			
٠٠ر٣٨	٥٠ر٧٩	٥٠ر٧٤			
٠٠ر٣١	٠٠ر٨٠	٨٠ر٦٢			
٠٠ر٣٦	٥٠ر٩٨	٦٠ر٥٠			
٠٠ر٥٠	٥٠ر١١٣	٩٠ر٤٨			
٥٠ر٥٠	٠٠ر١٢٤	٠٠ر٧٠			
٥٠ر٤١	٠٠ر١٢٠	٤٠ر٥٣			
٦٠ر١٠	٠٠ر١١٩	٠٠ر٧٥			
٥٠ر٧١	٠٠ر١٢٢	٠٠ر١٠٤			
٥٠ر٦٦	٠٠ر٩٥	٠٠ر١١١			
٨٠ر٧٧	٥٠ر٩٥	٨٠ر٢٥٠			
٠٠ر٧٩	٥٠ر٨٠	٠٠ر٢٥٤			
٦٠ر٧٨	٥٠ر٨٠	٠٠ر٢٦٠			
٦٠ر٧٠	٠٠ر٨٢	٠٠ر٢٨٢			
٢٠ر٦٥	٨٠ر٨٠	٠٠ر١٧٦			
٠٠ر٦٩	٥٠ر٩٠	٠٠ر٢٧١			
٣٠ر٧٣	٠٠ر١٠٧	٠٠ر١٩٣			
٠٠ر٩٩	٠٠ر١٣٨	٠٠ر٤٠٠			
٠٠ر١٢٤	٠٠ر١٠٢	٠٠ر٢٥٨			
٠٠ر٩٦	٣٠ر٩٣	٠٠ر٤٠٠			
٠٠ر١٠٥	٠٠ر١١٠	٠٠ر٢٨٢			
٥٠ر٩٣	٠٠ر١١٢	٠٠ر٣٦٨			
٠٠ر٩٦	٠٠ر١٠٩	٠٠ر٣٠٧			
٠٠ر١٢٧	٢٠ر٤٨	٠٠ر٣٥٩			
٠٠ر٨١	٠٠ر٥٠	٠٠ر٢٩٤			
٠٠ر١٠٧	٠٠ر٦٠	٠٠ر٣٢٣			
٠٠ر١٠٠	٠٠ر٣٨	٠٠ر٢٨٠			

جدول رقم (٢) يبين قيم متوسطات سقوط الأمطار بالمليمتر المكعب في أماكن متفرقه من الجزيره العربيه



شكل رقم (٢) يبين خريطة توزيع متوسط سقوط الأمطار في الجزيرة العربية .
(عولجت المعلومات بالحاسب الآلي) .

١١. ويلاحظ أن دول مجلس التعاون تأتي في المجموعة الثانية ذات الموارد المائيه والزراعيه المحدوده ، وفي كلتا الحالتين فإن نصيب الدول العربيه بصفه عامه من الموارد المائيه المتجدده لا يمثل سوى ٧٤ر٠٪ من المياه المتجدده في العالم بحيث لايزيد نصيب الفرد منها في الوطن العربي عن ١٧٠٠ م٣/سنوياً في حين يقترب المعدل العالمي من ١٣٠٠٠ر م٣/سنوياً .

١٢. وبناءا على ماسبق ولحاجة هذه الدول للتنميه الزراعيه فإن خطورة العجز المائي ستظهر في عدم توفر الإحتياجات المائية المطلوبة لإستزراع ملايين الأفدنه من الأراضي القابله للإستصلاح والزراعة من أجل مواجهة الفجوة الغذائية الكبيرة في الوطن العربي . إن حجم الطلب على المياه للإستهلاك الأدمي سيرتفع أيضاً وبدرجة ملحوظة مع تحسن المستوى المعيشي والدخل القومي لبعض الدول العربيه وسيكون من أسباب ذلك تعميق العجز المائي في الوطن العربي . إضافة إلى ماسبق فإن دور التصحر وإنحسار معدل الأمطار على الوطن العربي سيساهم بدرجه أو أخرى في تعميق العجز المائي الذي تعاني منه حالياً ، وهذه الأسباب مجتمعه تحتم مواجهة مبكرة لهذا التحدي وذلك بالتحرك المبكر لحصر وتحديد مواقع خزانات المياه الجوفيه في الوطن العربي ورسم الخطط لإستثمارها وتأمين الحاجة المتزايده لمياه الري والإستخدام البشري الأمثل لهذه الموارد خاصة إذا علمنا أن العجز المائي العربي سيبلغ عام ٢٠٣٠ م أكثر من ٩٧ مليار م٣ من المياه .

تطبيقات الإستشعار عن بعد والدراسات الحقليه

١٣. بعد تحديد المشكلة وإيضاح الحاجة الماسه للإهتمام بمخزون المياه الجوفيه في الوطن العربي بصفه عامه والجزيره العربيه بصفه خاصه ، ومن واقع وجود كميات كبيرة من المياه الجوفيه ذات درجة ملوحة عاليه أصلاً أو بفعل إستنزف المياه من هذه الخزانات الجوفيه لأغراض الزراعة والصناعة والإستعمالات الأخرى ، وبحساب كميات الأمطار التي تسقط على الجزيره العربيه كما أسلفنا في حدود ٣٠٠ مليار م٣ وأن ثلث هذه الكمية ١٠٠ مليار م٣ تقريباً تذهب سدى إلى البحار المجاوره أو مناطق الكثبان الرمليه ، عدا ما يتم حجزه حالياً نتيجة لإنشاء السدود على الأوديه وهذا لا يمثل إلا نسبة ضئيله ، وأنه من الممكن إستخدام هذه المياه أو جزء منها في إعادة تغذية الخزانات الجوفيه ذات المياه العاليه الملوحة وتحليتها طبيعياً وذلك بالسيطره على الأوديه ومجاري السيول وتحويل مساراتها وإنشاء بعض السدود مع التركيز على السدود الترابيه البسيطه والقيام بالتجربة على مناطق محدودة كما سيأتي ذكرة لاحقاً وما ستلزم ذلك من دراسة وافيه لهذه المناطق بطرق الإستشعار عن بعد المختلفه وجمع المعلومات الحقليه التفصيليه.

١٤. ويمكن إيجاز هذه الدراسات بمايلي :

- جمع كافة المعلومات المتوفره أو المطلوبة عن الخزانات الجوفية ونوعية المياه مع التركيز على تحديد مناطق التغذيه الطبيعيه والتي بدورها ستساعد في عمل الدراسات اللازمه لتحويل بعض الأوديه والسيول إلى هذه المناطق مما ينتج عنه خفضاً في تكاليف المشروع ويضمن نجاحاً أوفر لهذه الفكره ، ويمكن جمع كافة هذه المعلومات على هيئة خرائط أو أطالس .

- دراسات جيولوجيه وجيولوجيه هندسيه بتحديد أنواع الصخور في المنطقة مع دراسات تفصيليه للأوديه وروافدها وطبوغرافيه المنطقة .

- دراسة أنواع التربة في الأوديه والمناطق الفيضيه خاصة المساميه والنفاذيه لأنه على هذه الخواص يتوقف نجاح عمل السدود المزمع إقامتها لتغذية الآبار كذلك يجب الأخذ في الإعتبار المهد الصخري وإنحدار الصرف السطحي والبروزات الصخرية المنتشره في المنطقة والتي تتكامل مع خواص التربه وتأثيرها على التوصل الهايدروليكي وتقليل كميات المياه المفقوده بالبخر .

- دراسة تركيبيه تحليليه Structural Analysis لتحديد الفوالق والصدوع والفواصل لمعالجتها قبل تحويل مجاري الأوديه أو السيول إلى هذه المناطق .

- دراسة مساقط المياه ودرجة إنحدارها قبل أن يتم تجمعها في المناطق الفيضيه مع ملاحظة أن معدل الأمطار على إنحدارات بعض الأوديه يختلف عن وسط الوادي أو منطقة الفيض .

- دراسة الأوديه الكبيره بفروعها الرئيسية وتحديد الوضع الطبوغرافي وتغذية الروافد .

- ولكون أن الجزء الهام في هذا البحث هو السيول التي تتجمع في الأوديه الكبيرة ومناطق الفيض فيجب أن يؤخذ في الإعتبار معرفة معدل التكرار والذروه التي تقاس بفارق زمني معين.

- دراسة ديموغرافيه عن التوزيع السكاني وإستخدامات الأراضي والأخذ في الإعتبار حالة النباتات والحيوانات في المنطقة .

تفسير صور الأقمار الصناعيه والصور الجويه

١٥. بعد جمع المعلومات السابقة والقيام بالدراسات المطلوبه الأخرى وتحديد المناطق الغنيه بالمياه الجوفيه ذات الملوحه العاليه يتم إسقاط هذه المناطق على صور الأقمار الصناعيه والتي سبق وأن تم تحديد نظام الأوديه والصرف المائي عليها Drainage pattern Analysis وكذلك

الوضع التركيبي . ومن ثم تحديد كميات المياه المنتظر تجمعها في هذه الأوديه وفروعها وروافدها وطرق مساراتها قبل وصولها إلى البحار أو مناطق الكثبان الرملية ومن ثم دراسة وتحديد أنسب السبل هندسياً لتوجيه هذه المياه إلى أقرب المناطق الغنية بالمياه الجوفيه ذات الملوحه العليا .

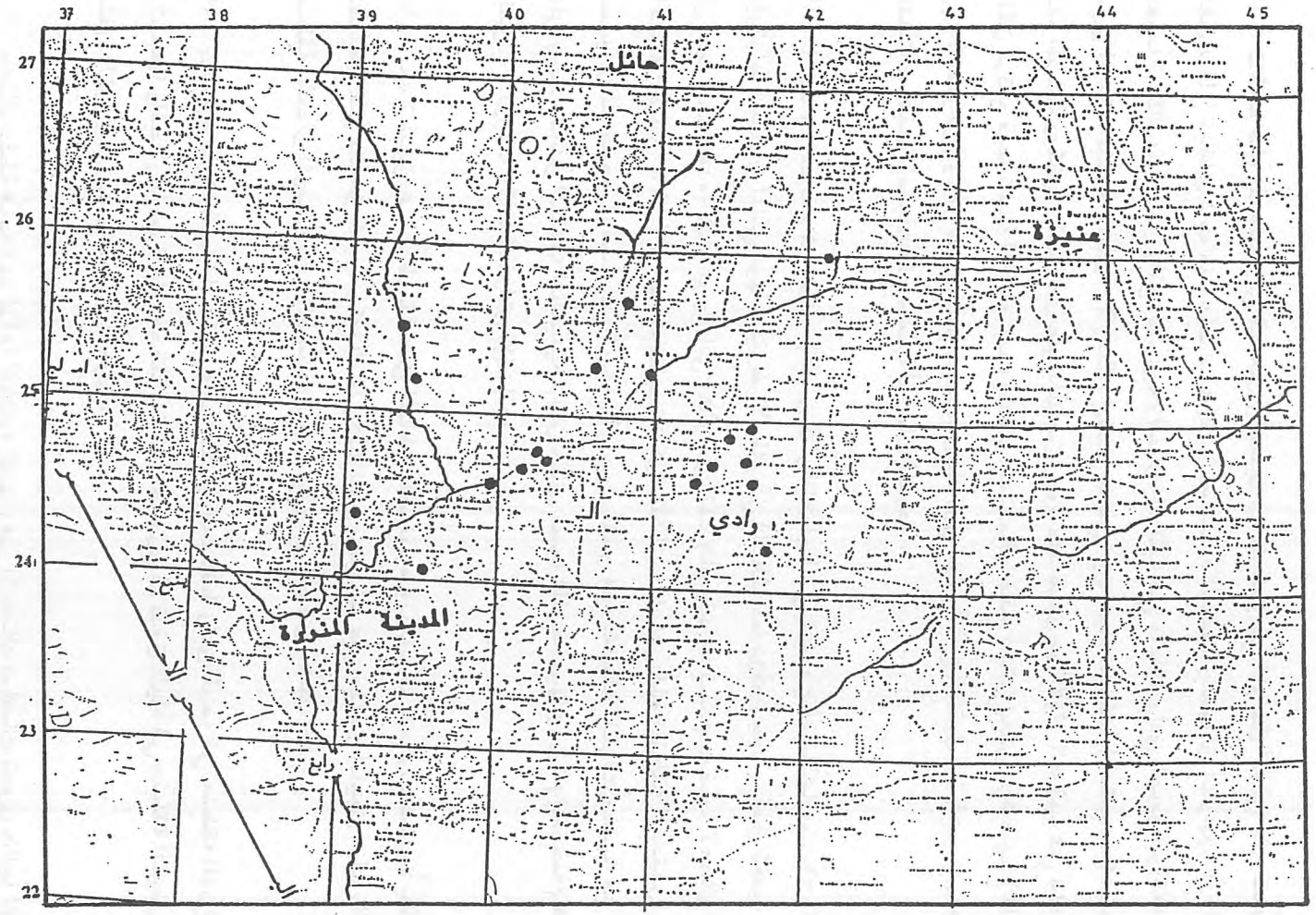
١٦. تنقسم هذه العمليه إلى قسمين رئيسين : التركيز في المراحل الأولى على تطبيق هذه الفكره على مناطق ذات مساحات محدوده وبإستخدام السدود والعوائق الترابيه أو البسيطه خفضاً للتكاليف . ومن واقع التجربه والخبره الحقليه في منطقة وادي الحسو الواقعه جنوب شرق المدينه المنوره (شكل - ٣) يمكن إيضاح مايلي : إن المياه الجوفيه (المتجدده) متوفره في هذه المنطقة وبكثره وليس أدل على ذلك من وجود عدد كبير من الآبار الجوفيه في هذه المنطقة ولكن ترتفع فيها نسبة الملوحه حيث يقتصر إستعمالها فقط لسقيا بعض الماشـــيه (الماعز على وجه الخصوص) ولأغراض زراعيه محدوده وذلك لري بعض أنواع النخيل وأنواع محدوده جداً من النباتات الأخرى إعتماداً على تحملها لدرجات الملوحة .

١٧. وكما هو موضح في شكل (٣) من كثرة للآبار التي تتراوح أعماقها من ١٠-٣٠ متراً ، وإرتباط المستوى المائي فيها بسقوط الأمطار في المنطقة مما يؤكد وجود مناطق تغذية طبيعية لأن عمر بعض هذه الآبار يرجع إلى أكثر من ألف عام وقد إستخدم بعضها لأعمال التعدين القديمه (صابر ١٩٩٠) . فلو تم تطبيق فكرة هذا البحث على هذه المنطقة الصغيرة المساحة نسبياً وذلك بتحويل مسارات الأوديه والسيول لغمر هذه المنطقة لفترات معنيه مع التركيز على وجود مناطق التغذيه الطبيعيه لأمكن خفض نسبة الملوحه فيها ومن ثم إستخدام هذه المياه للشرب والزراعه وكافة الأغراض الإنسانيه .

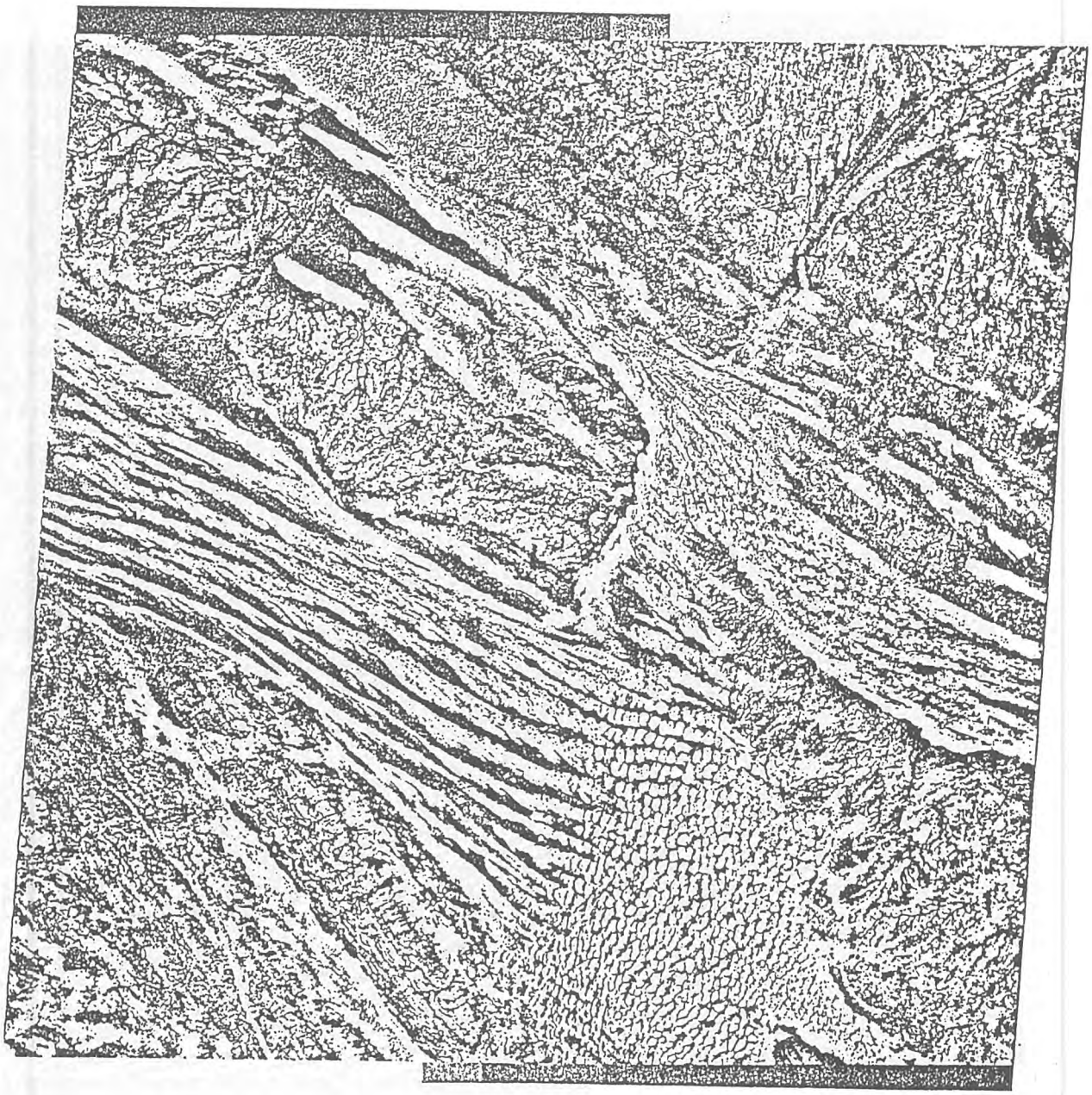
١٨. بعد تطبيق هذه الطريقة على المناطق الصغيره وبتكاليف محدوده نسبياً يمكن لاحقاً تطبيقها على مناطق كبيره وكمثال على ذلك يمكن تطبيقها على مناطق الفيض لوادي الرمه في منطقة الكثبان الرمليه قرب القصيم وقبل بداية وادي الباطن (شكل - ٤) .

١٩. توضح صورة الأقمار الصناعيه في شكل (٥) مساقط وادي الرمه في منطقة الدرع العربي وتجمعها وإنحدارها شرقاً إلى منطقة الغطاء الصخري ثم تدفق المياه في منطقة الفيض المغطاه بنفوذ الثويرات وبعض العروق الأخرى .

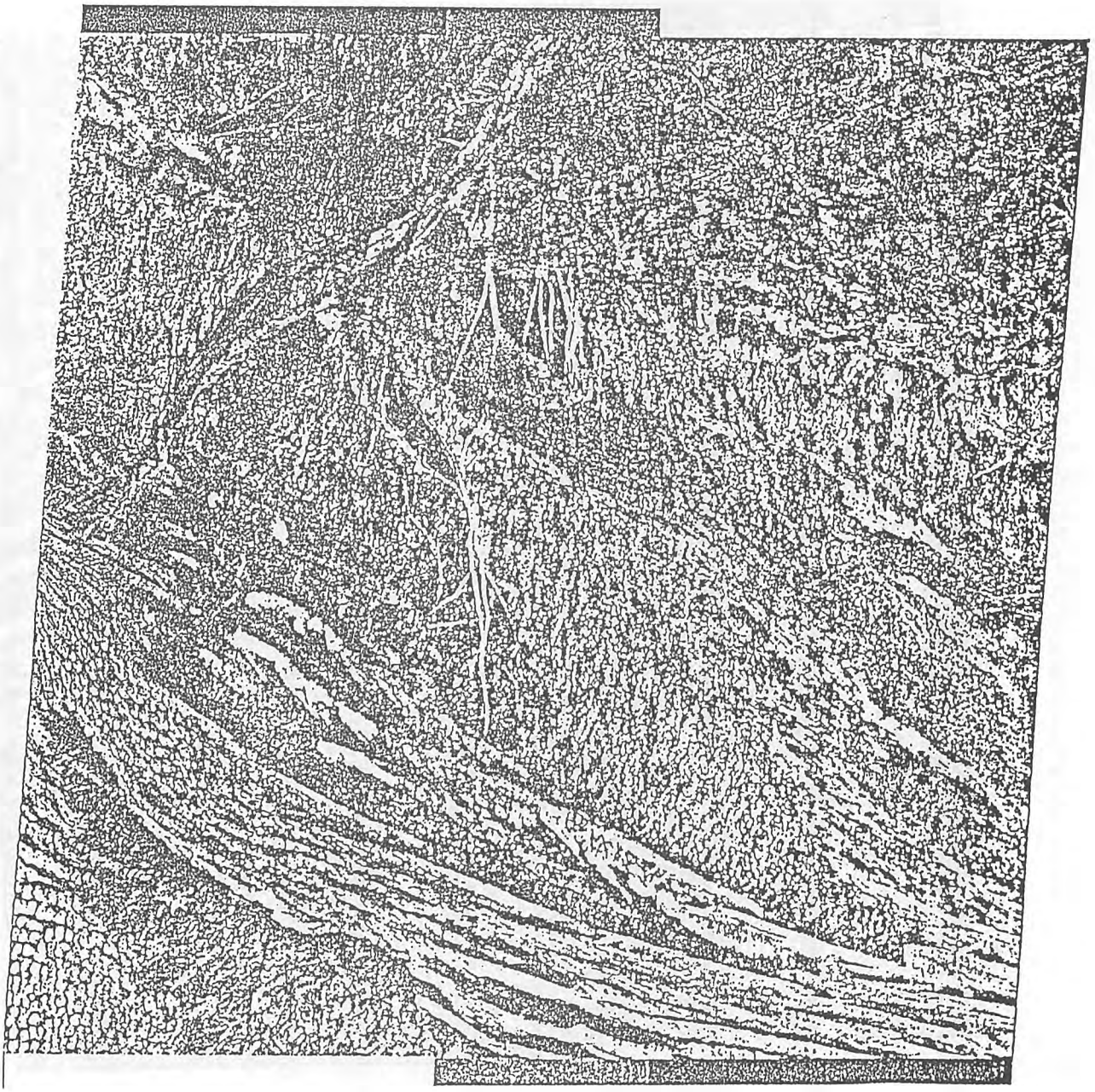
٢٠. وهناك نقطة هامه أجد لزاما الإشاره إليها وهي إن هناك دراسات تجري حالياً للإستغلال الأمثل لمياه رواسب الأوديه في المملكه العربية السعوديه في مناطق السيول وتنمية مواردها وهذه الدراسه قائمه على مايبدو في أودية الدواسر والرمه والخرج وهي مناطق تبدو لأول وهله بأنها جافه إلا أن تنمية مواردها المائيه قد تمثل أساساً للتنميه الزراعيه ، وآمل أن تؤخذ فكرة



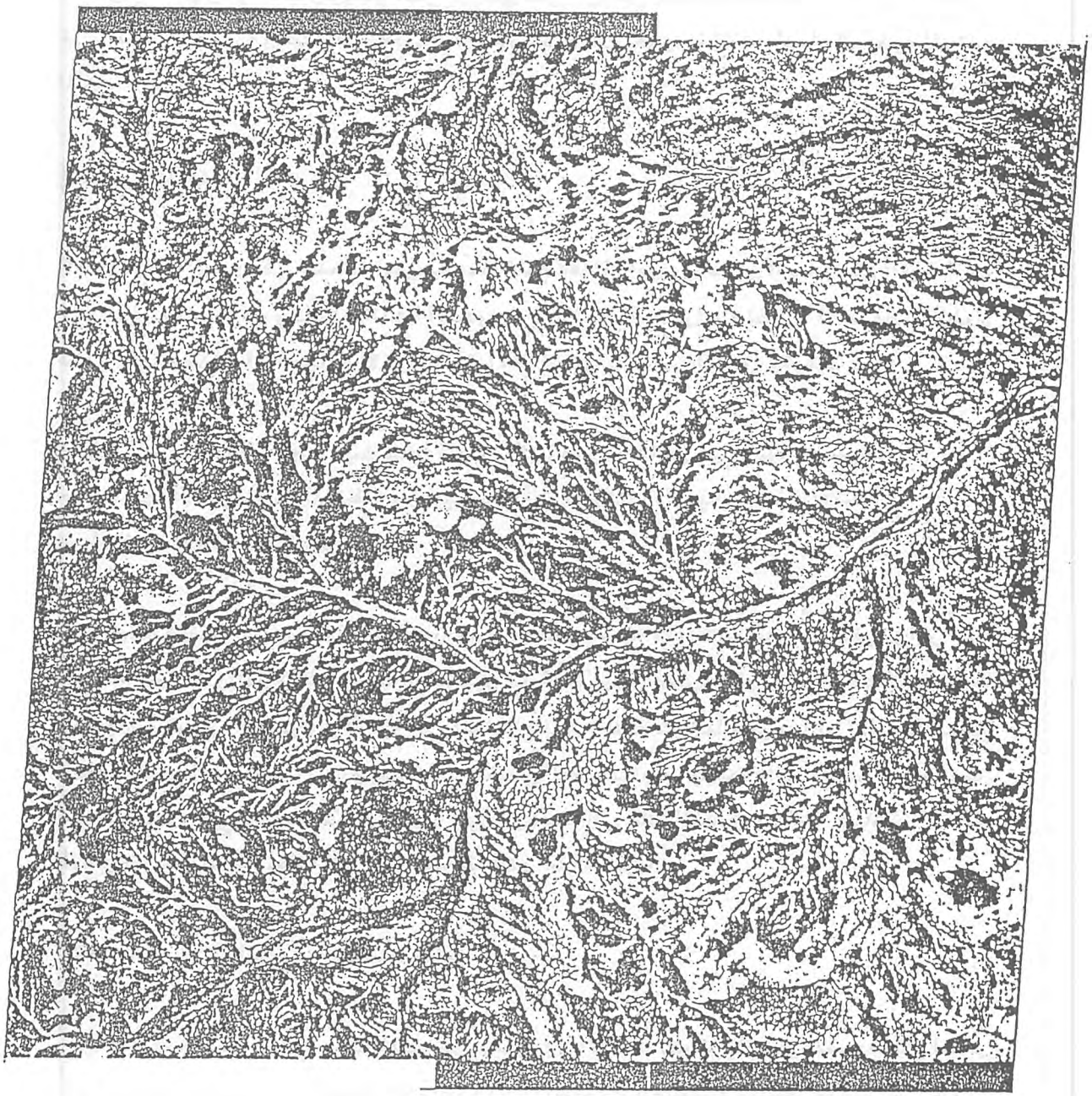
شكل رقم (٣) مقياس رسم ١ : ٥٠٠٫٠٠٠ توضح مكان منطقة وادي الحسو – الصفراء شرق المدينة المنوره .



شكل رقم (٤) صوره من القمر الصناعي الأمريكي مقياس رسم ١ : ١٫٠٠٠٫٠٠٠ توضح منطقة الكثبان الرملية (نفوذ الثويرات) عند نهاية وادي الرمه وبداية وادي الباطن - منطقة القصيم .



تابع الشكل رقم (٤) صوره من القمر الصناعي الأمريكي مقياس رسم ١ : ١٫٠٠٠٫٠٠٠
توضح نهاية وادي الرمه في المنطقة الفيضيه وبداية وادي الباطن .



شكل رقم (٥) صوره من القمر الصناعي الأمريكي مقياس رسم ١ : ١٫٠٠٠٫٠٠٠ توضح مساقط المياه وروافد وادي الرمة في منطقة الدرع العربي وجزء من منطقة الغطاء الصخري (الركن الشمالي الشرقي من الصوره) .

هذه الورقه في الإعتبار قبل إكتمال الدراسه ومحاولة تطبيقها .

٢١. وما يسري على وادي الرمه يسري ايضا على بقية الاوديه مثل وادي الدواسر ، قبل ان ينتهي الى الربع الخالي، وادي الباطن وبعض الاوديه الاخري في شمال غرب المملكه العربيه السعوديه مثل وادي العيس ووادي الفرع ووادي القزاز ووادي الحمض حيث تصب الاربعه الأخيره في البحر الأحمر ، وذلك بعد تطبيق ما سبق ذكره من تحديد خزانات المياه الجوفيه المرتفه الملوحه.

إنشاء السدود

٢٢. عرفت السدود في المنطقه العربيه منذ القدم لأهداف الري وتخزين المياه ومنع الفيضانات في المواسم المطيره ، وغالبا ماتنشأ السدود في المناطق الصحراويه لمحاوله الاستفاده ولاطول فتره زمنيه من مياه السيول، الا أن تحقيق الأهداف من بناء هذه السدود يتوقف على:

- خصائص السيول ذاتها ، حيث كمية المياه وتكرارها ومداها الزمني ونظام الصرف.
- الطبيعه الطبوغرافيه للمنطقه من حيث نوع التربه وشكل الأوديه ودرجات الأنحدار.
- أساليب الأستخدام البشري.

٢٣. وفكرة إنشاء سدود ذات نوعيات وأحجام مختلفه بصفه عامه لاتختلف عن الغرض المراد لها في هذا البحث والفارق الواضح بين الحالتين هو أن السدود المقترحه في هذا البحث يتم بناؤها بعد إعادة توجيه السيول والأوديه الي المناطق المراد تحليه مياهها طبيعيا او اقامتها كعائق لتغير المجري العام للسيول وتوجيهها الى المناطق الغنيه بالمياه الجوفيه ذات الملوحه العاليه ومن ثم السيطره علي سرعة هذه السيول قبل توجهها الى تلك المناطق وخاصة مناطق التغذيه الطبيعيه بعد القيام بكافة الدراسه السابقة التي أشرنا اليها.

الاستفاده من السدود المقامه حاليا

٢٤. يدرك واضعو السياسات المائيه في بعض دول المنطقه أهمية إنتشار السدود على اساس ان التوسع الزراعى في المناطق الزراعيه ذات المساحات الصغيره تعتمد أساسا على سيول الأمطار ويعد موردها المائى الرئيسى ، ومن هذا المنطلق تبنت السياسات المائيه فكره انشاء السدود الغرض منها معالجة الوضع الهيدرولوجي وذلك بتغذيه الآبار الجوفيه السطحيه بدلا من أن يظل هذا المورد المائى خطرا مدمرا يسيل هدرا الى الرمال البعيده عن مناطق تكوينات المياه الجوفيه.

٢٥. تتفق فكره هذا البحث مع كثير من النقاط التي من أجلها أنشئت السدود الا ان الغرض النهائي يختلف بعض الشئ. ففي الحاله الأول الهدف هو تغذيه المياه الجوفيه في مناطق زراعيه ذات نوعيات مياه عاديه صالحه للشرب والزراعه ، أما في حاله بحثنا فإننا نريد توجيه هـــــذه السيول الى المناطق الأنسب والتي تتوفر فيها المياه الجوفيه بدرجات ملوحه عاليه ومن ثم خفض درجات الملوحه وإعادة إستخدامها الأراضى الزراعيه والنشاطات الانسانيه الأخرى مما سيكون له اثر كبيرا في إعادة النشاط لري والإعمار لمناطق كبيره هجرت وانعدم إنتاجها والذي بدوره سيكون له تأثير على التوزيع السكاني والانتاج الزراعى.

٢٦. ويأتي تاثير فكرة هذا البحث اذا اقيمت سدود كبيره نسبيا وساعدت في خفض ملوحة بعض الخزانات الجوفيه الاقليميه آخذين في الاعتبار ان معظم دول الخليج العربي تشترك في بعض الخزانات الجوفيه مثل تكوين الخبر او الدمام او مايعادلها في الوضع الطباقي.

٢٧. أما وقد أنشئت بعض السدود في مكان ما في الجزيره العربيه فنقترح الورقه إضافة هذه المعلومات إلى أطلس خرائط المياه الجوفية ذات الملوحة العاليه لدراسة إمكانية الإستفاده من المياه المحجوزه خلف هذه السدود . فعلى سبيل المثال قد تكون هناك منطقة غنية بالمياه الجوفيه عاليه الملوحة على مسافة معقوله من جسم السد ، وتعوق الأوضاع الطباقيه والجيولوجيه والتكتونيه وصول مياه السد إلى خزاناتها الجوفيه . ففي هذه الحاله يمكن التدخل لإتصال بعض مياه السد حسب إحتياجات فائض المنطقة إلى المنطقة ذات الملوحه العاليه إما طبيعياً إن سمحت الأوضاع الطبوغرافيه أو الجيولوجيه أو عن طريق أنابيب لضخ المياه إلى تلك المناطق وخاصة مناطق التغذيه الطبيعيه إن وجدت مما سيزيد من إستخدام هذه الطريقه جدوى هذه السدود المقامه حالياً .

الإستنتاج :

٢٨. تقدم هذه الورقه فكرة لمراعاة التكامل بين موارد المياه السطحيه والجوفيه وذلك بخفض ملوحة مياه بعض الخزانات الجوفيه عالية الملوحه والمنتشره بكثره في بعض مناطق الوطن العربي وخاصة في الجزيره العربيه ، قد تبدو التكاليف مرتفعه لتغيير مجرى وادي أو أوديه إلا أنها على المدى الطويل تعتبر ذات تكاليف نسبة قليله إذا ما قورنت بالتكاليف الباهظه ذات الإستمراريه لعمليات تحلية مياه البحر ذات التقنيات المحتكره من قبل الدول المالكه لهذه التقنيات .

٢٩. مع مراعاة أن مايتم صرفه حالياً من مبالغ طائله هو لأنتاج حوالي مليارين م٣ من المياه المحلاه – في حين أن كميات المياه السطحيه التي يمكن الإستفاده من معظم كمياتها تصل إلى حوالي ١٠٠ مليار م٣ من المياه .

المراجـــع :

١ . ندوة مصادر المياه وإستخداماتها في الوطن العربي - ١٩٨٦م .

٢ . تقرير المنظمه العربيه للتنميه الزراعيه - الخرطوم - ١٩٨٧م .

٣ . د. محمد حسن الياس ، دراسة حول الأثر الطبوغرافي والهايدروليكي لإستغلال مياه السيول - حلقة الدراسات الصحراويه في المملكه العربيه السعوديه - مجالاتها والمهتمون بها ١٩٨٩م .

٤ . د. أبو رزيزه ، عمر - كلية الهندسة جامعة الملك عبدالعزيز - مقال بصحيفة الشرق الأوسط بتاريخ ٢٥ فبراير ١٩٩٠م .

٥ . مركز الخليج للدراسات الإستراتيجيه - لندن .

٦ . د. حميده ، إبراهيم - كلية الزراعة ، جامعة القاهرة .

٧ . د. حداوين ، منذر - مصلحة المياه الأردنيه - عمان - ١٩٩١م .

٨ . مركز الدراسات الإستراتيجية والدوليه - واشنطن - مقال بصحيفة الأيام البحرينيه - إكتوبر ١٩٩١م .

٩ . خريطة طبوغرافيه - وزارة البترول والثروه المعدنيه - المملكه العربيه السعوديه مقياس رسم ١ : ٤٠٠٠٠٠٠ .

١٠ . الجبير ، عثمان سليمان ، الأقاليم الحياتيه في الجزيره العربيه ، أطروحة ماجستير (تحت النشر) - برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحله - جامعة الخليج العربي ١٩٩٢م .

جر الفائض المائي من لبنان إلى دول الخليج العربي

فتحي عبدالحميد شاتيلا

الموضـــوع : جر الفائـض المائـي من لبنـــان الى دول الخليج العربـي

مـــــن : الهيدروجيـولوجـي فتحـي عبد الحميـد شاتيـــــلا

رئيس تحريـر مجلـة عالـم الميـاه العربـــــي

الخلاصة : تهدف هذه الدراسـة الى جر كمية مياه تبلـغ ٧٥٠ مليـون متر مكعـب فـي السنـة من لبنـان الى دول الخليج العربـي بواسطـة خط من الانابيـب قطره ٣ أمتـار يقـع علـى منسـوب ١٢٥٠ مترا فوق سطـح البحـر وبطـول ١٥٠٠ كيلو متر تقريبـا٠ وسيتـم نقل كميـة قدرهـا ٤٠٠ مليـون متر مكعـب خـلال فترة الغزارة مباشـرة من ميـاه الينابيـع الساحليـة٠ أما الكمية الباقيـة وقدرهـا ٣٥٠ مليـون متـر مكعـب ، فسيتـم استثمـارهـا خـلال فتـرة الجفـاف من المخـزون الجوفـي لاربـع خزانـات جوفيـة تقع في الاحـواض الداخليـة بعد ان يتم تغذيـة هـذه الخزانـات اصطناعيـا خـلال فترة الغزارة من ميـاه ينابيـع مختلفـة٠ وسيؤدي هذا المشروع الى منـع هدر ثروة مائيـة قدرهـا ٧٥٠ مليـون متـر مكعـب فـي السنـة كانت تهـدر في البحـر بسبب تعـذر وجـود اماكـن ملائمـة تسمـح بتخزينهـا٠ وتمتـاز هذه الميـاه بنقاوتهـا وعذوبتهـا٠

المحتويات

I - المقدمة

II - الوضع الجغرافي
١- الوضع الطبوغرافي
٢- المناخ
٣- الهيدرولوجيا

III - الهيدروجيولوجيا
١- الجيولوجيا
٢- الاوضاع الهيدروجيولوجية في لبنان
أ- الينابيع
ب - الخصائص الديناميكية المائية
ج - الخزانات المائية الجوفية
١- الخزان الجوفي لعين الزرقا - حوض نهر العاصي
٢- الخزانات الجوفية في حوض نهر الليطاني
- خزان نبع عميق
- خزان تل الدير - كامد اللوز
- خزان تربل حشمش

IV - الخصائص الكيميائية للمياه

V - حاجة لبنان المستقبلية للمياه

VI - الخطوات العملية لتأمين المياه
١- المخطط العام
٢- جر مياه ينابيع الاحواض الساحلية خلال فترة الغزارة
أ - نفق افقا - كفردان
ب - نفق باتر الشوف - صغبين
٣- استثمار المخزون الجوفي خلال فترة الجفاف
أ - حوض نهر العاصي - عين الزرقا
ب - حوض نهر الليطاني
- خزان نبع عميق
- خزان تل الدير كامد اللوز
- خزان تربل - حشمش

VII - الخاتمة.

I- المقدمة : تبلغ مساحة الاراضي اللبنانية ١٠٤٥٢ كيلومتر مربع ، يهطل فوقها ما معدله ٩٠٠ مليمتر في السنة أو ما يوازي ٩٤٠٠ مليون متر مكعب. ويتبخر من هذه الكمية ما مجموعه ٤٥١٠ ملايين متر مكعب. أما المياه المتبقية والتي تبلغ ٤٨٩٠ مليون متر مكعب فانها تشكل المياه السطحية والجوفية المتوفرة لدى لبنان. واذا استثنينا منها مياه الانهر والينابيع البحرية وتلك المشتركة استعمالها مع الدول المجاورة بالاضافة الى المياه التي تجري بين احواض الانهر والتي لا مجال للا ستفادة منها والتي تبلغ ١٢٩٥ مليون متر مكعب يبقى للبنان كمية قدرها ٣٥٩٥ مليون متر مكعب تجري في مجموعة ١٣ نهرا في الاحواض الساحلية بالاضافة الى نهر واحد يتغذى من الاحواض الداخلية ويخترق سلسلة جبال لبنان الغربية ليصب بعدها في البحر بالاضافة الى الينابيع البحرية . وتبلغ كمية المياه المتوفرة خلا ل فترة الجفاف ٦٥٠ مليون متر مكعب. أما الكمية الباقية والبالغ قدرها ٢٩٤٥ مليون متر مكعب ، فانها تصب في البحر خلا ل فترة الغزارة. 1

وسيحتاج لبنان خلا ل ٢٥ سنة مقبلة الى كمية قدرها ١٩٥٠ مليون مترمكعب في السنة لتأمين مياه الشفه والري والحاجات الصناعية للمدن والقرى التي تقع خارج أحواض الانهر المشتركة. وسيتوفر من اصل هذه الكمية ما مقداره ٦٥٠ مليون متر مكعب من مياه الينابيع خلا ل فترة الجفاف. كما يمكن استثمار كمية تبلغ ٤٠٠ مليون متر مكعب من الخزانات الجوفية المختلفة. أما الكمية الباقية وقدرها ٩٠٠ مليون متر مكعب ، فيجب تخزينها خلا ل فترة الغزارة بواسطة سدود وبحيرات اصطناعية علما بان الدراسات الجيولوجية دلت انه يمكن وفي افضل الاحوال تخزين كمية قدرها ٧٠٠ مليون متر مكعب في السنة. وبذلك ستبقى كمية قدرها ١٦٤٥ مليون متر مكعب تهدر في البحر خلا ل فترة الغزارة. 2

ومن هنا برزت فكرة مشروع جر الفائض المائي من لبنان الى دول الخليج العربية بمعدل ٧٥٠ مليون متر مكعب في السنة. ففي الوقت الذي تكون مياه الينابيع اللبنانية التي تغذي مختلف انهره الساحلية تهدر في البحر ، نرى عمليات تحلية المياه في دول الخليج قائمة على قدم وساق. وبد لا من هدر المياه اللبنانية في البحر ، يمكن نقل كمية قدرها ٤٠٠ مليون متر مكعب خلا ل فترة الغزارة مباشرة من مواقع الينابيع وجرها الى الاحواض الداخلية بواسطة نفق يخترق سلسلة جبال لبنان الغربية. أما خلا ل فترة الجفاف ، فينبغي استثمار ٣٥٠ مليون متر مكعب في السنة من الاحواض الداخلية ، منها ثلا ث خزانات تقعفي حوض نهر الليطاني وخزان جوفي يقع في حوض نهر العاصي على ان يتم تغذية هذه الخزانات اصطناعيا خلا ل فترة الغزارة. ويمكن جر هذه المياه الى دول الخليج بواسطة خط انابيب يقع على منسوب ١٢٥٠ مترا فوق سطح البحر يبلغ قطره ٣ أمتار وبطول ١٥٠٠ كيلومتر يجري بمحاذاة خط انابيب النفط - التبلا ين - الذي يمتد ما بين مدينة الظهران الواقعة على شاطئ الخليج العربي شرقا وبلدة الزهراني التي تقع جنوبي مدينة صيدا غربا. 3

ان الحرب التي مرت على لبنان واستمرت زهاء ١٥ سنة ادت الى شلل جميع الدراسات والابحاث المائية التي كانت تجري على مختلف الانهر والينابيع. كما ادت هذه الحرب الى فقدان العديد من الوثائق العلمية التي من شأنها اعطاء معلومات مفصلة ودقيقة عن مختلف الانهر والينابيع. وبرجوع السلام الى ربوع لبنان ، فسوف تستأنف هذه الدراسات عما قريب وستساهم من جلاء الحقائق المتعلقة باستثمار الفائض المائي من لبنان وجره الى دول الخليج العربية. 4

II- الوضع الجغرافي في لبنان

١ - الوضع الطبوغرافي : يتميز التكوين الطبوغرافي للبنان بوجود سلسلتين من الجبال تمتدان بالاتجاه 5

الشمال الشرقي الى الجنوب الغربي وبطول ١٦٠ كيلومتر تقريبا، ويصل ارتفاع قمم جبال لبنان الشرقية الى ٢٨١٤ مترا في جبل الشيخ و ٢٤٧٤ مترا في القسم الشمالي منها شرقي مدينة بعلبك. أما قمم جبال السلسلة الغربية ، فتبلغ ٣٠٨٣ مترا عند القرنة السوداء و ١٩٤٠ مترا عند جبل الباروك و ٢٦٨٢ مترا عند جبل صنين. ويفصل ما بين هاتين السلسلتين من الجبال ، وادي البقاع الذي يتراوح عرضه ما بين ١٠ - ١٢ كيلومتر وبارتفاع ٥٥٠ مترا فوق سطح البحر في اقصى الشمال عند الحدود اللبنانية السورية ليصل الى ١٠٠٢ متر عند مقلب المياه بين حوضي نهر الليطاني ونهر العاصي غربي مدينة بعلبك ليعود فينخفض الى ٨٠٠ مترا عند سد القرعون. ويقع عند اللحف الغربي لسلسلة جبال لبنان الغربية شريطا من السهول الساحلية اهمها سهل عكار ، سهل الكورة ، سهل الدامور وسهل صور.

٢ - المناخ : يهب على لبنان خلال فصل الشتاء الذي يمتد ما بين شهر اكتوبر حتى شهر ابريل من كل عام ، رياح غربية باردة شديدة الرطوبة تؤدي الى هطول المطر والثلوج. وتشكل سلسلة جبال لبنان الغربية حاجزا طبيعيا بوجه هذه الرياح يؤدي الى تساقط المطر عند اللحف الغربي لهذه السلسلة كما يجعلها تحظى بنصيب اعلى من المياه بالنسبة لباقي المناطق. ويوجد في لبنان ٨٥ محطة رصد جوي موزعة على كافة اراضيه تقع جميعها على منسوب ادنى من ٢٠٠٠ متر فوق سطح البحر ، مما يجعل المعلومات المتوفرة عن كمية الثلوج التي تتساقط في المناطق المرتفعة غير دقيقة. ويبين الجدول رقم (١) المعدل الشهري والسنوي لهطول المطر عند بعض هذه المحطات. ويشتد هطول المطر خلال شهري ديسمبر ويناير من كل سنة. وتبلغ نسبة هطول المطر ما بين شهر اكتوبر ولغاية شهر مارس من كل عام ، ما معدله ٨٦٪ من المعدل السنوي. أما النسبة الباقية وقدرها ١٤٪ فتتوزع خلال اشهر ديسمبر ، ابريل ومايو.

واستنادا الى النتائج التى توفرت ما بين العام ١٩٢١ ولغاية العام ١٩٦٨ قام مرصد كسارة التابع لوزارة الاشغال العامة والنقل (١) بوضع خريطة تبين معدل هطول المطر على كافة الاراضي اللبنانية (خريطة رقم ١). ويتضح من هذه الخريطة بان معدل هطول المطر في سلسلة جبال لبنان الغربية يزداد بازدياد ارتفاع المنطقة فوق سطح البحر. أما في الاحواض الداخلية ، فان نسبة هطول المطر ينخفض كلما اتجهنا نحو شمال البلاد. ويبلغ مجموع معدل هطول المطر فوق الاراضي اللبنانية ٩٠٠ مليمتر في السنة.

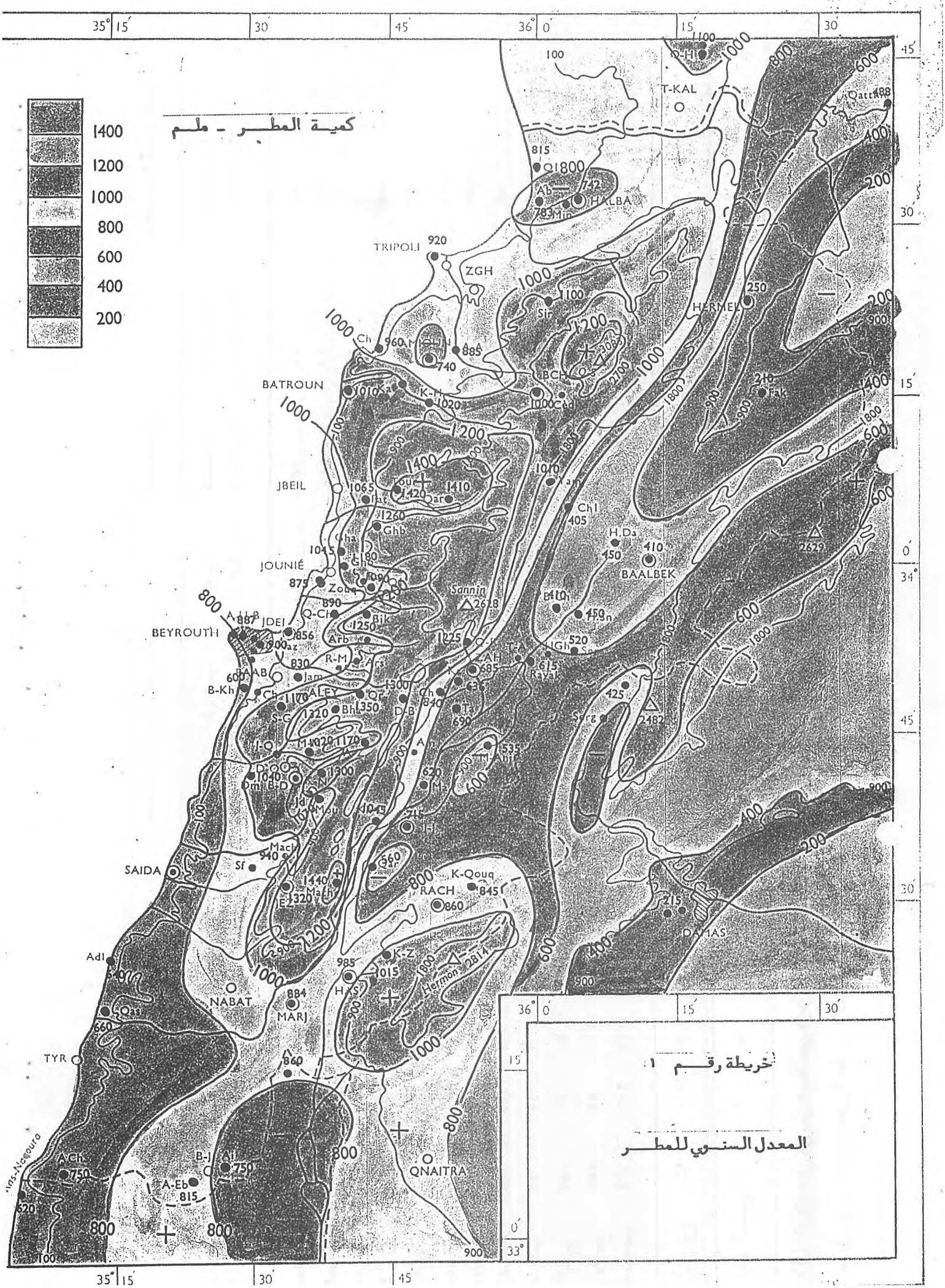
ويختلف هطول المطر فوق الاراضي اللبنانية بين عام وآخر. وقد دلت الاحصاءات انه يمر على لبنان كل ١٠ سنوات سنة جافة تبلغ فيها نسبة هطول المطر حوالي ٧٥٪ من المعدل السنوي العام. كما يصيب لبنان كل ٣٠ سنة تقريبا فترة جفاف تتراوح مدتها بين ٣ - ٥ سنوات يقل فيها هطول المطر عن المعدل السنوي العام.

٣ - الهيدرولوجيا : استنادا الى المعلومات المتوفرة منذ العام ١٩٣١ من ١٢٤ محطة رصد مائي والى القياسات والكيول التي تمت لمختلف الانهر والينابيع التي تقع ضمن وخارج احواض الانهر في لبنان، وكذلك الى نتائج الرصد الجوي ، تم تحديد كمية المياه التي تجري في مختلف الانهر والينابيع اللبنانية داخل وخارج الحدود وكذلك كمية المياه التي تتبخر بفعل الحرارة وغيرها من العوامل المناخية. (جدول رقم ٢).

	الساحل			سلسلة جبال لبنان الغربية			البقاع		سلسلة جبال لبنان الشرقية
المحطة (أ)	طرابلس (٤ م)	أميون (٣٠٠ م)	بيروت (الجامعة) (٣٤ م)	عدلون (٢٠ م)	الارز (١٩٢٥ م)	طرزيا (٨٨٠ م)	جزين (٩٤٧ م)	كسارة (٩٢٠ م)	الهرمل (٧٥٠ م)	راشيا (١٢٣٥ م)
يناير	٢١٠	١٥٥	١٩٣	١٧٤	٢٣٩	٣٠٤	٣١٢	١٥٦	٥٥	١٨٢
فبراير	١٦٨	١٤٣	١٥٦	١١٠	٢٠٧	٢٤٧	٣٠١	١٣٨	٤٣	١٧٤
مارس	٩٨	١٠٤	٩٧	٦٢	١٤٥	٢٢٥	١٦٩	٧١	٣٦	١٣٩
ابريل	٥٧	٥١	٥١	٣٧	٦٨	١٠٠	١٠٠	٤١	٢٧	٥٩
مايو	١٧	٢٠	١٧	٥	٣٢	٤٨	٢٧	١٤	١٣	٣٣
يونيو	١	١	٣	١	٥	٣	٣	١	٠،٥	١
يوليو	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥
اغسطس	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥	٠،٥
سبتمبر	١٢	١٠	٧	٤	٥	١٦	٤	٤	٠،٥	٢
اكتوبر	٥٦	٣٥	٤٦	٢١	٣٢	٦٨	٣٩	١٩	٨	٢٥
نوفمبر	١٧٣	٩٤	١٣٠	٧٨	٩٣	١٦٤	١٢٦	٦٢	٢٢	٨٤
ديسمبر	١٧٧	١٢٦	١٨٦	١٤٦	١٥٨	٢٤٣	٢٣٨	١٢٦	٤٤	١٥٥
المجموع	٩٢٠	٧٤٠	٨٨٧	٦٤٠	٩٨٥	١٤٢٠	١٣٢٠	٦٣٦	٢٥٠	٨٦٠
عدد السنين	١٦	١٩	٨٨	١١	١٤	٢٥	٣٣	٤٩	٢٤	١٨

(أ) الارقام التي هي بين الهلالين ترمز الى ارتفاع المحطة فوق سطح البحر.

جدول رقم ١ : معدل هطول المطر الشهري والسنوي.


كمية المطر - ملم
1400
1200
1000
800
600
400
200
خريطة رقم ١
المعدل السنوي للمطر
TRIPOLI
ZGH
HALBA
HERMEL
BATROUN
JBEIL
JOUNIÉ
BEYROUTH
BAALBEK
Sannin
2628
SAIDA
RACH
DAMAS
NABAT
MARJ
TYR
QNAITRA
Hermon
2814
T-KAL
Qartal
Sir
Fak
Ch
Zou
Jam
Sf
Mach
Adl
Qas
Ach
A-Eb
B-J
Ait
Ras-Naqoura
35°
36°
33°

	النسبة المئوية ٪	الكمية ملم	الكمية ـ مليون متر مكعب
مياه المطر	١٠٠	٩٠٠	٩٤٠٠
المياه المتبخرة	٤٨	٤٣٢	٤٥١٠
المياه المتوفرة	٥٢	٤٦٨	٤٨٩٠

جدول رقم ٢ ـ الميزان المائي العام في لبنان.

يتبين مما تقدم بان كمية المياه المتوفرة في لبنان يبلغ ٤٨٩٠ مليون متر مكعب تتوزع كما يلي: (جدول رقم ٣).

أ ـ الحوض الداخلي:

النهر	التصريف / مليون متر مكعب/سنة
نبع العاصي (×)	٤٣٠
الليطاني ـ سد القرعون	٤٦٠
الحاصباني / الوزاني (×)	١٣٠
ينابيع تظهر في سوريه والاراضي المحتلة (×)	٣٥٠
المجموع	١٣٧٠

(×) ـ أنهر ذات مياه مشتركة مع الدول المجاورة.

ب ـ الحوض الساحلي :

النهر	التصريف /مم٣/سنة	النهر	التصريف مم٣/سنة
الكبير (حصة لبنان)	١٣٠	اسطوان	٥٦
عرقا	٤٣	البارد	٢٥٤
ابو علي	٣٧٥	الجوز	٨٥
ابراهيم	٤٢٠	الكلب	٢٤٤
بيروت	١٧٣	الدامور	٢٤٢
بسري / الاولي	٢٥٣	سينيق	٢٥
الزهراني	٣٥	الليطاني (غربي سد القرعون)	٤١٠
ينابيع بحرية	٣٩٠	ينابيع مختلفة ، الخ	٣٨٥
المجموع			٣٥٢٠
مجموع المياه في الحوضين			٤٨٩٠

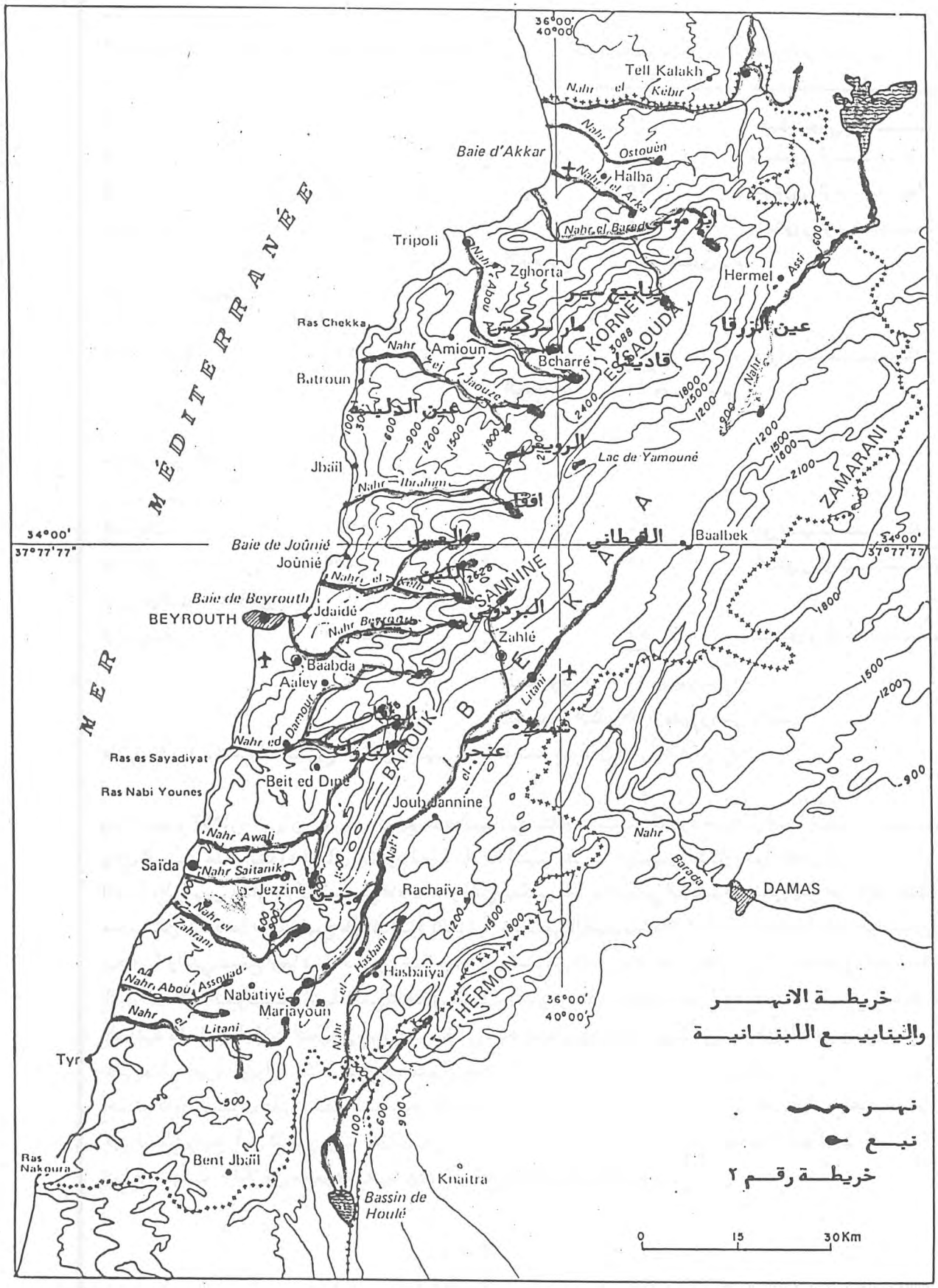
جدول رقم ٣ ـ أنهر وينابيع الاحواض الداخلية والساحلية.

واذا استثنينا تصريف الانهر المشتركة والينابيع التي تظهر خارج الاراضي اللبنانية بما فيها تلك
13 التي تصب في البحر خارج احواض الانهر والتي تبلغ ١٢٩٥ مليون متر مكعب في السنة ، فان كمية المياه التي لا يشارك لبنان احد في استعمالها تبلغ ٣٥٩٥ مليون متر مكعب في السنة. (خريطة رقم ٢).

واستنادا الى الكيول التي اجريت على مختلف الانهر اللبنانية الساحلية وعلى نهر الليطاني منذ العام
14 ١٩٣١ (٢) ، يتبين ان ما نسبته ١٨٪ من مجموع تصريف هذه الانهر يجري خلال فصل الجفاف او ما يعادل ٦٥٠ مليون متر مكعب. أما الكمية الباقية والبالغ نسبتها ٨٢٪ أو ما مجموعه ٢٩٤٥ مليون متر مكعب ، فانها تجري خلال فترة الغزارة لتصب في البحر .

ان الارقام المبينة في الجدول رقم ٢ تشمل اوضاع جميع الانهر اللبنانية. غير ان الدراسة التي نحن
15 بصددها تتعلق فقط بالينابيع التي تقع في احواض سبعة من الانهر التي تتغذى من سلسلة جبال لبنان الغربية. ويبين الجدول رقم (٤) تصريف الينابيع التي تقع في احواض هذه الانهر خلال فترة الغزارة مع الاشارة الى الطبقات الجيولوجية التي تغذي كل نبع.

النبع	الارتفاع فوق سطح البحر	التصريف ـ مليون م م	الطبقات الجيولوجية
حوض نهر البارد			
العروس	١٦٥٠	٩٠	طبشوري اوسط
سير	١٥٥٠		
السكر	١٧٠٠		
ينابيع مختلفة	٧٥٠ ـ ٩٠٠	٩٠	جوراسيك
		المجموع ١٨٠ مليون م م	
حوض نهر أبو علي			
16 مار سركيس	١٥٥٠	٧٠	طبشوري اوسط
قاديشا	١٤٥٠		
ينابيع مختلفة	٧٥٠ ـ ٩٠٠	٧٠	جوراسيك
		المجموع ١٤٠ مليون م م	
حوض نهر الجوز			
الدلة	٦٣٥	٥٠	جوراسيك
		المجموع ٥٠ مليون م م	
حوض نهر ابراهيم			
الرويس	١٢٦٠	١٠٠	طبشوري اوسط
افقا	١١٥٠	١١٠	طبشوري اوسط
ينابيع مختلفة	٦٠٠ ـ ٧٥٠	٥٠	جوراسيك
		المجموع ٢٦٠	


MER MÉDITERRANÉE
Tell Kalakh
Nahr el Kébir
Baie d'Akkar
Ostouèn
Halba
Nahr el Arka
Nahr el Barad
Tripoli
Nahr Abou Ali
Zghorta
Hermel
Assi
Ras Chekka
Nahr el Jaouz
Amioun
Bcharré
KORNET ES SAOUDA
3088
Batroun
Jbaïl
Nahr Ibrahim
Lac de Yamouné
ZAMARANI
Baie de Joûnié
Joûnié
Nahr el Kalb
SANNINE
Baalbek
34°00'
37°77'77"
Baie de Beyrouth
BEYROUTH
Jdaidé
Nahr Beyrouth
Zahlé
Baabda
Aaley
Nahr ed Damour
Litani
BAROUK
Ras es Sayadiyat
Ras Nabi Younes
Beit ed Dine
Joub Jannine
Nahr Awali
Saïda
Nahr Saïtanik
Jezzine
Rachaiya
Nahr Barada
DAMAS
Nahr el Zahrani
Nahr Abou Assoued
Hasbaiya
Nabatiyé
Mariayoun
HERMON
36°00'
40°00'
خريطة الانهر
والينابيع اللبنانية
Tyr
Ras Nakoura
Bent Jbaïl
Knaitra
Bassin de Houlé
نهر
نبع
خريطة رقم ٢
0
15
30Km

حوض نهر الكلب

النبع	الارتفاع فوق سطح البحر	التصريف - مليون م م	الطبقات الجيولوجية
نبع العسل	١٣٥٠	٢٥	طبشوري اوسط
نبع اللبن	١٥٥٠	٤٥	طبشوري اوسط
الساقية / قناة باكيش	١٣٥٠ - ١٥٠٠	٢٥	طبشوري اوسط
صنين	١٦٥٠	١٥	طبشوري اوسط
	المجموع	١١٠ مليون م م	

حوض نهر الدامور

نبع الصفا	١١٠٠	٣٥	جوراسيك
	المجموع	٣٥ مليون م م	

حوض نهر الاولي

الباروك	١٢٤٠	٢٠	جوراسيك
جزين	١١٥٠	١٠	طبشوري اوسط
عين مرشد ، عماطور ، عزيبة	٧٥٠ - ٩٠٠	٣٠	طبشوري اوسط
	المجموع	٦٠ مليون م م	

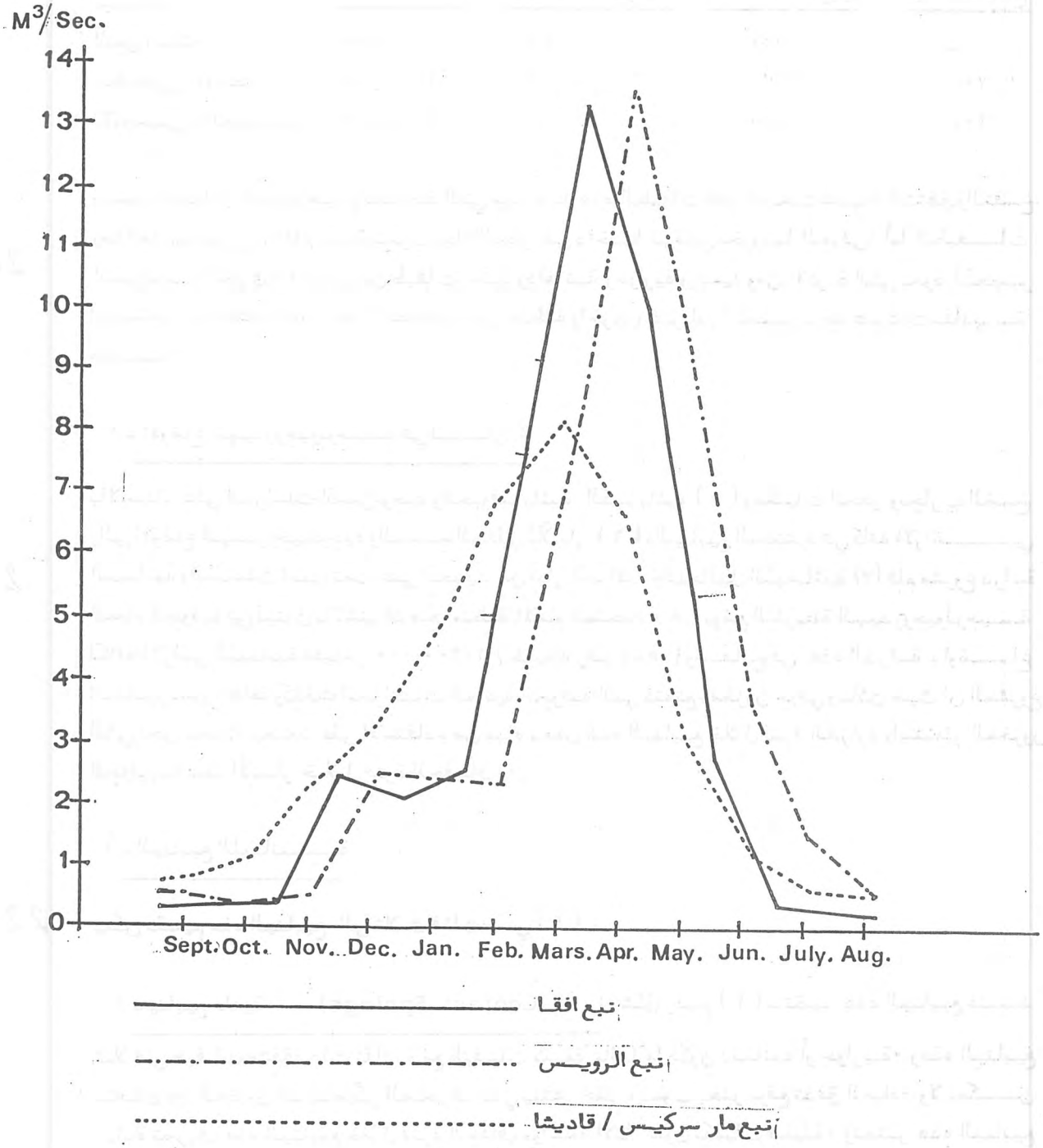
المجموع الكلي ٨٣٥ مليون متر مكعب.

جدول رقم ٤ - تصريف ينابيع احواض الانهر الساحلية خلال فترة الغزارة.

وهنا تجدر الاشارة الى ان تصريف جميع هذه الينابيع يتفاوت بنسب كبيرة خلال فترة الغزارة حيث يصل اقصاه عند ابتداء ذوبان الثلوج لمدة ثلاثة اشهر تقريبا . ويبين الشكل رقم(١)تصريف ينابيع افقا والرويس ، مار سركيس مع قاديشا والتي تعكس تصريف باقي الينابيع. ولكي يتم جر اقصى كمية ممكنة من مياه هذه الينابيع خلال فترة الغزارة ، ينبغي القيام باشغال انشائية مختلفة عند مواقع بعضها والتي تسمح اوضاعها الجيولوجية بتخزين قسم من تصريفها خلال فترة ذوبان الثلوج داخل الخزانات الجوفية ذاتها التي تتغذى منها . وستؤدي هذه الاشغال الى ارتفاع منسوب سطح الطبقة المائية داخل الطبقات الجيولوجية التي تغذي هذه الينابيع والحد من كمية التدفق الاقصى وتوزيعه على مدار فترة الغزارة بكاملها . وقد قام الرومانيون باعتماد هذا الاسلوب منذ اكثر من ٢٠٠٠ سنة حيث اقاموا منشآت على بعض الينابيع اللبنانية لرفع منسوب مكان ظهور المياه فيها كنبع عنجر في البقاع ونبع رأس العين والر شيدية في صور . ومن المتوقع عند تنفيذ مثل هذه الاشغال جر كمية تبلغ نسبتها ٨٠٪ من مجموع تنفيذ هذه الينابيع خلال فترة الغزارة.

شكـــل رقـــم ١

معـــدل التصريـــف الشهـــري



III - الهيدروجيولوجيـــا

١ - الجيولوجيـا :

18 تتكون الطبقات الجيولوجية التي تغطي الاراضي اللبنانية في الرسوبيات (٤) التي يرجع عمرها الى العصر " الجوراسيك " حتى العصر الرباعي الحديث (شكل رقم ٢).

تبلغ مساحة الطبقات الكلسية المنتشرة في لبنان ٦٦٪ من مساحته الاجمالية. وهذه الطبقات تعـود لعصور جيولوجية اربعة هي : (خريطة رقم ٣).

19

العصر	السماكة / متر	كلم مربع		
		السلسلة الشرقية	السلسلة الغربية	البقـاع
الجوراسيك	١٢٠٠	٧٥٠	٩٥٠	-
الطبشوري الاوسط	٦٠٠ - ٩٠٠	٢١٠٠	٢٢٧٠	٧٠
الايوسيني / المايوسيني	١٠٠ - ٥٠٠	-	٥٥٠	٢٠٠

وبسبب العوامل الجيولوجية والمناخية التي مرت بها هذه الطبقات فقد اصبحت شديدة التشقق والتفسخ، وهذا ما يساهم في ارتفاع نسبة تسرب مياه المطر الى داخلها ليغذي مخزونها الجوفي. أما الطبقـات الجيولوجية الاخرى ، فتتكون من طبقات رملية ودلغانية وحوارية وردمية ومن الاتربة التي تعود للعصر الرباعي. وتختلف نفاذية هذه الطبقات بين منطقة واخرى ، غير انها تعتبر بوجه عام ذات نفاذيـة ضئيلـة. 20

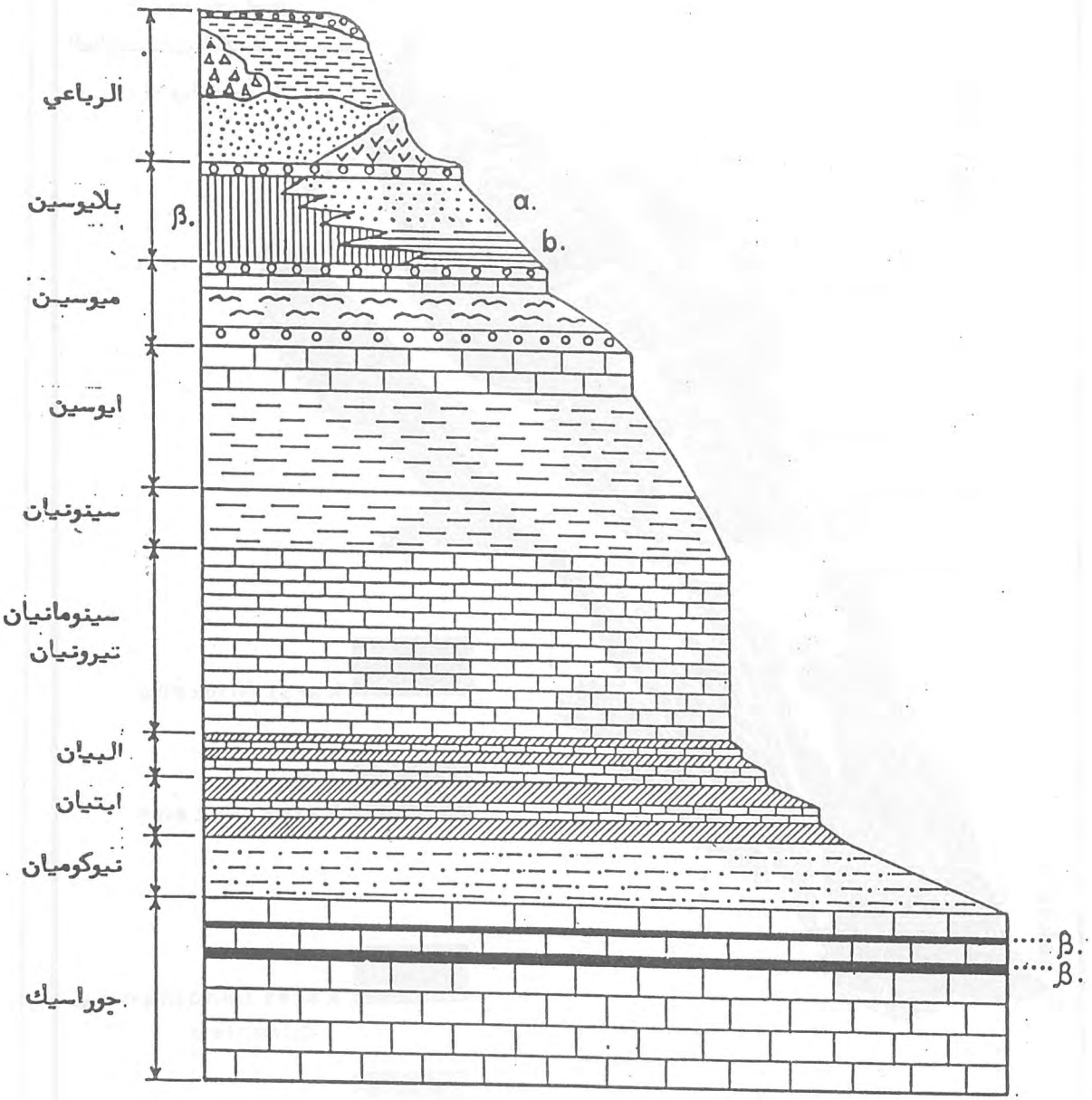
٢ - الاوضاع الهيدروجيولوجيـة في لبنـان :

بالاستناد على الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية الكهربائية (٥) وعمليات الحفر وتجارب الضخ والى الاوضاع الهيدروجيولوجية والمسح الحقلي للآبار (٦) والينابيع المنتشرة في كافة الاراضـي اللبنانية والقياسات التي تمت على العديد من آبار المراقبة والتحاليل الكيميائية (٧) قام مشروع دراسة المياه الجوفية في لبنان بالاشتراك مع منظمة الامم المتحدة (٨) بوضع الخريطة الهيدروجيولوجيـة لكافة الاراضي اللبنانية مقياس ١/٢٠٠،٠٠٠ (خريطة رقم ٤، ٥) وسنعالج في هذه الدراسة ، اوضـاع الينابيع بصورة عامة وكذلك الخزانـات المائية الجوفية التي تتمتع بمخزون جوفي وساكن حيث ان المشروع الذي نحن بصدده يعتمد على الاستفادة من مياه بعض هذه الينابيع خلال فترة الغزارة واستثمار المخزون الجوفي بواسطة الآبـار خـلال فترة الجفـاف . 21

أ - الينابيع اللبنانيـــة

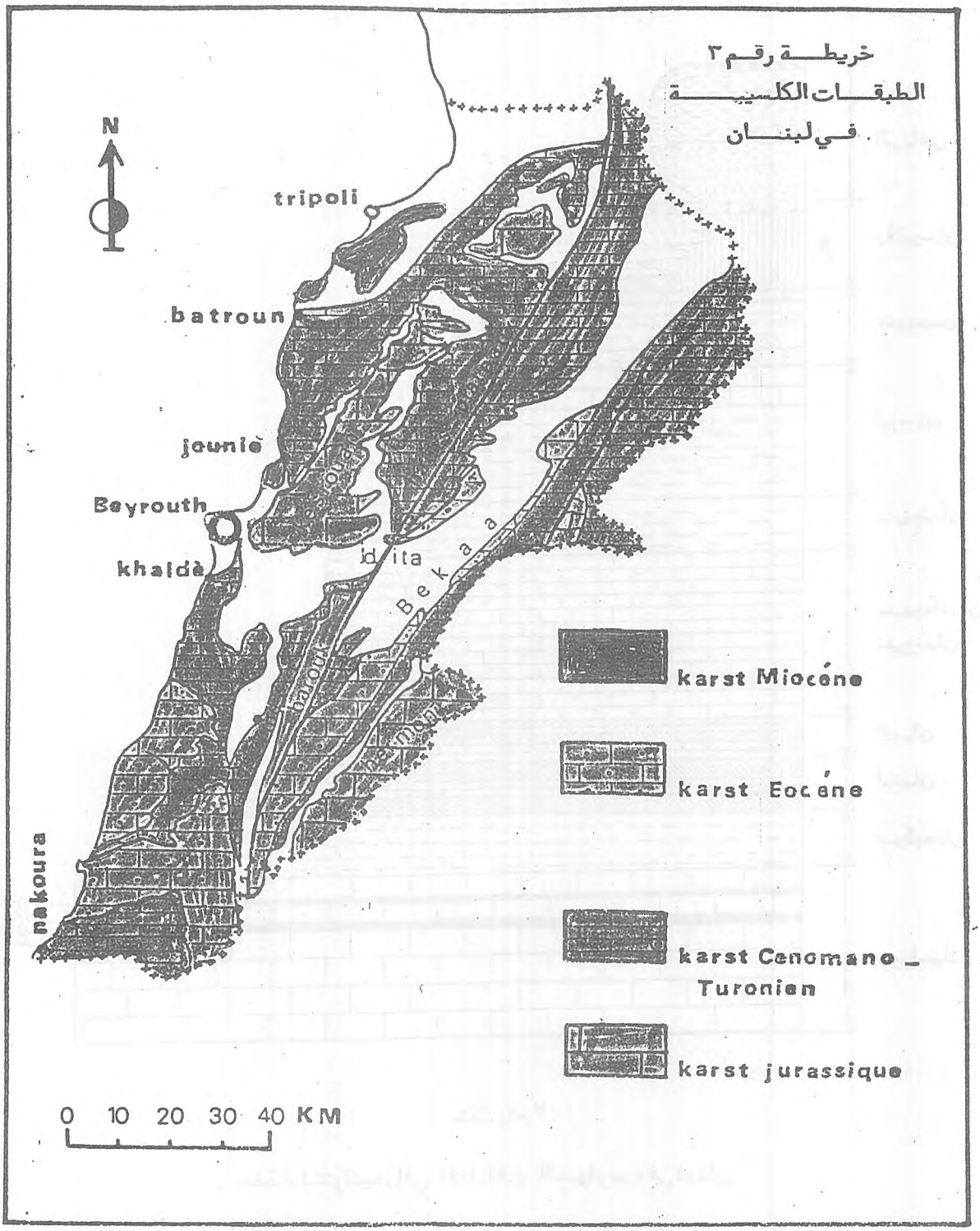
22 يمكن تقسيم هذه الينابيع الى ثلاث فئات هـي (٩) :

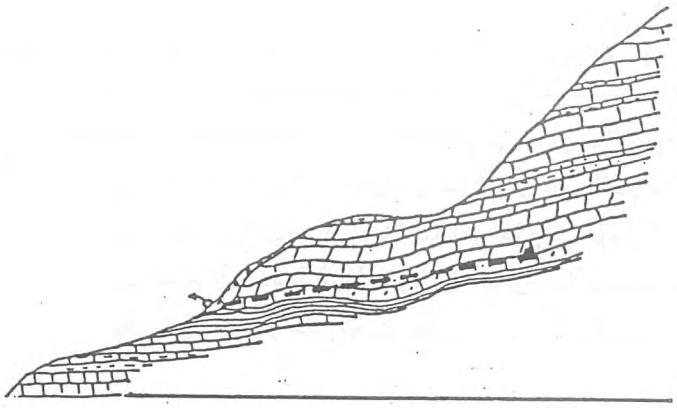
١ - ينابيع عادية (Contact Springs) : شكل رقـم (٢) - تظهر هذه الينابيع عنـد تـلاقـي طبقـات مشققة ذات نفاذية مع طبقـات كتيمة غالبا ما تكون دلغانية أو حوارية. وهذه الينابيع تتغذى من المخزون الديناميكي المتحرك الذي ينتشر على منسوب بعلو موقع تدفق المياه. ولا يمكـن زيادة تصريف هذه الينابيع خلال فترة الجفاف بواسطة الآبار سوى بكميات ضئيلة. وتعتبر هذه الينابيع المنوي جر مياهها خلال فترة الغزارة والمبينة في الجدول رقم ٤ من ضمن هذه الفئـة.



شكل رقم ٢

مخطط استراتيغرافي للطبقات الجيولوجية في لبنان

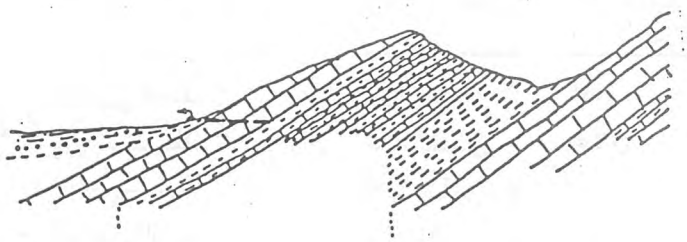

خريطة رقم ٣
الطبقات الكلسية
في لبنان
N
tripoli
batroun
jounié
Beyrouth
khaldé
Bekaa
nakoura
karst Miocéne
karst Eocéne
karst Cenomano _
Turonien
karst jurassique
0 10 20 30 40 KM



شكل رقم ٢ ـ مقطع جيولوجي لنبع عادي "Contact Spring"

٢ ـ ينابيع ذات تصريف فائض (Overflow Springs) : شكل رقم (٣) تتمتع هذه الينابيع بمخزون ديناميكي متحرك يقع على منسوب يعلو موقع ظهور المياه وبمخزون جوفي ساكن (Static Reserves) يقع على منسوب ادنى في موقع الينابيع. ويمكن زيادة كمية المياه المتوفرة خلال فترة الجفاف بواسطة آبار تحفر في مواقع مناسبة مما سيؤدي الى استثمار المخزون الديناميكي وقسم من المخزون الساكن. وتعتبر الينابيع الواردة في هذه الدراسة كنبع عميق ـ الفاعور، رأس العين وعين البيضاء والقرعون من الينابيع الفائضة.

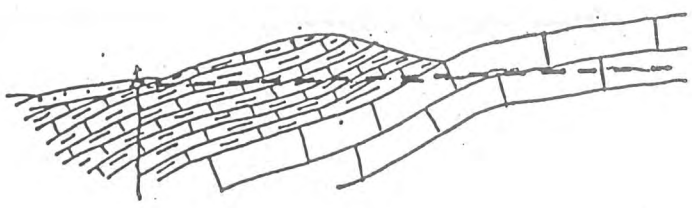
23



شكل رقم ٣ ـ مقطع جيولوجي لنبع فائض "Overflow Spring"

٣ ـ الينابيع الفوارة (Artesian Springs) : شكل رقم (٤) تتمتع هذه الينابيع بذات الخصائص التي تتمتع بها الينابيع الفائضة سوى ان قسم من الطبقات المشققة الحاملة للمياه هي مغطاة بطبقة كتيمة مانعة للمياه. وبسبب عوامل جيولوجية كالفوالق أو الكسور ، تجد المياه المخزونة في الطبقات المشققة منفذا تتسرب عبره لتظهر على سطح الارض. ويمكن تصريف هذه الينابيع خلال فترة الغزارة كما هو الحال للينابيع الفائضة حيث يجب ان تخترق الآبار الاستثمارية الطبقات الكتيمة اولا ومن ثم الطبقات المشققة المشبعة بالمياه. ومن اهم الينابيع الفوارة في لبنان والتي سيتم استثمار مياهها خلال فترة الجفاف هي عين الزرقاء الواقعة في حوض نهر العاصي. وسيتم تخزين مياه ينابيع الاحواض الساحلية في الخزان الجوفي لهذا النبع خلال فترة الغزارة ليعاد اعادة استثمارها خلال فترة الجفاف .

24



شكل رقم ٤ ـ مقطع جيولوجي لنبع فوار "Artesian Spring"

ب ـ الخصائص الديناميكية المائية "Hydrodynamics"

قام مشروع دراسة المياه الجوفية في لبنان بالعديد من تجارب الضخ للآبار التي تم حفرها في الطبقات الكلسية المنتشرة في كافة الاراضي اللبنانية. وسنركز في هذه الدراسة على اوضاع الخزانات الجوفية التي سيتم استثمار مياهها خلال فترة الجفاف والتي تقع في حوضي نهر العاصي والليطاني. ويتبين من اعمال الحفر وتجارب الضخ ان هذه الطبقات وبفعل العوامل الجيولوجية والتعرية هي شديدة التشقق على مستويات تختلف بين حوض وآخر تحت سطح منسوب الينابيع التي تتغذى منها.

وقد دلت تجارب الضخ بان عامل النفاذية (Transmissivity) وعامل التخزين (Coefficient of Storage) للخزان الجوفي الواحد يختلف بين بئر واخرى بسبب حجم الشقوق المخترقة في كل بئر. ويعود ذلك الى عدم تجانس انتشار الشقوق والفواصل في الطبقات الكلسية. وبقدر ما يزيد عدد الآبار وتجارب الضخ لكل خزان جوفي، بقدر ما يتم تحديد معدلي النفاذية والتخزين الحقيقيين لهذا الخزان.

ويبين الجدول (رقم ٥) عامل النفاذية (T) وعامل التخزين (S) لكل من الطبقات الجيولوجية المنتشرة في حوضي الليطاني والعاصي.

الحوض	الطبقات الجيولوجية	الخزان الجوفي	عامل النفاذية m2/Sec	عامل التخزين %
العاصي	طبشوري اوسط	عين الزرقا	٠،٠٣	٢،٥
الليطاني	جوراسيك	عميق	٠،٠٦٥	٢،٥
الليطاني	ايوسين	كامد اللوز ـ جب جنين	٠،٠٢	١،٨
	طبشوري اوسط			
الليطاني	ايوسين	تربل ـ حشمش	٠،٣	٤

جدول رقم ـ ٥ ـ عامل النفاذية (T) وعامل التخزين (S) لخزانات جوفية في حوض نهري الليطاني والعاصي.

ويبلغ تصريف الآبار المستثمرة في هذه الخزانات بما يتراوح بين ٥٠ ـ ١٠٠ ليتر/ثانية من كل بئر أو ما يعادل ٤٣٠٠ ـ ٨٦٥٠ مترا مكعبا في اليوم الواحد. اما معدل انخفاض سطح المياه في الآبار خلال الضخ فيتراوح بدوره ما بين ٣ ـ ١٠ امتار. اما الآبار التي تخترق شقوقا ضئيلة الحجم، فان تصريفها قد لا يتجاوز بضع مئات من الامتار المكعبة في اليوم الواحد. كما ان الآبار التي تخترق شقوقا واسعة تقع على اعماق ضئيلة تحت سطح منسوب الطبقة المائية، فقد تجف هذه الآبار خلال اواسط او نهاية فصل الجفاف بسبب سطح الطبقة المائية لمستويات ادنى من مستويات الشقوق المخترقة. لذلك ينبغي اختيار الآبار الاستثمارية في هذه الخزانات التي ستخترق مجاري جوفية عميقة.

ج ـ الخزانات المائية الجوفية

١ ـ الخزان الجوفي لعين الزرقا ـ حوض نهر العاصي

تبلغ مساحة الطبقات الكلسية التي تعود للعصر الطبشوري الاوسط والتي تغذي " عين الزرقا " حوالي ٨٥٠ كيلومترا مربعا(خريطة رقم ٤) وتقدر كمية المياه التي تهطل فوق هذه الطبقات وتتسرب الى جوف الارض بحوالي ٣٦٥ مليون متر مكعب في السنة. وتغذي هذه الطبقات نبع عين الزرقاء الذي يقع على منسوب ٦٥٨ مترا فوق سطح البحر . وهو من الينابيع الفوارة حيث ان الطبقات الكلسية التي يتغذى منها تقع على عمق يزيد على ٢٠٠ متر تحت سطح الارض ومغطاة بطبقة ردمية مانعة. وتبلغ كمية المخزون الديناميكي للنبع ٥٣٠ مليون متر مكعب عند بداية شهر يونيو لينخفض الى ٤٢٧ مليونا في نهاية شهر سبتمبر. 29

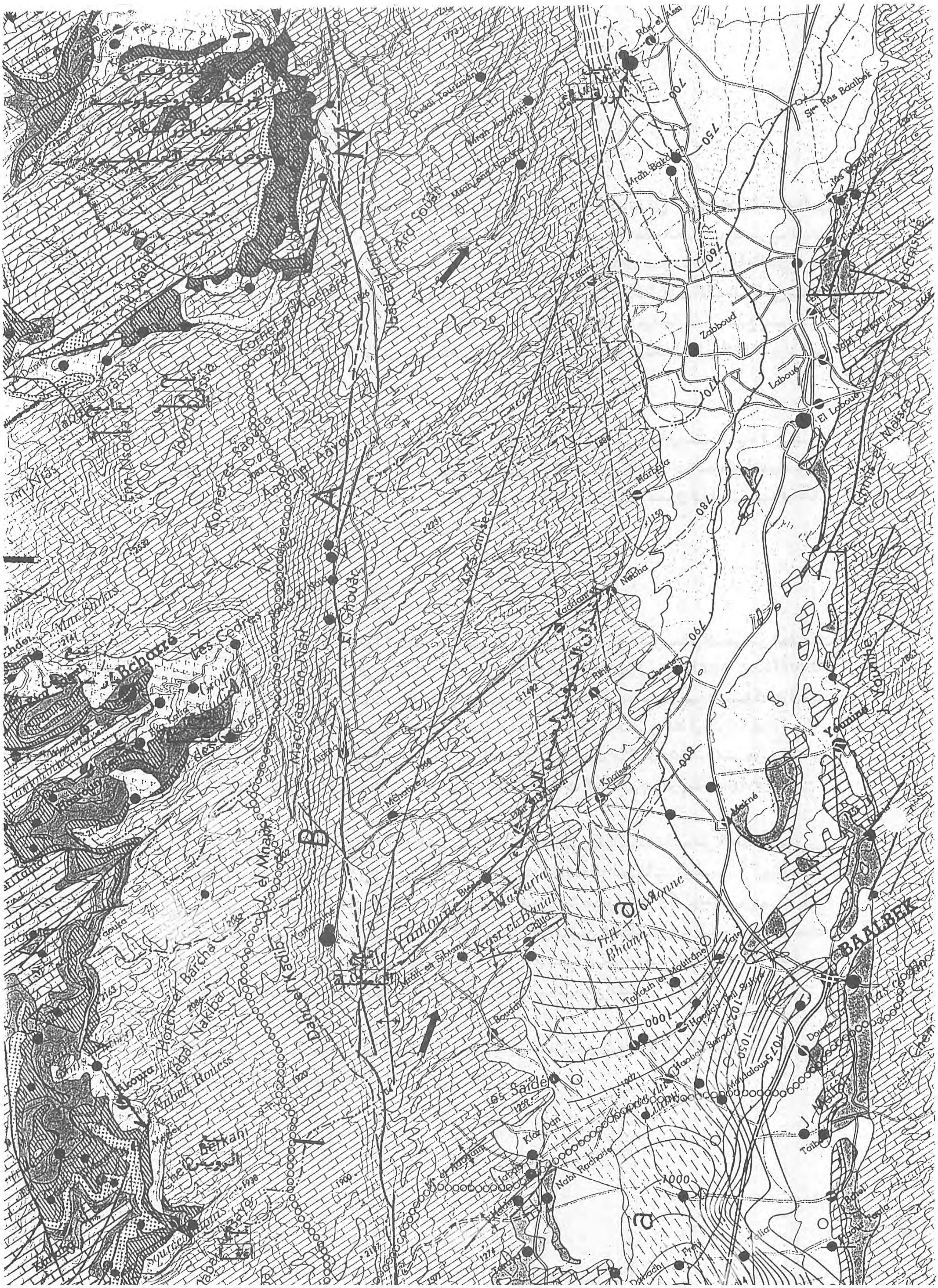
ويتبين من الآبار الى جرى حفرها في الطبقات الكلسيةالممتدة جنوبي النبع بان سطح المياه في الطبقات الكلسية يقع على منسوب ٨٠٠ متر فوق سطح البحر وان الشقوق والفجوات الحاملة للمياه تقع على اعماق تزيد على ٢٠٠ متر تحت منسوب الطبقة المائية الجوفية. ويبلغ معدل النفاذية لهذة الآبار ٠،٠٣ متر مربع / ثانية. اما عامل التخزين فيبلغ ٠،٢،٥٪. 30

٢ ـ الخزانات الجوفية في حوض نهر الليطاني :(خريطة رقم ٥)

أ ـ خزان نبع عميق : يتغذى هذا النبع الذي يقع على منسوب ٨٦٤ مترا فوق سطح البحر من الطبقات الكلسية " جوراسيك " الممتدة في جبل الباروك وهو من الينابيع الفائضة (Overflow springs) حيث ان الشقوق والفجوات الحاملة للمياه تقع على عمق ١٣٥ مترا تحت منسوب النبع. تبلغ كمية المياه التي تغذي هذا النبع ٢١ مليون متر مكعب في السنة ، منها ١٨ مليونا تظهر خلال فترة الغزارة و ٣ ملايين متر مكعب خلال فترة الجفاف. ويبلغ معدل نفاذية الطبقات الكلسية ٠،٠٦٥ متر مربع في الثانية. اما عامل التخزين فيبلغ ٠،٢،٥٪ استنادا الى الدراسات الهيدروجيولوجية المتوفرة. 31

ب ـ خزان تل الدير ـ كامد اللوز : تبلغ مساحة الطبقات الكلسية العائدة للعصر الطبشوري الاوسط والتي تمتد من سد القرعون جنوبا حتى تل الدير شمالا وكذلك الطبقات الكلسية " ايوسين " التي تمتد من طريق شتورا دمشق شمالا حتى جبل الغربي جنوبا ما مجموعه ١١٠ كيلومترات مربعة وتبلغ كمية مياه المطر التي تتسرب الى الخزان الجوفي المنتشر في هاتين الطبقتين ٤٥ مليون متر مكعب تظهر في نبع القرعون الذي يقع على منسوب ٨١٥ مترا فوق سطح البحر . ومنذ العام ١٩٦١ ، تغطي مياه سد القرعون والتي يبلغ منسوبها ٨٥٨ مترا فوق سطح البحر موقع النبع. 32

وقد دلت نتائج الحفريات العديدة التي اجريت في هذين الخزانين بان عامل النفاذية يبلغ ٠،٠٢ م٢/ ثانية وعامل التخزين بحدود ١،٨٪ .


BAALBEK
Zabboud
El Laboué
Laboué
Youmine
Les Cèdres
Bcharré
Ehden
Qaa
Barcha
Nabi Rachade
Ain et Jaouzé
1000
780
790
800
750
760
770
A
B

خريطة رقم ٥
خريطة هيدروجيولوجية
لحوض نهر الليطاني ١
ZAHLE
Maallaka
Bar Elias
Bet ed Dine
Qaraoun
Rachaya
B'
B
نبع عنجر – شمسين
نبع شتورا
نبع عميق

ج - خزان تربل - حشمش: تتكون الطبقات الجيولوجية العائدة لهذا الخزان من مواد كلسية تعود للعصر آيوسيني ومن الطبقات الرديمية التي تعود للعصر " نيوجين " وتغذي هذه الطبقات ثلاث ينابيع هي الفاعوره ، رأس العين وعين البيضاء حيث يبلغ مجموع تصريفها ٢٢ مليون متر مكعب في السنة. ويبلغ مساحة الطبقات الكلسية Eocene حوالي ٢٠ كيلومترامربعا وهي شديدة التشقق لاعماق تزيد على ١٥٠ مترا تحت منسوب سطح الطبقة المائية. وبذلك تكون هذه الينابيع ذات تصريف فائض " Overflow Springs ".

33

وتمتاز الطبقات التي تغذيها بدرجة عالية من النفاذية تبلغ ٠،٣ متر مربع / ثانية وبعامل تخزين يبلغ ٠،٤٪.

IV- الخصائص الكيمائية للمياه

استنادا الى اكثر من ٩٠٠ تحليل كيميائي اجري على مختلف الينابيع والانهر اللبنانية (٨) ،تبين بان هذه المياه هي كلسية بيكربونيه ، وان نسبة المعادن الذائبة في مياه ينابيع الاحواض الساحلية هي اقل من ينابيع الاحواض الداخلية. ويبين الجدول رقم (٦) المواصفات الكيميائية لمياه مختلف الاحواض والطبقات الجيولوجية التي سيتم استثمار مياهها وجرها الى دول الخليج العربي.

34

يتبين من التحاليل اعلاه ، بان كمية الاملاح الذائبة في مياه الينابيع المقترح جرها تتراوح ما بين ١٥١ - ٢٦٦ ميليغرام باللتير الواحد . اما درجة القساوة حسب القياسات الافرنسية فتتراوح ما بين ١٣،٥ - ٢٢،٥ وحيث انه سيتم مزج هذه المياه مع بعضها البعض ، فان كمية الاملاح الذائبة سيبلغ حوالي ١٧٥ ميليغرام باللتير الواحد . اما القساوة فتبلغ ١٨ درجة. وتمتاز مياه هذه الينابيع بنقاوتها وعذوبتها بسبب ضآلة نسبة الاملاح والمعادن الذائبة فيها . وتقوم العديد من الشركات اللبنانية بتعبئة مياه ينابيع تتمتع بذات الخصائص الكيمائية للمياه المقترح جرها الى دول الخليج العربي، وبيع هذه المواد المعبأة باوعية كتيمة كمياه معدنية في الاسواق المحلية والخارجية.

35

ونظرا لسعة مساحة الاحواض التي تغذي هذه الينابيع وما يسببه وجود المجمعات السكنية من تلوث للمياه الجوفية ، فقد تحتاج مياه بعض هذه الينابيع للمعالجة بواسطة الكلور قبل استعمالها للشرب.

V- حاجة لبنان المستقبلية للمياه

تقدر احتياجات المدن والقرى اللبنانية التي تقع خارج احواض الانهر المشتركة خلال ٢٥ سنة مقبلة بكمية تبلغ ١٩٥٠ مليون متر مكعب في السنة تتوزع كما يلي :

36

مياه الشرب	٥٠٠ مليون متر مكعب
مياه الري	١٣٥٠ مليون متر مكعب
مياه الصناعة	١٠٠ مليون متر مكعب
المجموع	١٩٥٠

ويتوفر من هذه الكمية خلال فصل الجفاف حوالي ٦٥٠ مليون متر مكعب من مياه الينابيع بالاضافة الى كمية قدرها ٤٠٠ مليون متر مكعب يمكن استثمارها بواسطة الآبار من مختلف الخزانات الجوفية.

37

Groundwater	Age	Region	Ca	Mg	Na+K	Cl	SO4	CO3	HCO3	NO3	TDS	
			(Cations, milliequivalents)			(Anions, milliequivalents)					(mg/l)	dH
		Mediterranean Province الاحـــواض الساحليـــة										
	Jurassic	Abou Ali	1.7	1.5	0.2	0.5	0.1	–	2.3	–	160	16
		Nahr Ibrahim	1.6	1.4	0.2	0.5	0.4	0.1	2.2	–	151	16
		Barouk-Niha	2.4	0.3	0.3	0.4	–	–	2.6	–	157	13.5
	Cenomanian	North Lebanon (Nahr Abou Ali, Ibrahim)	2.5	1.1	0.3	0.6	0.1	–	3.2	–	198	18
		Interior Province الاحـــواض الداخليـــة										
	Jurassic	Barouk-Niha (Ammiq, Kab Elias)	3.5	0.9	0.4	0.5	0.3	0.1	3.8	–	266	22
	Cenomanian	Mount Lebanon (Ain Al-Zarka)	2.2	0.8	0.1	0.3	–	–	2.8	–	160	15
		Anti-Lebanon (Anjar-Chamsine)	2.8	1.1	0.4	0.6	0.2	0.1	3.3	0.1	227	19.5
		South Bekaa (Tell El Deir)	3.4	1.1	0.5	0.7	0.2	0.1	4.0	–	251	22.5
	Eocene	Litani Basin										
		Terbol	4.2	1.3	0.5	0.6	0.6	0.1	4.5	0.2	364	27.5
		Kamed El Loz	3.0	0.4	0.2	0.6	0.1	0.2	2.7	–	164	17.0

جدول رقـم (٦) التحاليل الكيميائيـــة لمياه الاحواض الساحلية والداخليـــــة

اما الكمية الباقية وقدرها ٩٠٠ مليون متر مكعب ، فينبغي تأمينها بواسطة سدود وبحيرات اصطناعية . وتدل الدراسات التي قام بها برنامج الامم المتحدة للتنمية (٣) والمصلحة الوطنية لنهر الليطاني ووزارة الموارد المائية والكهربائية بان المواقع الجيولوجية الملا ئمة لتخزين المياه يمكنها استيعاب كمية اقصاها ٧٠٠ مليون متر مكعب في السنة . ولكي يتم تخزين الكمية الباقية والبالغ قدرها ٢٠٠ مليون متر مكعب ، سيتحتم اقامة سدود في مواقع جيولوجية غير ملا ئمة مما يتطلب القيام باعمال جيوتكنيكية باهظة التكاليف قد لا يتمكن وضع لبنان الاقتصادي من تأمينها . واذا اخذنا بالاعتبار بان لبنان سيتمكن من تأمين الاموال اللازمة لتنفيذ الاشغال الضرورية لتأمين ما سيتحاج اليه خلا ل فترة الجفاف بعد تخزين مياه فترة الغزارة ، فان كمية المياه التي ستبقى تهدر في البحر في احواض انهره الساحلية تبلغ ١٦٤٥ مليون متر مكعب في السنة .

VI- الخطوات العملية لتأمين المياه :

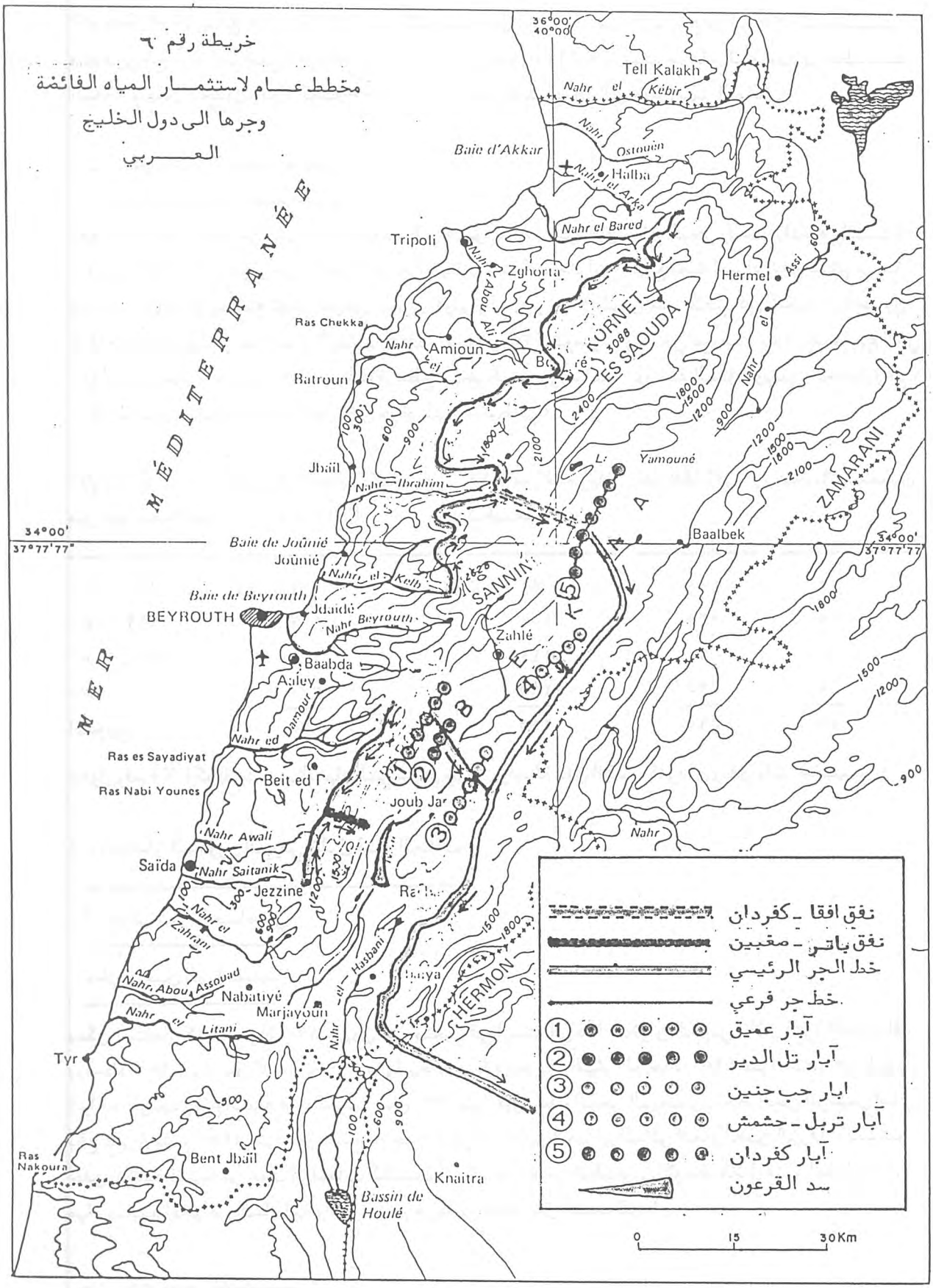
١ ـ المخطط العام : ان الخطة المقترحة للا ستفادة من المياه التي ستفيض عن حاجة لبنان خلا ل ٢٥ سنة مقبلة تتطلب جر كمية تبلغ ٧٥٠ مليون متر مكعب في السنة من هذا الفائض الى دول الخليج العربي . وتعتمد هذه الدراسة على نقل كمية قدرها ٦٦٥ مليون متر مكعب خلا ل فترة الغزارة من مياه الينابيع التي تغذي الانهر الساحلية بواسطة نفقين يخترقا سلسلة جبال لبنان الغربية (خريطة رقم ٦) ويتوقع جر كمية قدرها ٥٩٠ مليون متر مكعب في السنة بواسطة نفق يمتد ما بين افقا غربا حتى بلدة كفردان شرقا . اما النفق الآخر فسيجر كمية قدرها ٧٥ مليون متر مكعب في السنة ويمتد ما بين وادي بلدة باتر الشوف غربا وبلدة صغبين شرقا . وتقضي الخطة الى جر كمية ٤٠٠ مليون متر مكعب خلال فترة الغزارة من مياه نفق افقا ـ كفردان الى دول الخليج العربي بواسطة خط من الانابيب قطر ٣ امتار بطول ١٥٠٠ كيلومتر تقريبا . اما الكمية الباقية من مياه النفق والبالغ قدرها ١٩٠ مليون متر مكعب فسيجر حقنها في جوف الطبقات الكلسية التي تغذي عين الزرقا الواقعة في حوض نهر العاصي . وسوف يتم استثمار الكمية ذاتها خلا ل فترة الجفاف وجرها بواسطة الخط الرئيسي الى دول الخليج . اما مياه نفق باتر ـ صغبين ، فستصب في حوض سد القرعون لزيادة الميزان المائي لنهر الليطاني .

وحيث انه ينبغي تأمين كمية قدرها ٣٥٠ مليون متر مكعب خلا ل فترة الجفاف ، فسيتم استثمار المخزون الجوفي لثلا ثة خزانات جوفية تقع في حوض نهر الليطاني بمعدل ١٦٠ مليون متر مكعب . وستضاف هذه المياه الى الكمية التي ستضخ من خزان عين الزرقا والبالغة ١٩٠ مليون متر مكعب . وبما ان استثمار الخزانات الجوفية في حوض نهر الليطاني سيجري بمعدلات تزيد عن التغذية الطبيعية التي تحصل لها من مياه المطر ، فسوف يتم حقنها خلا ل فترة الغزارة بكمية قدرها ٧٠ مليون متر مكعب من مياه بعض الينابيع الواقعة في حوض نهر الليطاني للتعويض عن الاستنزاف الذي سيحصل للخزانات الجوفية المستثمرة خلا ل فصل الجفاف .

٢ ـ جر مياه ينابيع الاحواض الساحلية خلا ل فترة الغزارة

أ ـ نفق افقا ـ كفردان

تقضي هذه الخطة الى شق نفق يمر بجوار نبع افقا على منسوب ١٢٥٠ مترا فوق سطح البحر حتى بلدة كفردان غربا في حوض نهر العاصي ، ويبلغ طول النفق ١٢ كيلومتر وسيتم بواسطته جر مياه الينابيع التي تقع على اللحف الغربي من سلسلة جبال لبنان الغربية بدءا من نهر البارد شمالا حتى نهر الكلب جنوبا


خريطة رقم ٦
مخطط عام لاستثمار المياه الفائضة
وجرها الى دول الخليج
العربي
MÉDITERRANÉE
MER
Tell Kalakh
Nahr el Kébir
Baie d'Akkar
Nahr Ostouan
Halba
Nahr el Arka
Nahr el Bared
Tripoli
Nahr Abou Ali
Zghorta
Hermel
Assi
Ras Chekka
Nahr el
Amioun
KORNET ES SAOUDA
3088
Batroun
Jbaïl
Nahr Ibrahim
Yamouné
ZAMARANI
Baalbek
34°00'
37°77'77"
Baie de Joûnié
Joûnié
Nahr el Kelb
SANNIN
Baie de Beyrouth
BEYROUTH
Jdaidé
Nahr Beyrouth
Zahlé
Baabda
Aaley
Nahr ed Damour
Ras es Sayadiyat
Ras Nabi Younes
Beit ed D
Joub Jar
Nahr Awali
Saïda
Nahr Saitanik
Jezzine
Nahr el Zahrani
Nahr Abou Assouad
Nabatiyé
Marjayoun
Nahr el Litani
Nahr el Hasbani
Hasbaya
HERMON
Tyr
Ras Nakoura
Bent Jbaïl
Knaitra
Bassin de Houlé
نفق افقا ـ كفردان
نفق باتر ـ صغبين
خط الجر الرئيسي
خط جر فرعي
① آبار عميق
② آبار تل الدير
③ ابار جب جنين
④ آبار تربل ـ حشمش
⑤ آبار كفردان
سد القرعون
0
15
30Km

(خريطة رقم ٦) ويبلغ طول شبكة الانابيب التي تستعمل لجر مياه هذه الينابيع حوالي ١٢٥ كيلومتر.
41 وسيجري ضخ مياه الينابيع التي تقع على منسوب ادنى من ١٢٥٠ مترا ليتم جرها بالجاذبية بواسطة النفق. ويبين الجدول رقم ٦ كميتومنسوب المياه التي سيتم جرها الى حوض نهر العاصي.

ب - نفق باتر الشوف - صغبين

يقع مأخذ هذا النفق في وادي باتر الشوف على منسوب ٨٨٠ مترا فوق سطح البحر ويمتد باتجاه بلدة صغبين الواقعة في حوض نهر الليطاني شرقا بطول ستة كيلومترات. تبلغ كمية المياه التي سيتم جرها في هذا النفق من ينابيع تغذي حوضي نهري الاولي والدامور ٧٥ مليون متر مكعب في السنة. اما طول 42
الشبكة اللا زمة لجر مياه هذه الينابيع فتقدر بحوالي ٣٥ كيلومترا. وينبغي ضخ مياه بعض الينابيع التي تقع على منسوب ادنى من ٨٨٠ مترا فوق سطح البحر ليتم جر مياهها بواسطة النفق. ويبين الجدول (رقم ٧) كمية منسوب المياه التي ستجر الى حوض نهر الليطاني.

الارتفاع - متر فوق سطح البحر	تصريف الينابيع الطبيعي (١٠٠٪)	٨٠٪ من التصريف الطبيعي	نفق افقا كفردان	نفق باتر صغبين
٥٠٠ - ٧٤٩	١٠٠	٨٠	٨٠	٠
٧٥٠ - ٩٩٩	١٩٠	١٥٠	١٢٥	٢٥
١٠٠٠ - ١٢٤٩	١٧٥	١٤٠	٩٠	٥٠
١٢٥٠	٣٧٠	٢٩٥	٢٩٥	٠
المجموع	٨٣٥	٦٦٥	٥٩٠	٧٥

43

جدول رقم (٧) كمية منسوب المياه التي سيتم جرها بواسطة نفق افقا - كفردان ونفق باتر صغبين.

٣ - استثمار المخزون الجوفي خلا ل فترة الجفاف

أ - حوض نهر العاصي

- خزان عين الزرقا

يمكن استثمار كمية قدرها ١٩٠ مليون متر مكعب في السنة في هذا الخزان الجوفي خلا ل فترة الجفاف بواسطة ٢٥٠ بئرا عمق كل منها ٤٠٠ مترا بحيث يبلغ تصريف البئر الواحدة ٤٢٥٠ مترا مكعبا في اليوم 44
الواحد. وسيتم ضخ المياه في منسوب عمق ٧٥٠ مترا فوق سطح البحر الى منسوب خط الجر الرئيس الذي يقع على ارتفاع ١٢٥٠ مترا فوق سطح البحر. ولكي لا يتدنى الميزان المائي العام لعين الزرقا ، فسيتم حقن الكمية ذاتها في جوف الطبقات الكلسية العائدة للعصر الطبشوري الاوسط خلا ل فترة الغزارة من مياه ينابيع الاحواض الساحلية والتي سيتم جرها بواسطة نفق افقـ - كفردان.

ب - حوض نهر الليطاني

- خزان نبع عميق

45 يمكن ضخ كمية قدرها ٣٥ مليون متر مكعب في السنة خلا ل فترة الجفاف ، مما سيؤدي الى تدني منسوب

سطح الطبقة المائية الجوفية بمعدل ٥٠ مترا ، او الى منسوب قدره ٨١٥ مترا فوق سطح البحر ٠ ويتطلب استثمار هذه الكمية حفر ٣٠ بئرا استثمارية بعمق ١٧٥ مترا لكل منها بحيث يكون معدل الضخ من كل
45 بئر ٦٥٠٠ متر مكعب في اليوم الواحد ٠ وللتعويض عن استنزاف المخزون الديناميكي والساكن لهذا الخزان ، ينبغي حقن كمية قدرها ١٥ مليون متر مكعب خلال فترة الغزارة من مياه نبعي قب الياس وشتورا بواسطة ١٠ آبار عمق كل منها ١٥٠ مترا٠

- خزان تل الدير - كامد اللوز

واذا اخذنا جميع المعطيات الهيدروجيولوجية المتوفرة لهذا الخزان الجوفي ، يتبين انه بالامكان استثمار كمية قدرها ٩٠ مليون متر مكعب في السنة بواسطة ٧٥ بئرا عمق كل منها ٢٥٠ مترا٠ ويبلغ معدل تصريف كل بئر ٦٥٠٠ مترا مكعبا في اليوم الواحد ٠ ومن شأن استثمار هذه الكمية ان يؤدي الى
46 تدني منسوب الطبقة المائية بمعدل ٦٠ مترا ليصل الى منسوب ٨٠٠ متر فوق سطح البحر ٠ وللتعويض عن استنزاف المخزون الديناميكي والساكن ينبغي تغذية الخزان الجوفي اصطناعيا خلال فترة الغزارة من نبع عنجر - شمسين بكمية قدرها ٤٠ مليون متر مكعب علما بان مياه سد القرعون ستغذي هذا الخزان طبيعيا بما يتراوح بين ١٠ - ١٥ مليون متر مكعب٠
- خزان تربل - حشمش

يمكن استثمار المخزون الجوفي في الطبقات الكلسية ايوسين بمعدل ٣٥ مليون متر مكعب في السنة
47 بواسطة ٢٥ بئرا ، عمق كل منها ٢٠٠ مترا ، وبتصريف قدره ٧٧٥٠ مترا مكعبا في اليوم الواحد ٠ وينبغي تغذية هذه الطبقات خلال فترة الغزارة بكمية قدرها ١٥ مليون متر مكعب في السنة من مياه نهر يحفوفا بعد معالجتها٠

إن طبقة المياه في الخزانات الجوفية الثلاثة المنتشرة في حوض الليطاني تقع على منسوب يتراوح بين ٨٥٨ - ٨٨٠ مترا فوق سطح البحر ٠ ومن المتوقع عند استثمار هذه الخزانات الجوفية بالكميات المشار
48 اليها اعلاه ان ينخفض هذا المنسوب الى ارتفاع ٨٠٠ مترا فوق سطح البحر ، وبما ان خط الجر الرئيسي يعلو ١٢٥٠ مترا فوق سطح البحر فان ذلك يستدعي ضخ ١٦٠ مليون متر مكعب في السنة بمعدل ٤٥٠ مترا٠

ان المنطقة المراد استثمار المياه الجوفية فيها والمنتشرة في حوض نهر الليطاني تقع على منسوب يتراوح بين ٨٦٥ - ٨٩٠ مترا فوق سطح البحر وهي تحوي على اراض زراعية خصبة٠ ولكي يتم الاستفادة من مياه الخزانات الجوفية المشار اليها اعلاه وجرها الى دول الخليج العربية، يجب اعتماد المخطط الذي
49 تم وضعه عند بناء سد القرعون والذي يقضي الى جر كمية قدرها ١١٠ مليون متر مكعب في السنة من مياه السد خلال فترة الجفاف٠ وهذه الكمية بالاضافة الى ما يتوفر من تصريف الينابيع المجاورة والتي تبلغ ٦٠ مليون متر مكعب تكفي لتأمين حاجة الاراضي الزراعية الواقعة على منسوب ٩٠٠ مترا وما دون٠ وبذلك تنتفي حاجة المنطقة لمياه الآبار لري مزروعاتهم ويصبح بالامكان استثمار المخزون الجوفي للخزانات الجوفية الثلاثة وجر مياهها كما هو مبين سابقا٠

والجدير ذكره ان معدل تصريف نهر الليطاني عند سد القرعون يبلغ ٤٦٠ مليون متر مكعب في السنة،
50 بينما تبلغ كمية المياه التي يمكن لحوض السد ان يستوعبها ٢٢٠ مليون متر مكعب وبذلك تكون كمية

المياه التي لن يتمكن السد من تخزينها بحدود ٢٤٠ مليون متر مكعب في السنة. ويستفاد من هذه الكمية بتوليد الطاقة الكهربائية فقط حيث ان المياه المستعملة لتوليد الطاقة تصب هدرا في البحر صيفا شتاء. وعند استثمار الخزانات الجوفية الواقعة في حوض نهر الليطاني بالكميات المشار اليها اعلاه والبالغة ١٦٠ مليون متر مكعب خلال فترة الجفاف، فان ذلك من شأنه ان يزيد كمية المياه الممكن تخزينها في حوض نهر الليطاني من ٢٢٠ مليون متر مكعب الى ٣٨٠ مليون متر مكعب في السنة. كما سيؤدي ذلك الى تدني كمية المياه التي لن يتمكن السد من تخزينها لتصل الى ٨٠ مليون متر مكعب في السنة بدلا من ٢٤٠ مليون متر مكعب وستشكل المياه التي سيتم جرها من ينابيع اللحف الغربي بواسطة نفق باتر - صغبين والبالغ قدرها ٧٥ مليون متر مكعب في السنة، موردا اضافيا يساهم في زيادة الميزان المائي لنهر الليطاني من ٣٠٠ مليون متر مكعب في السنة الى ٣٧٥ مليونا.

VII- الخاتمة

ان تكنولوجيا تحلية المياه تتقدم بخطى واسعة. مما يؤمل بان تصبح اكثر فعالية واقل كلفة. وحتى يتحقق هذا الهدف، فقد تلجأ دول الخليج العربية الى مصادر مائية تقع خارج حدودها لتأمين حاجتها من المياه. وتجدر الاشارة الى ان المياه المستوردة ما هي الا مكملة لمحطات تحلية المياه والتي يمكن اعتبارها في هذه الحالة بمثابة احتياط تعمل لفترات محدودة، مما سيطيل امد عملها والاستغناء قدر الامكان عن اقامة محطات تحلية جديدة وكذلك المحافظة على احتياط المياه في الخزانات الجوفية المعرضة للاستنزاف ومنع تلوثها بمياه البحر. ولكي تتمكن هذه الدول من دراسة ومقارنة مختلف الخيارات المتاحة، آمل بان تكون هذه الدراسة قد ساهمت بتوضيح احدى هذه الخيارات والتي تؤمن كمية قدرها مليوني ومائة ألف متر مكعب في اليوم الواحد من المياه النقية والصالحة للشرب على مدار السنة.

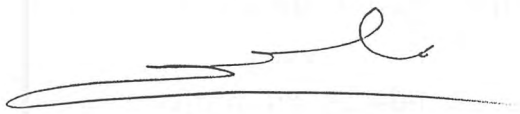
اما الفوائد التي ستحققها دول الخليج العربية لقاء جر المياه اللبنانية الفائضة اليها، فالقيمين على شؤون المياه في هذه الدول هم ادرى بما يجب اتخاذه من خطوات تؤمن مصلحتهم. واما لبنان فسيستفيد أولا من استثمار ٧٥٠ مليون متر مكعب من ثروته المائية التي تتجدد عاما بعد عام بدلا من هدرها في البحر. وهذا الاستثمار يمكنه ان يحقق مردودا ماليا قادرا على تمويل مشاريع عمرانية في مختلف الميادين تساهم في تقوية الاقتصاد الوطني وفي رفع مستوى المعيشة لمواطنيه. كذلك سيتمكن من بناء سدود وبحيرات اصطناعية لتخزين اقصى كمية ممكنة من المياه خلال فترة الغزارة الامر الذي يوفر كفاية الشعب اللبناني من مياه الشفه والري والحاجات الصناعية، ناهيك عن تأمين فرص عمل لعشرات المهندسين والفنيين والعمال.

ولا يفوتنا ذكر ان ما ورد في هذه الدراسة من معلومات تتعلق بالثروة المائية في لبنان وبكميات المياه الممكن استثمارها من مختلف الينابيع والخزانات الجوفية هي ارقام اولية ومبدئية يلزمها المزيد من الدراسات المعمقة والاحصاءات والتجارب الميدانية. كما اننا لم نأت على ذكر اكلاف المشروع والتي قد تتم في مرحلة لاحقة، اذا حظيا لاهتمام اللازم من الدول المعنية.

يبقى ان نقول ان هذا المشروع هو خطوة غاية في الاهمية تكرس مبدأ التعاون والتكامل الاقتصادي العربي ، الذي طالما كان مطلبا وحلما للكثيرين. فحيث يتوفر لدى لبنان مياه نقية فائضة ، وحيث ان دول الخليج العربية تسعى الى تأمين حاجة مواطنيها من المياه ، فمن الطبيعي ان تتعاون هذه الدول لما فيه خيرها ومصلحتهـــا .

والســـلا م عليكم ورحمـة اللـه وبركاتـــه .

الهيدروجيولوجـــــــي



فتحي عبد الحميـد شاتيـــــــــــلا
رئيس تحرير مجلة عالم المياه العربـــــي

References

1- Atlas climatique du Liban, Publie par le Service meteorologique du Liban, Ministere des Travaux Publics, avec le l'aide de l'Observatoire de' Ksara, 1967.

2- Annuaire Hydrometrique public par le Service hydrologique de l'Office National du Litani (ONL).

3- Developpement Hydro-Agricole Du Sud Du Liban. Programme Des Nations Unies Pour le Developpement. Rome 1977.

4- Ministere des Travaux Publics Carte Geologique au Liban 1:50000 Prépareé par Dubertret'l. 1960.

5- Geofizika. Rapport sur les recherches geo-electrique-Liban 1964-65.

6- Inventaire des Points d'leau. Publication HG-106 du projet LEB/7/524. 1973.

7- Chimie des eaux souterraines, publication HG-107 du projet LEB/71/524. 1973.

8- Etude De Eaux Souterraines Liban - Programme Des Nations Unies pour le Developpement. New York 1970.

9- Principales sources karstique du Liban. Deuxiéme thése. Univ. de Montpellier-Fac. Sc. 1969 Guerre A.

Short Biography

Dr. Hussein K. Abdel-Aal is professor of Chemical Engineering at King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia. Professor Abdel-Aal received his M.S. and Ph.D. in chemical engineering (1962 and 1965 respectively) from Texas A&M University. He has more than 35 years of professional experience in industry, academic and applied research, and teaching.

He was the Head of Chemical Engineering Department at KFUPM, Dhahran, Saudi Arabia (1972-1974), Visiting Professor, Chemical Engineering Department, Texas A&M University, (1980-1981), and Head of Solar Energy Department, NRC, Cairo (1987-1988).

Professor Abdel-Aal has contributed to over 50 technical papers and is the editor of one book on Petroleum Economics & Engineering, published by Marcel Dekker, 1992. He is listed in "Who is Who in the World" 1982, member of AIChE, Sigma Si, Phi Lambda Upsilon.

Professor Abdel-Aal is a founding member, and member of the Board of Directors of the International Association of Hydrogen Energy. He serves on the editorial board of the Int. J. Hydrogen Energy, and he is an editor for the Energy Sources Journal.

بعض الطرق المستحدثة لفصل واستعادة أملاح الماغنسيوم من مياه البحر

الدكتور حسين كامل عبدالعال

PROPOSED METHOD FOR THE RECOVERY OF MAGNESIUM SALTS FROM SEA WATER

H.K. Abdel-Aal
Department of Chemical Engineering
King Fahd University of Petroleum & Minerals
Dhahran 31261, Saudi Arabia

Abstract

This paper describes some of the newly proposed methods for the separation and the recovery of magnesium salts from sea water as well as MSF desalination rejects. Experimental findings reported in earlier publications are reported. This includes the "preferential precipitation method" in which MgCl2 is separated as the end product of saline water flowing in a long channel evaporate under the influence of solar energy. The other method known as the "Dense-phase Separation" utilizes specific organic solvents to separate MgCl2 from NaCl in a solid mixture obtained by evaporating a brine rich in the magnesium salt.

بعض الطرق المستحدثة لفصل وإستعادة أملاح الماغنسيوم من مياه البحر

دكتور / حسين كامل عبدالعال
أستاذ الهندسة الكيميائية

جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الظهران ٣١٢٦١
المملكة العربية السعودية

الخلاصـــــة

تتناول هذه الورقة عرضاً لبعض الطرق المستحدثة لفصل وإستعادة أملاح الماغنسيوم الذائبة في مياه البحر بشكل عام وفي المياه المالحة المركزة الخارجة من محطات تحلية المياه بشكل خاص . كذلك تناقش الورقة بعض النتائج المعملية التطبيقية التي تم الحصول عليها في هذا المجال بغرض إستغلال أملاح الماغنسيوم في إنتاج معدن الماغنسيوم . وفي الطريقة الأولى والتي يُطلق عليها الترسيب التميزي (PREFERENTIAL Precipitation) يتم تبخير ماءالبحر باستعمال الطاقة الشمسية وذلك أثناء سريانه في قناة طويلة الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى الحصول على ملح الماغنسيوم . أما في الطريقة الثانية فتستخدم بعض المذيبات العضوية وذلك لفصل أملاح الماغنسيوم من خليط الأملاح الصلبة عن طريق فرق الكثافة النوعية وتعرف العملية (Dense - phase separation)

مقدمة

يُشكل الماء في المقام الأول وريد الحياة وشريانها خاصة بالنسبة لدول الخليج في الوطن العربي والتي تعتمد بالضرورة على تحلية مياه البحر في إمدادها بالمياه العذبة .

وإذا ما نظرنا حولنا إلى الكرة الأرضية ، فإننا نجد أن القارات وما عليها من تضاريس تشغل أقل من ربع مسطح اليابسة ، بينما تمثل باقي المساحة ما يسمى « بالغلاف المائي » والذي يُغطي مساحة قدرها ٣٦١ مليون كم مربع والتي تشمل المحيطات الثلاث (الهادي ، الأطلسي ، الهندي) .

والحديث عن مياه البحر يرتبط أرتباطاً وثيقاً بالأملاح الذائبة فيه والتي تقدر كمياتها بنحو ١.٠×١٠^{١٦} طن يُمثل ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) القدر الأكبر منها بالإضافة إلى أملاح أخرى هامة مثل أملاح الماغنسيوم . ويحتوي اللتر الواحد من مياه البحر على الكميات التالية من الأملاح الذائبة فيه والتي يتم سردها في صورة المكونات الآتية (جزء في المليون) :

١٨,٩٨٠	١٠,٥٦١
٢,٦٤٩	١,٢٧٢
١٤٢	٤٠٠
٦٥	٣٨٠
٣٤	مواد أخرى

المجموع الكلي للمكونات الذائبة : ٣٤ر٤٨٣ جزء في ٩٦٥ر٥١٧ جزء من الماء (في مليون جزء من مياه البحر) .

واذا ما افترضنا تجاوزاً أن اللتر الواحد من ماء البحر يزين ألف جرام تقريباً ، فان درجة الملوحة لمياه البحر تصل إلى ٣ر٥ بالمائة بالوزن أو ٣٥ر٠٠٠ جزء في المليون . إلا أن هذا الرقم يزيد بالنسبة لمياه البحر التي ترتفع فيها درجة تركيز الأملاح (مثل مياه الخليج ومياه البحر الأحمر) .

وعند استخدام عملية التبخير وهي ما تسمى بالتقطير (M.S.F.) في محطات تحلية مياه البحر ، فانه يتم عادة تبخير جزء من الماء (لا يتعدى ٤٠ في المائة) والذي يُمثل الماء العذب المنتج ، بينما الجزء الآخر وهو ٦٠ في المائة والذي يزداد تركيز الأملاح فيه ويتم التخلص منه بإعادته مرة ثانية إلى البحر . وعلى سبيل المثال فإن تركيز الأملاح في المياه الداخلة إلى محطات التحلية في مدينة الخبر في المملكة

العربية السعودية تقدر بحوالي ٥٠٫٠٠٠ جزء في المليون ، بينما يرتفع هذا التركيز ليصل إلى ٧٢٫٣٠٠ جزء في المليون في المياه الراجعة إلى البحر والناتجة بعد عملية التحلية [١] .

من هذا المنطلق فإن مياه البحر بشكل عام والمياه المركزة الناتجة بعد عملية التحلية بشكل خاص تُمثل مصدراً هاماً يمكن عن طريقه إستعادة بعض الأملاح الذائبة ذات القيمة الأقتصادية أهمها ملح كلوريد الماغنسيوم ($Mgcl_2$) والذي يُعتبر بدوره المادة الخام لمعدن أستراتيجي هام ألا وهو معدن الماغنسيوم [١ ، ٢] .

ولا شك أن العائد المادي من وراء إنتاج معدن الماغنسيوم يؤثر مباشرة بالايجاب على تكلفة مياه الشرب المنتجة في محطات التحلية ويسهم في خفض هذه التكلفة .

وتناقش هذه الورقة بعض الطرق المستحدثة لإسترجاع واستخلاص أملاح كلوريد الماغنسيوم من ماء البحر بغرض إستغلالها إقتصادياً كمادة خام لإنتاج معدن الماغنسيوم . وقبل البدء في مناقشة هذه الطرق نود أن نلقي نظرة سريعة على أهمية معدن الماغنسيوم وإستخداماته والتنويه إلى أهم الخامات المتوافرة لإنتاجه إقتصادياً .

الأهمية الإقتصادية لمعدن الماغنسيوم :

مقارنة بالعناصر الأخرى ، فإن معدن الماغنسيوم يأتي في المرتبة الثالثة من جهة إنتشاره في القشرة الأرضية [٣] ، وفي المرتبة الثانية بالنسبة لوجوده في الأملاح الذائبة في ماء البحر (بعد أملاح الصوديوم) ، ويُعتبر معدن الماغنسيوم أخف المعادن جميعها التي تُوظف للتشغيل والتصنيع .

أما بالنسبة لإنتاج معدن الماغنسيوم فإن أهم مصادر إنتاجه هي : ماء البحر ، المياه المالحة الجوفية المركزة وخامات الأملاح وذلك على هيئة ملح كلوريد الماغنسيوم ، وكذلك من الخامات المتوافرة في الطبيعة مثل الدولاميت ، الماغنسيت ، الكارناليت . ومن أهم إستخدامات الماغنسيوم : تصنيع سبائك الألمونيوم ، تصنيع بعض المصبوبات في مواد البناء ، إضافة الماغنسيوم إلى الحديد الزهر لإنتاج حديد ذو مواصفات خاصة ، التخلص من عنصر الكبريت في عملية انتاج الصلب ، إستعماله كعامل مختزل في عملية إنتاج التيتانيوم والزيركونيام ... بالاضافة إلى إستخدامات أخرى .

ومن أهم إستخدامات الماغنسيوم التي تأتي في المرتبة الأولى تصنيع خامات الألمونيوم اللازمة لتصنيع علب تعبئة المشروبات الغازية . هذا ومن المتوقع أن يحل معدن الماغنسيوم محل الألمونيوم في كثير من الإستخدامات وذلك لو أنخفضت تكلفة إنتاجه إلى مستوى يمكن من ذلك الإحلال خاصة في صناعة السيارات .

وتخضع سوق إنتاج معدن الماغنسيوم تحت سيطرة ثلاث دول وهي : الولايات المتحدة الأمريكية ، دول الإتحاد السوفيتي ، والنرويج حيث يزيد مجموع إنتاجهم مجتمعين على ٨٥٪ من الإنتاج العالمي والذي يُقدر بحوالي ٣٦٨ر٠٠٠ طن لعام ١٩٨٧، وهنا لابد وأن نطرح السؤال التالي :

لماذا لا يدخل العالم العربي مجال إنتاج كلوريد الماغنسيوم عن طريق إستعادته من مياه البحر ، ثم تصنيع معدن الماغنسيوم خاصة وأن الله عز وجل قد أعطانا المقومات الرئيسية وهي الماء المالح الغني بالأملاح والطاقة الشمسية المتوافرة ؟

طرق إنتاج الماغنسيوم :

يمكن تقسيم طرق إنتاج الماغنسيوم إلى مجموعتين كما هو موضح في الشكل رقم (١) كالتالي :

أ -طرق مستخدمة صناعياً : وتشمل :

(١) اختزال أكسيد الماغنسيوم الناتج من خامات الدولاميت بواسطة الفحم الحجري باستخدام الأفران الكهربائية وتسمى هذه الطريقة بالعملية " الكربو حرارية " (CARBOTHERMIC) . وهذه الطريقة غير شائعة الاستعمال في الوقت الحالي .

(٢) اختزال خامات الدولاميت مباشرة بواسطة الفيروسيلكون (FERROSILICON) .

(٣) التحليل الكهربائي لملح كلوريد الماغنسيوم والذي يتم الحصول عليه من ماء البحر عن طريق المعالجة الكيميائية والتي تتم كالتالي :
بضخ ماء البحر في براميل كبيرة حيث يخلط بالجير ويتفاعل الكلس الذي في الجير مع ماء البحر فيترسب هيدروكسيد المغنسيوم في قاع البراميل ويفصل الراسب عن الماء ويتحول إلى كلوريد المغنسيوم بتفاعله مع حامض الهيدروكلوريك . نرى في الشكل رقم (٢) أن هذه العملية تتطلب إيجاد

حامض الهيدروكلوريك (HCL) الذي يستلزم توافر الغاز الطبيعي وغاز الكلورين ، وكذلك ايجاد الجير للحصول على هيدروكسيد المغنسيوم من البحر ويستخرج هذا الجير من صدفات البحار بعد حرقها وخلطها بالماء الصافي ، ويؤدي تحليل كلوريد الماغنسيوم الكهربائي إلى إنتاج المغنسيوم وغاز الكلورين ، ويستعمل هذا الأخير بالاضافة إلى نصف طن أخرى من الكلورين لكل طن ينتج من المغنسيوم وذلك لانتاج حمض الهيدروكلوريك اللازم . وتقوم شركة داو الأمريكية (DOW) باستخدام هذه الطريقة والتي تتطلب طاقة كهربائية تقدر بحوالي ١٨٫٥٠٠ ك.و.س وكمية من مياه البحر تعادل ٢٠٠٫٠٠٠ جالون لكل طن ماغنسيوم .

(٤) التحليل الكهربائي لملح كلوريد الماغنسيوم والذي يتم الحصول عليه بتبخير خامات كلوريد الماغنسيوم الطبيعية المتوافرة .

ب- طرق مُقترحة أو مستحدثة :

تعتمد هذه الطرق المقترحة على بعض التجارب البحثية والتي قمنا بتنفيذها ونشر نتائجها وذلك على المستوى المعملي [٤ ، ٥ ، ٦] . وتهدف هذه الطرق إلى الحصول على ملح كلوريد الماغنسيوم من ماء البحر في الحالة النقية وذلك دون اللجوء إلى المعالجة الكيميائية السالف ذكرها في طريقة (DOW).وتتلخص في الآتي :

الطريقة الأولى : الفصل بالترسيب التميزي : (PRFERENTIAL PRECIPITATION)

مقدمة :

إن معظم الماغنسيوم المصنوع الآن مستخرج من البحر على الطريقة التي ذكرناها ، وكانت نسبة المغنسيوم المستخرج من البحر بالنسبة للمغنسيوم المستخرج من الخامات هي ٦٩٪ ولكننا نلاحظ أنه رغم ان الماغنسيوم يوجد في أملاح البحر على شكل كلوريد وكبريتات وبروميد فالمادة الأولية في العالم لصناعة الماغنسيوم هي هيدروكسيد المغنسيوم الذي يحول إلى كلوريد المغنسيوم بعد تفاعله مع حمض الهيدروكلوريك .

فالسؤال إذاً هو : لماذا لا نستغل مباشرة كلوريد الماغنسيوم الذي يوجد ذائباً في ماء البحر ؟ فاحتمال استعمال كلوريد الماغنسيوم مباشرة لم يتجاهله المختصين لكن وجود مشكلتين أساسيتين هو الذي أدى إلى عدم تحقيق ذلك :

المشكلة الأولى : هي كيفية فصل الأملاح المختلفة عن بعضها البعض للحصول على كلوريد الماغنسيوم في حالة نقية .

المشكلة الثانية : هي الحصول على كلوريد الماغنسيوم لا مائي .

عملية الفصل :

إن أهم العناصر التي تتكون منها الأملاح المتبقية من تبخر مياه المحيطات هي الكلورين (٥٥ر٠٦٪) والصوديوم (٣٠ر٠٦٪) والاكسجين (٥ر٥٪) والمغنسيوم (٧ر٣٪) والكبريت (٥٦٤ر٢٪) والكالسيوم (١٧٥ر١٪) والبوتاسيوم (١ر١٪) والبرومين (١٨٦ر٠٪) وتكون هذه العناصر ٩٩٪ من مجموع وزن الأملاح المتبقية ، بينما تكون معظم العناصر الأخرى بما فيها الذهب والبورانيوم الواحد في لمائة المتبقية .

وعندما يتبخر ماد البحر تترسب هذه العناصر على شكل أملاح وتتكون أساساً من ستة أملاح وهي : ملح الطعام أي كلوريد الصوديوم (٨٣ر٧٧٪) وكلوريد الماغنسيوم (٤٤ر٩٪) وكبريتات الماغنسيوم (٥٧ر٦٪) وكبريتات الكلسيوم (٤٤ر٣٪) ، وكلوريد البوتاسيوم (١١ر٢٪) وبروميد الماغنسيوم (٢٢ر٠٪) . ويتم هذا الترسيب دفعة واحدة لجميع الأملاح مجتمعة إذا ما تم تبخير المياه وهي في الحالة الساكنة ، أي بالطريقة التكاملية . وعلى النقيض لذلك ، فإنه إذا ماتم تبخير الماء المالح أثناء سريانه المستمر في قناة طويلة (سواء باستخدام الطاقة الشمسية أو مصدر آخر للطاقة) فإنه يُلاحظ ترسب الأملاح مدة بطريقة تتابعية أو تفاضلية . وباستمرار التبخير تبدأ الأملاح تترسب الواحدة تلو الأخرى . وعندما يصل الوزن النوعي للمحلول إلى ١ر١ ننرسب أملاح كبريتات ثم كربونات الكالسيوم ، ثم تبدأ الأملاح الأخرى في الترسب .فملح الطعام يبتدئ في الترسب عندما يصل الوزن النوعي الى ٢ر١ ويترسب جميعه عندما يصل الوزن النوعي الى ٣ر١ ، أما الكرناليت فيبتدئ بالترسب عندما يصل الوزن النوعي الى ٢١ر١ الى أن يتم ترسيبها كلها عندما يصل الوزن الى ٣٣ر١ لكن بما أن الكرناليت لا يحتوي إلا على ٤ر٣٤٪ من كلوريد الماغنسيوم فانه لايمكن استعمالها اقتصادياً لاستخلاص كلوريد الماغنسيوم منها ، وعندما يصل الوزن النوعي الى ٣٣ر١ يبتدئ كلوريد الماغنسيوم في التراسب على شكل ملح مائي ويستمر في الترسب الى وزن نوعي قيمته ٣٧ر١ ، ويمكن استعمال هذا المركب مباشرة لحله كهربائياً والحصول على معدن الماغنسيوم .

والطريقة العملية للحصول على مركب كلوريد الماغنسيوم هذا هي باستعمال قناة طويلة جداً يدخل ماء البحر فيها من طريق ويتبخر باضطراد ، وهو يمضي إلى الطرف الثاني المغلق ، ولكي تكون مساحة المنشآت صغيرة ، حسب الامكان يفضل أن تكون القناة على شكل حلزوني ، ويمكن تحويل كلوريد الماغنسيوم المائي إلى مركب لا مائي بتذويبه إلى حرارة قدرها ٨٧٠ درجة مئوية ، وسيؤدي تحليل كل ٤ر٤ طن من كلوريد الماغنسيوم كهربائياً إلى طن واحد من معدن الماغنسيوم و

٢ر٧ أطنان من الكلورين وتوضح هذه الطريقة في الشكل رقم (٣) .

ولقد دلت بعض النتائج الأولية التي قمنا بها سالفاً [١] والتي تم فيها إستخدام مبخر (EVAPORATOR) يتكون من ٢٥ قناة (طول الواحدة ٢ متر) على أنه يمكن تركيز كلوريد الماغنسيوم في ماء البحر لدرجة تبلغ نسبته إلى كلوريد الصوديوم حوالي ١ر٠ في المنتج شبه نهائي .

الطريقة الثانية : وتعتمد على استخدام بعض المذيبات العضوية ويُطلق عليها (Dense-phase Separation) ويتم الفصل بهذه الطريقة وذلك باستخدام خاصية الفرق في الوزن النوعي للأملاح الذائبة .

مقدمة : تمت التجارب المعملية باستعمال هذه الطريقة وذلك بالقيام أولاً بتبخير محلول مائي يحتوي على ملحي كلوريد الصوديوم وكلوريد الماغنسيوم بالنسب المتوافرة في مياه البحر وذلك تبخيراً كلياً . أعقب ذلك إضافة مذيب عضوي ذو كثافة نوعية تتراوح قيمتها بين :

١ر٥٦ ، ٢ر١٦٣

(كلوريد الماغنسيوم) (كلوريد الصوديوم)

ثم خلط المسحوق الملحي بعد ذلك بالمذيب العضوي خلطاً جيداً . وبإستخدام أجهزة فصل السوائل بطريقة الطرد المركزي (Sedimentation Centrifuges) ، أمكن فصل كلوريد الماغنسيوم من كلوريد الصوديوم في هذه العينات المستحضرة ، وكذلك بإستخدام عينات تحتوي على أملاح تم تجهيزها من ماء البحر .

عملية الفصل : وتتلخص في الخطوات الموضحة بالشكل رقم (٤) . ولقد تم استخدام مزيج من مذيبي تتراكلورميثان (TETRACHLORO METHANE) ذو كثافة نوعية ١ر٥٩٥ ، أيودوميثان (IODOMETHANE) ذو كثافة نوعية ٢ر٢٦٥ بخلط المذيبين بنسب مختلفة تسمح بالحصول على الكثافة النوعية المناسبة لعملية الفصل وذلك باستخدام العلاقة :

$$100\ (Cm^3)\ (1.9) = (100-V_1)\ (1.395) + (V_1)\ (2.265)$$

أي أنه بفرض أننا أردنا الحصول على ١٠٠ سم^3 من مذيب كثافته النوعية هي ١ر٩ ، فإنه يلزم ٥ر٤٥ سم^3 من مذيب أيودوميثان ذو كثافة نوعية ٢ر٢٦٥ ، ٥ر٥٥ سم^3 من مذيب كلوروميثان ذو كثافة نوعية ١ر٥٩٥ .

ولقد دلت نتائج البحث المنشورة في المرجع [٦] على أن كمية أملاح الماغنسيوم التي يتم فصلها تزداد بإزدياد الكثافة النوعية لتصل إلى أعلى مستوى عند استخدام مذيب ذو كثافة نوعية ٩ر١ . وبالرجوع إلى الشكل رقم (٥) والجدول رقم (١) يتضح أن درجة استعادة ملح كلوريد الماغنسيوم من الخليط تصل إلى ٤ر٩٢٪ عند استخدام هذه الكثافة النوعية ، إلا أنه عند إستعمال مذيب ذو كثافة أعلي من هذا الرقم فإن ملح كلوريد الصوديوم ينفصل جنباً إلى جنب مع ملح كلوريد الماغنسيوم ، الأمر الذي يؤثر على نقاوة المنتج المطلوب .

	خصائص مكونات الخليط (قبل الفصل)	خصائص النواتج (بعد الفصل)
كمية ملح كلوريد الماغنسيوم	٢٣٦ر٠	(أ) الطبقة المغلقة (الخفيفة) ٢١٨ر٠ (أثارضئيلة من ملح كلوريد الصوديوم) (ب) الطبقة المترسبة (الثقيلة) ١٨ر٠
كمية ملح كلوريد الصوديوم	٢٦٤ر٢	٢٦٠ر٢
المجموع	٥٠٠ر٢	٥٠٠ر٢
نسبة إسترجاع أملاح الماغنسيوم		٤ر٩٢٪

الجدول رقم (١) بعض نتائج فصل أملاح الماغنسيوم باستخدام طريقة المذيبات (الأرقام بالجرام)

التوصيات :

١ - يتمتع الوطن العربي بثروات هائلة تتمثل في منابع الطاقة والتي لا تقتصر على الغاز والبترول بل تشمل الطاقة الشمسية والتي لا تندثر مع مر السنين ، وكذلك هذا المخزون الهائل من المعادن المتوافرة في مياه البحار

وأهمها معدن الماغنسيوم . واذا ما إستخرجنا مثلاً مائة مليون طن من الماغنسيوم في العام فإن هذا لا يؤثر على تركيزه في الماء المالح بشكل ملحوظ ، الأمر الذي يجعل إحتياطي ذلك العنصر شبه لا نهائي في مياه البحار المحيطة بنا .

٢ - إن الدافع وراء مثل هذه الأبحاث هو استخدام خامات متوافرة من مصدر شبه لا نهائي (هو ماء البحر) والتي يلزم لإستعادتها طاقات هائلة ومتوافرة وشبه لا نهائية (الطاقة الشمسية) ، والتي تمثل في النهاية مصدر اقتصادي هام له وزنه في الوطن العربي .

٣ - إن العائد المادي من وراء انتاج معدن الماغنسيوم من مياه البحر يؤدي إلى خفض تكلفة مياه الشرب المنتجة من محطات التحلية .

٤ - اذا كانت هذه الأبحاث قد تم تنفيذها على المستوى المعملي فإن تطويرها على المستوى النصف صناعي أولاً ثم محاولة تطبيقها واستخدامها بعد ذلك في محطات تحلية مياه البحر المنتشرة في أنحاء الوطن العربي قد يودي إلى مردود اقتصادي مجزي (عن طريق بيع كلوريد الماغنسيوم اللامائي أو انتاج معدن الماغنسيوم) يساعد على حصولنا على مياه للشرب بأسعار أرخص مما هي عليه حالياً .

شكر وتقدير :

يتقدم المؤلف بخالص الشكر إلى جامعة الملك فهد للبترول والمعادن لدعمها المستمر للأبحاث المعملية التي كان من نتائجها تقديم هذه الورقة .

المراجع :

١ - الكتاني محمد ع . ، عبدالعال حسين ك . " بحث مقدم للمؤتمر الدولي الرابع في موضوع : المياه العذبة من البحر " هيدلبيرج - ألمانيا (١٩٧٣م)

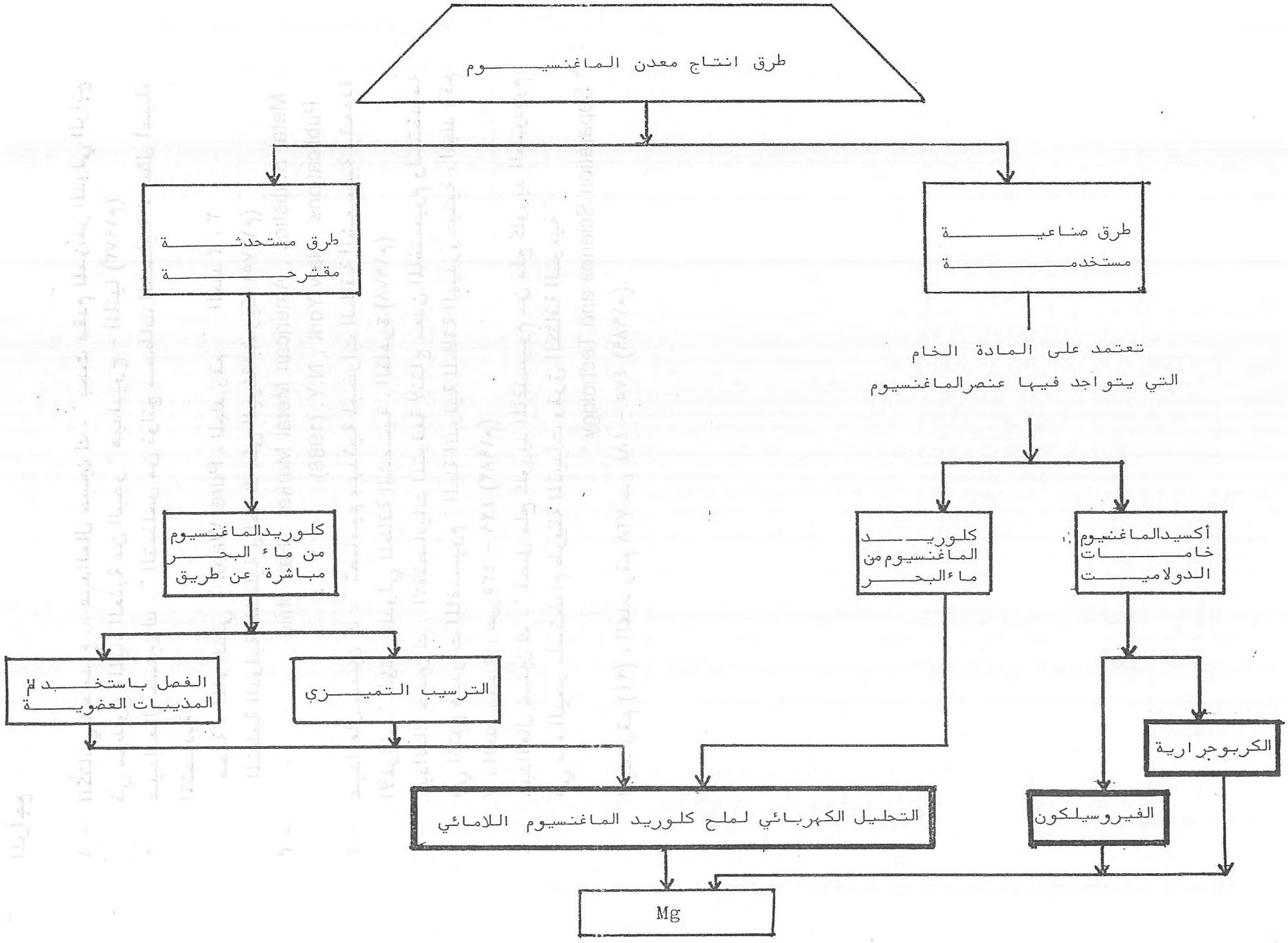
٢ - عبدالعال حسين ك . " التخلص من نواتج محطات التحلية لا يمثل أعباء اقتصادية "
مجلة « الماء النقي » Pure Water ، المجلد رقم العدد ٢ ، ٣
المنظمة الدولية للتحلية والحفاظ على البيئة بأمريكا (١٩٧٥م)

٣ - Metal Statistics , American Metal Market , Fair child Publications , Naw York , N.Y. (1988) .

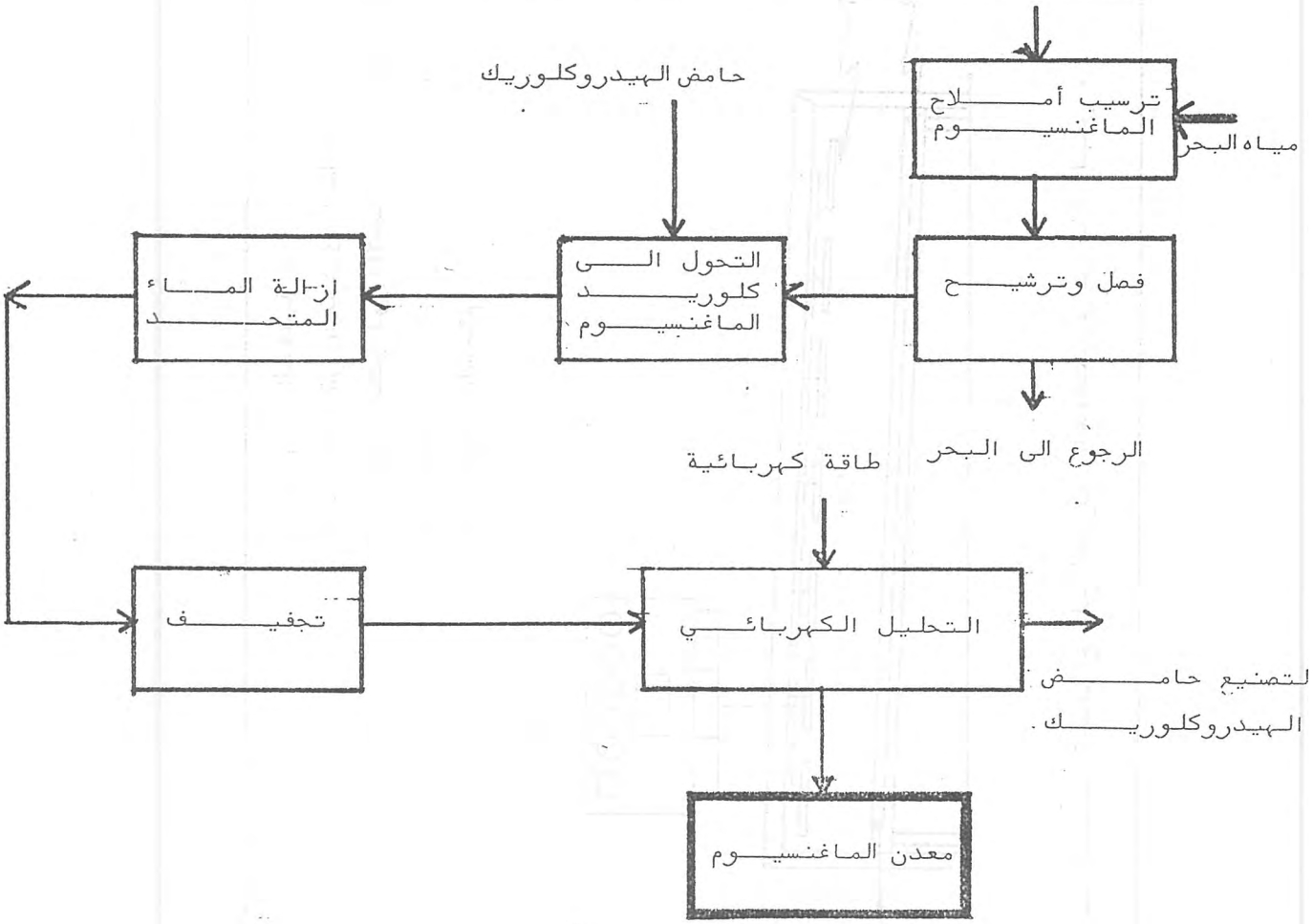
٤ - عبدالعال حسين ك . " تصاميم مبدئية لمبخرات الطاقة الشمسية متعددة الأغراض " المؤتمر الدولي للطاقة الشمسية ، القاهرة (١٩٧٨م)

٥ - عبدالعال حسين ك . الاقتصاديات المتوقعة لانتاج معدن الماغنسيوم واستخدامه في انتاج هيدرات الماغنسيوم " المجلة الدولية للطاقة الهيدروجينية ، المجلد رقم ٧ ، العدد رقم ٥ ، ص ٤٣٥ - ٤٢٩ (١٩٨٢م)

٦ - عبدالعال حسين ك . " فصل ملح كلوريد الماغنسيوم من ملح كلوريد الصوديوم في ماء البحر باستخدام طريقة المذيبات وفرق الكثافة النوعية "
" Separation Science and Techology "
المجلد رقم (٢٤) ، العدد رقم ٧٢٨ ص ٤٨٤ - ٤٧٥ (١٩٨٩م).

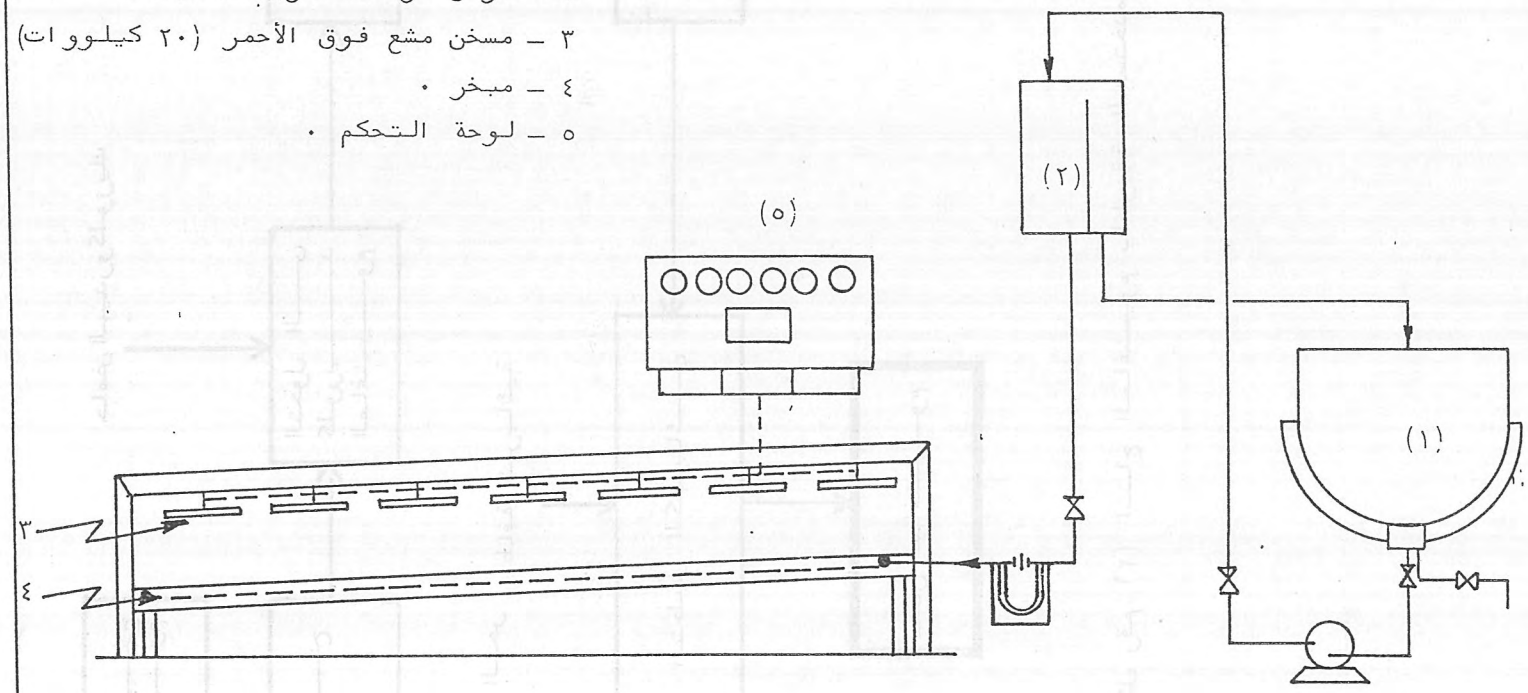


الشكل رقم (١) طرق انتاج معدن الماغنسيوم من الخامات المتوافرة

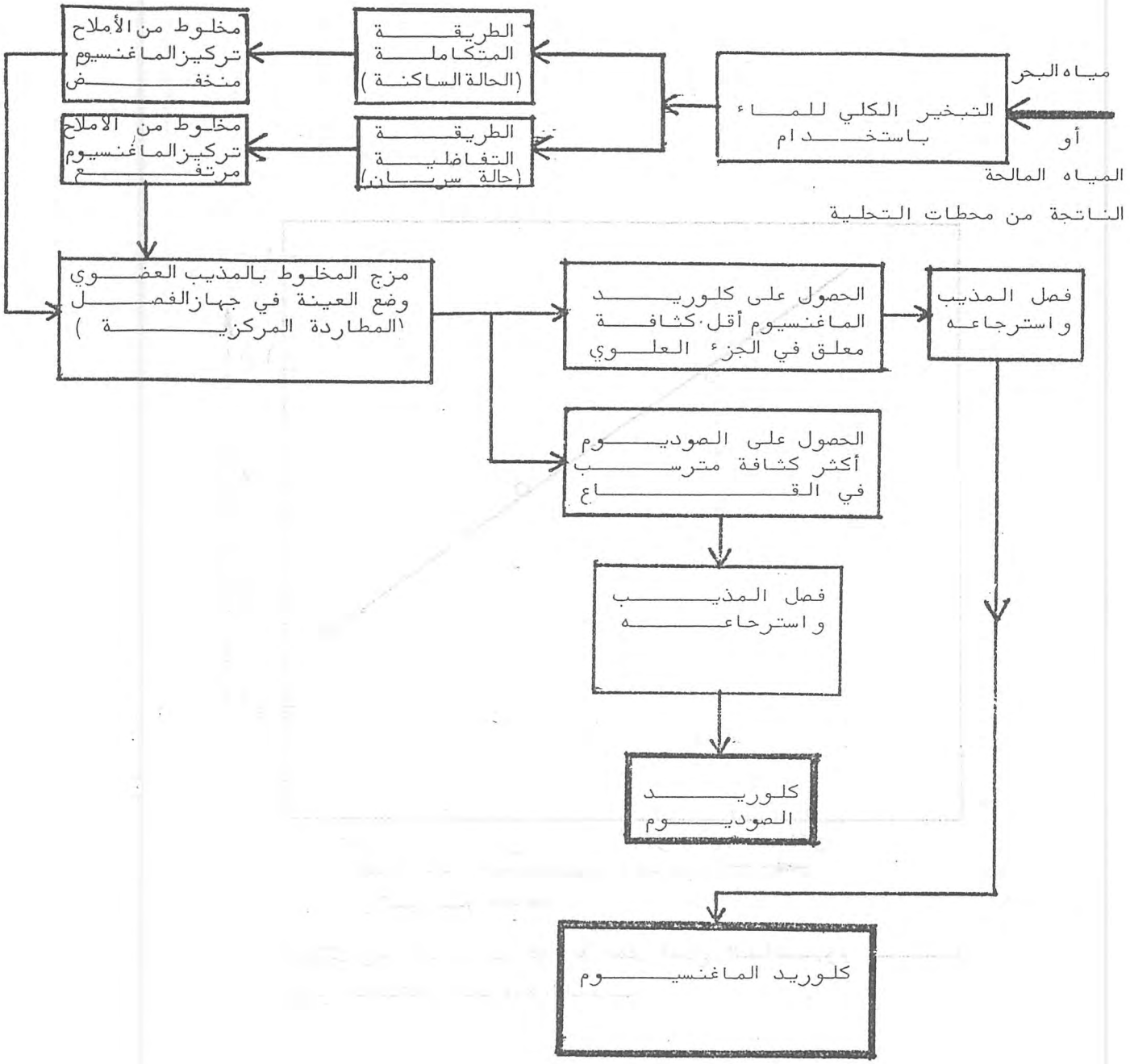


الشكل رقم (٢) انتاج الماغنسيوم بالطريقة المستخدمة حاليا

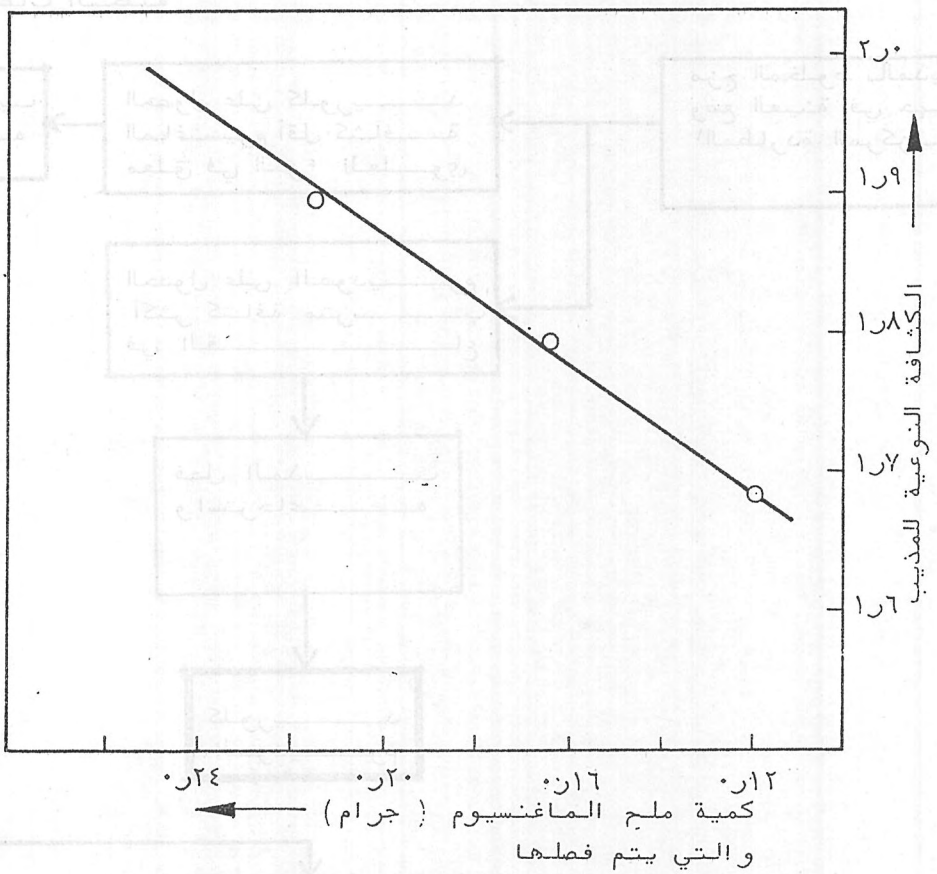
١ ـ خزان التغذية .
٢ ـ خزان ذو المستوى الثابت .
٣ ـ مسخن مشع فوق الأحمر (٢٠ كيلووات)
٤ ـ مبخر .
٥ ـ لوحة التحكم .



الشكل رقم ٣ : رسم توضيحي للمرسب المتميز لاستخراج ملح كلوريد الماغنسيوم من ماء البحر .



الشكل رقم (٤٠) : فصل أملاح الماغنسيوم باستخدام المذيبات العضوية



الشكل رقم (٥) تغير كفاءة فصل أملاح الماغنسيوم مع تغير الكثافة النوعية للمذيب .

جَلسة رقم (٤)

Water Resource Assessment and Management in the Gulf Cooperation Council Countries

Mohamed J. Abdulrazzak

Water Resources Assessment and Management in the Gulf Cooperation Council Countries

Mohamed J. Abdulrazzak
Associate Professor
Department of Hydrology and Water Resources Management
Faculty of Meteorology, Environment and Arid Land Agriculture
King Abdulaziz University, P.O. Box 40937
Jeddah Saudi Arabia 21511 (695-2751)

Abstract

The Gulf Cooperation Council (GCC) countries are, in general, devoid of reliable fresh water supplies such as rivers and lakes, and depend solely on groundwater and desalinated sea water to satisfy their water requirements. Current and forecasted water demand, especially for agricultural purposes, is on the rise and will require construction of additional deslination plants and result in increased mining of the shallow and deep aquifers. Solutions for such an impending water crisis lie in careful assessment and management of the existing water supplies through the formulation and implementation of international water plan. Such as policy will need to address such important aspects as: the improvement of data quality through the improvement and expansion of the data collection network, efficient data management and expedient dissemination of information, coordination of activities, capacity building, state-of-the-art research and development and international cooperation. The GCC countries need to establish both national and regional plans that emphasize water conservation and pollution control. Regional cooperation and coordination is required in order for the GCC countries to effectively assess and manage their shared groundwater resources.

Introduction

1. Water resources are essential for the existence of life, and are a key component of all economic and social systems. A number of goods and services are highly water dependent, ranging in diversity from the irrigation of crops to food preparation and personal hygiene. Industrial production processes as well as the life cycle depend on water resources. Water is a precious and essential commodity and we continue to misuse it and neglect its importance, sometimes, unfortunately, until it is too late.

2. Human activities have lead to the diminish and degradation of water quantity and quality worldwide. Over-use is one of the major problems associated with water resources, especially due to the great volumes of water used for agricultural and domestic purposes. Surface and groundwater resources are polluted with agricultural pesticides, domestic waste products, and industrial toxins. Exploitation of these valuable resources greatly exceeds the

capacity for natural renewal and recharge, leading to both to diminished water quantity and quality.

3. Both long and short term water problems are becoming increasingly prevalent in many parts of the world. Population increases lead to many problems associated with the water supply. Some of these are improved standard of living, expanded agricultural output and increased economic development, all of which require increasingly large quantities of water. It is expected in the near future that 40% of the world's population will face serious water shortages. Water shortages, particularly in arid regions, are expected to become much more prevalent during the next century. Shortages will also begin to appear in less arid areas as well, unless careful assessment and management of water resources takes place.

4. The assessment and management of water resources, particularly in arid regions, must be considered to be an essential priority for future economic development. Such assessment should include identification of sources, extent, dependability, accessibility and quality of water. These water resources must be managed in such as manner as to meet current and future water requirements, taking into consideration the environmental ecosystem. Comprehensive and reliable information and sound scientific procedures must be a prerequisite to accurate water resource assessment and management. Such information will provide a stable basis for properly executing a vast number of water related activities including design and operation of water projects, impact assessment and forecasting, early warning system design for extreme events such as flood and drought, and water resources protection and preservation. Water resource assessment and management could be carried out both locally and for specific regions where problems are immediate, such as in the Arabian peninsula where water is of critical importance to the development and well-being of society.

5. This paper will present an overview of water resources and demand for the current and future situations in the countries which occupy most of the Arabian Peninsula, known as the Gulf Cooperation Council. In addition, water resource assessment and management problems, on the local and regional scale, are discussed and appropriate measures to promote efficient water policy among these countries are suggested.

Background

6. The Gulf Cooperation Council (GCC) is made up of a number of countries which occupy a major portion of the Arabian Peninsula, as shown in Figure (1). These countries are Saudi Arabia, Kuwait, Bahrain, Qatar, the United Arab Emirates, and Oman. Because of their geographical location, these countries share common socio-economic characteristics. In addition, climatic conditions are similar in all the GCC countries, including severe hot weather and arid conditions, sparse natural vegetation and fragile soil conditions, and can be considered largely desert areas, with the exception of the coastal strips and mountain ranges. Hydrometeorological parameters exhibit great variation: temperatures may range from -5 to 46°C in the north, central and eastern parts of the peninsula. The coastal areas and the Asir and Omani highlands have lower temperatures ranging from 5 - 35°C. Humidity is generally low in the interior ranging from 10-30%, while in the coastal areas it

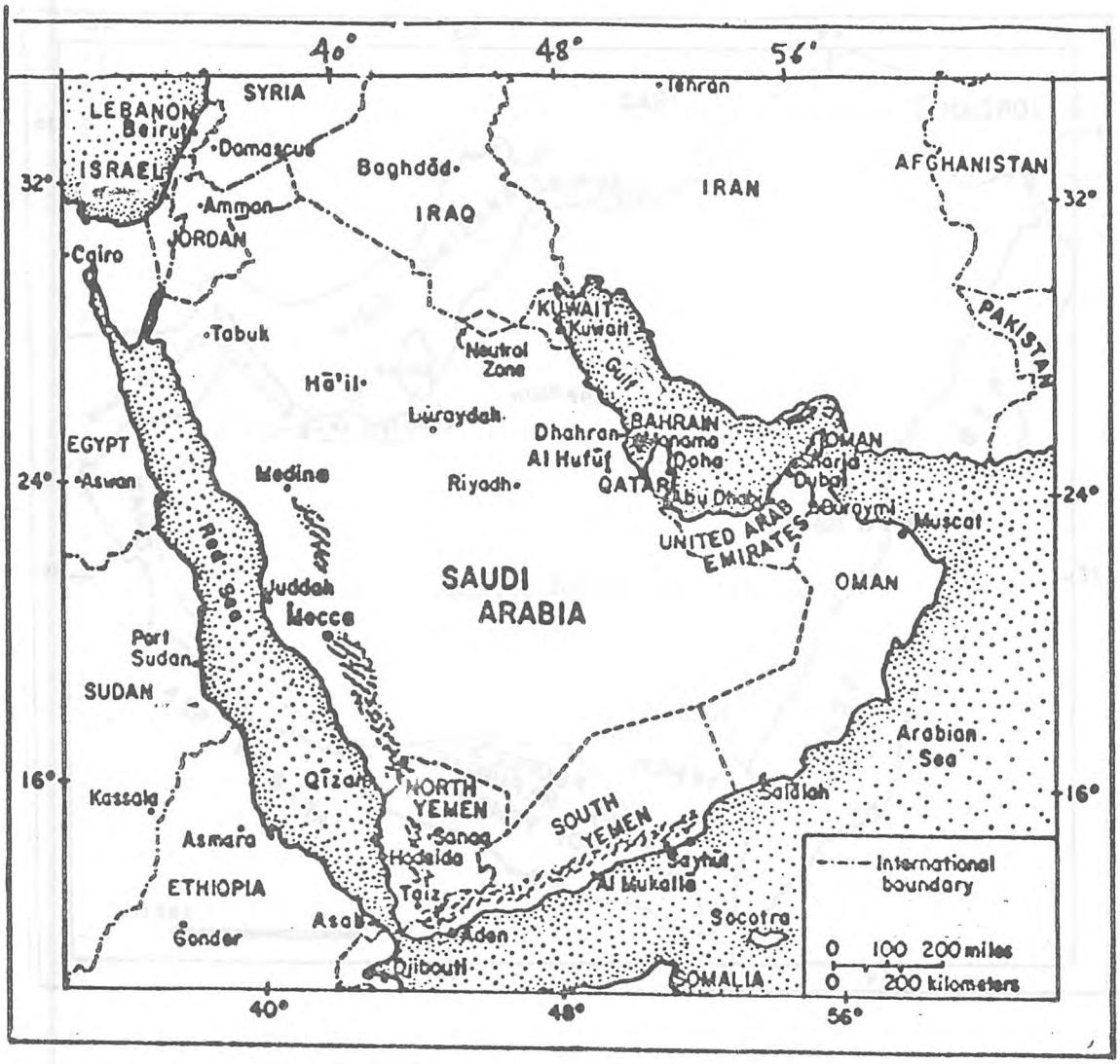


Figure (1) Geographical location of the Gulf Cooperation Council (GCC) countries.

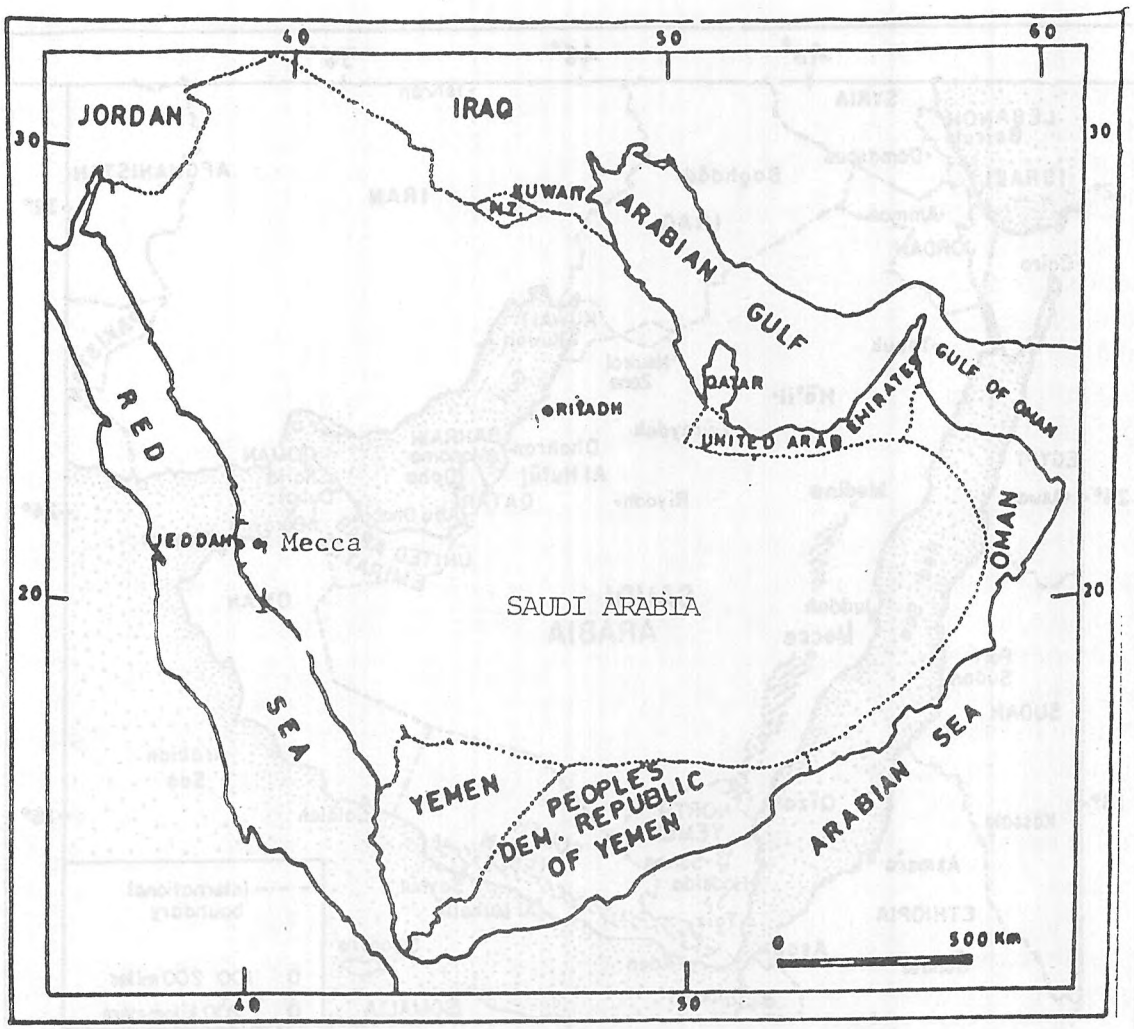


Figure (1) Geographical location of the Gulf Cooperation Council (GCC) countries.

may range between 60 and 95%. The low percentage of cloudy days and high incidence of radiation over the region result in high evaporation rates. Potential open water evaporation is high, especially in the interior areas of the Arabian peninsula. The total annual evaporation ranges from 2500mm in the coastal areas to more than 4500mm inland.

7. The GCC countries are generally characterized by low rainfall and are devoid of rivers. The average annual rainfall ranges from 70 to 130mm, except in the Asir and Omani mountain ranges located in Saudi Arabia and Oman, respectively, where rainfall may reach 500mm. Average rainfall values have little meaning, however, since many areas receive no rainfall for months or even years, due to extremely random storm patterns. Rainfall throughout the area is generally governed by regional Mediterranean and Indian sub-continental air circulation patterns. Cyclonic lifting associated with the eastward passage of depressions from the Mediterranean region causes winter rainfall in the months of November and April over the northern part of Saudi Arabia and the rest of the Gulf countries. Spring rainfall sometimes occurs over the central and southwestern parts of Saudi Arabia and Oman. The Indian sub-continent monsoons influence the weather over most of the peninsula, resulting in summer rainfall which occurs mostly over the southern parts of Saudi Arabia, Oman, the United Arab Emirates and Qatar. All of these circulation patterns are modified by local factors, particularly topography and distance from the sea. In general, rainfall amount sharply decreases with distance from the sea and in a northern direction. In addition, orographic rainfall plays a major role in the temporal and spacial distribution of moisture in the highlands of the Asir mountains in southwestern Saudi Arabia, the southern part of the United Arab Emirates, and in the northern and southern regions of Oman. The steep relief of the mountain ranges in these regions causes orographic rainfall to occur in much greater amounts than in the lowlands, and frequently causes flash flooding, particularly in the summer months. Most rainfall events in these areas are of high intensity and short duration, producing large volumes of surface runoff that usually recharge the alluvial aquifers in wadi channels, and is diverted for irrigation of flood plains.

8. Availability of surface water in the region is governed by the rainfall patterns and the orographic features of the Arabian peninsula. Availability of surface water is limited for the region as a whole with the exception of the southwestern part of Saudi Arabia, the southern parts of the United Arab Emirates and the northern and southern areas of Oman. The mountain ranges of the southeastern and southwestern perimeters of the peninsula have a number of steep drainage basins that empty toward the sea. In general, drainage basins along the Red Sea are characterized by narrow flood plains in comparison to those on the east which drain into the Gulf. Runoff in these coastal basins runs down steep ravines and gullies until it reaches the coastal plain; in some cases runoff may reach the sea. The most striking feature of the coastal drainage systems is that they have similar reliefs and are located 100 to 150 kilometers from the coastal belt. The remainder of the Arabian Peninsula, encompassing the north, central and eastern parts, are characterized by low relief and poor drainage. The central, northeastern and western parts of the Arabian peninsula are characterized by large catchments with poorly defined drainage patterns and relatively flat terrain. Runoff in the inland watershed basins seldom reaches the sea due to poor drainage patterns and extensive alluvial formations. Excess runoff usually ends up as wide shallow lakes which soon evaporate. A number of large drainage basins are shared between

the gulf countries and their neighbors, including those of Hamadah and Serhan, between Saudi Arabia, Jordan and Iraq; Al Batin between Saudi Arabia, Kuwait and Iraq; Najran, Liyah, and Khulab between Saudi Arabia and Yemen; and Burami-Al-Ayn between Oman, the United Arab Emirates and Saudi Arabia.

Water Resources

9. Due to infrequent and insufficient amounts of rainfall, the surface runoff generated is usually small over most of the Arabian peninsula. In the northern and central parts of Saudi Arabia, most of Kuwait, Bahrain, Qatar and the northern part of the United Arab Emirates runoff is generally unavailable. Ephemeral flow occurs only in response to localized storms, which constitute the main source of groundwater recharge to the shallow alluvial aquifers. The rainfall-runoff coefficient for most areas is very small, ranging from 2-15% for most parts of the peninsula due to the nature of the soil, cover and drainage. The only areas receiving enough rainfall to generate reasonable amounts of runoff are the southwestern parts of Saudi Arabia, the southern part of the United Arab Emirates, and the northern and southern parts of Oman. These areas are characterized by hard rock, steep reliefs and sparce vegetation. The annual runoff volume usually generated in the Red Sea coastal belt of Saudi Arabia is estimated to be 1450 million cubic meters in comparison to a national total of 2230 million cubic meters [1]. Amounts of surface water available in Oman and the United Arab Emirates was estimated at 918 and 150 million cubic meters respectively [2]. The remainder of the GCC countries have only negligible amounts of surface runoff. In general, utilization of surface runoff is directed towards flood irrigation and recharge of the alluvial aquifer. Approximately 185 dams of various sizes have been constructed in Saudi Arabia for the purposes of flood protection and groundwater recharge, with a combined storage capacity of 475 million cubic meters. A few dams have been or are being constructed in the United Arab Emirates and Oman. The estimated water resources of the GCC countries are shown in Table (1) [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

10. Another source of water for the GCC countries is the shallow alluvial aquifer system. Alluvial deposits along the main wadi channels and flood plain in drainage basins make up the shallow groundwater system. Groundwater in the shallow aquifers is the only renewable water source for these countries. Potential for development of these shallow alluvial aquifers exists mainly in the southwestern part of Saudi Arabia, southern part of the United Arab Emirates, and Oman, where the formations are recharged with relatively frequent surface runoff. Aquifers in the eastern part of the peninsula, particularly in the United Arab Emirates and Oman, are generally thicker and wider than in the west. In addition, alluvial thickness in the inland basins is greater than those of the coastal basins. The widths of the aquifers decrease in a southerly direction for basins on both the western and eastern coasts. Alluvial aquifer thicknesses generally range from 20 - 200 meters, with the exception of those in the coastal areas of Oman where thicknesses may reach 400 meters. The width of these alluvial aquifers may range from a few hundred meters to several kilometers. The coastal alluvial aquifers are subject to saltwater intrusion, especially for coastal areas of the Gulf due to extensive groundwater mining. Groundwater storage capacity and water quality in these aquifers varies greatly. Aquifers generally have high potential for development because of their good hydrological characteristics resulting from infiltration through the

Table (1) Water Resources of the GCC Countries [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]

Country	Area (km^2)	Population 10^6 (1990)	Annual rainfall (mm)	Annual evapor. (mm)	Surface water (MCM)	Ground water reserve (MCM)	Ground water Recharge (MCM)	Desalination (MCM)	Treated water (MCM)
Saudi Arabia	2,149,690	11.78	75	3500-4500	2230	1,948,000	3,860	795	217
Kuwait	17,818	1.7	135	1900-2500	-	160	-	355	80
Bahrain	652	0.41	70	1650-2050	0.20	90	-	75	26.2
Qatar	11,610	0.33	97	2000-2500	-	2230	55	61	22
United Arab Emirates	77,700	1.65	89	1980-4050	150	5000	134	276	8
Oman	300,000	1.5	71	1900-3000	918	650	450	16.5	9
Total	2,557,470	17.38	-	-	-	1,956,130	4,499	15578.5	282

coarse alluvial material. Water quality is generally good with total dissolved solids ranging from 300-2000 ppm. The major storage capacity of the aquifers in Saudi Arabia is estimated at 54,000 million cubic meters, with a potential recharge amount of 1196 million cubic meters [9]. Groundwater storage in the GCC countries is small in comparison to that of Saudi Arabia. In general, within all of the GCC countries, groundwater from the shallow alluvials is being used mainly for domestic and irrigation purposes.

11. The other main source of water for the GCC countries is non-renewable fossil groundwater stored in the sedimentary deep aquifers. These sedimentary formations known as the **Arabian Shelf** consist of sandstone, limestone and dolomite and overlay the basement rock formation known as the **Arabian Shield.** The Arabian Shelf formations cover two-thirds of the Arabian peninsula and store vast amounts of groundwater that is thousands of years old. The sedimentary formations which overlay the crystalline basement rock of the escarpment in western Saudi Arabia slope gently, with increasing thickness, towards the east under the Gulf, northeast, and south as far as Jebal Al-Akhdar. The formations outcrops are found in the central part of Saudi Arabia in the form of a belt that extends from Jordan to Rub Al-Khali, Qatar, the United Arab Emirates and further southward into Oman.

12. Several studies [9,10,11] have revealed the presence of a large number of layered aquifers of various thicknesses, areal extent, hydraulic characteristics and water quality in Saudi Arabia. Most of the aquifers are either sandstone or carbonate-type sedimentary formations. The total thickness of these formations may reach more than 5500m [1,12]. The aerial extent of the sub-surface sandstone aquifers begin at the outcrops located on the eastern edge of the Asir escarpment in the western part of Saudi Arabia and extend eastward under the Gulf and northwards into the neighboring countries. Sandstone aquifers are dominant in the central and northern parts of the peninsula, whereas carbonate aquifers become more prominent in the eastern part of the peninsula. Groundwater movement generally follows the formation dip and often is confined between aquiclude formations, especially near the gulf. There is a tendency for water to move from the older deep sandstone aquifers into the younger carbonate aquifers in the eastern region of Saudi Arabia, Kuwait, Bahrain and the United Arab Emirates whenever there are gaps in the intervening aquiclude; springs can be found in these areas such as in Al-Hassa and Bahrain, and in the floor of the gulf. Water quality in the sandstone aquifers can generally be rated good to fair, especially in the northern and central regions of Saudi Arabia. The quality of Carbonate aquifers may be rated fair to poor. However, as water moves to the east towards the gulf, salinity increases due to residual contact time, distance from the recharge outcrop and solubility of saline rocks [9,11]. In the eastern part of the peninsula the water is generally of poor quality, with average salinity ranging from 3000 to 12,000 mg/l. Isotope dating indicates that water in the sedimentary aquifers of the Arabian Shelf is 15-35 thousand years old [9,10,11].

13. Several geological and hydrological studies have been carried out by the government of Saudi Arabia [1,9,10] to estimate reserves and potential of the sedimentary formations. These studies indicated the presence of more than 20 formation classified as either major or secondary aquifers. Classification of the aquifers was based on areal extent, groundwater volume and quality, and development potential. The main aquifers identified in Saudi

Arabia are: Saq, Tabuk, Wajid, Minjur-Biyadh, Wasia-Druma, Dammam, Um Er-Radhuma and Neogine. The latter two are carbonate aquifers while the remainder are mainly sandstone. Secondary aquifers are the, Aruma, Jauf, Khuff, Jilh, and Sakaka, the upper Jurassic, the lower cretaceous, Buwaib, the Aburwatban and Basalt. These aquifers cover two-thirds of Saudi Arabia and extend into the other gulf countries of Kuwait, Bahrain, Qatar, the United Arab Emirates and Oman, as well as the neighboring countries of Jordan, Syria, Iraq and Yemen. A typical cross-section of some of the aquifer sequences in Saudi Arabia is shown in Figure (2). The groundwater reserves of these aquifers under Saudi Arabia is shown in Table (2).

14. The vast amount of groundwater reserves stored in the main aquifers, especially those of good quality, constitute the only dependable sources of water for Saudi Arabia, and to some limited extend, the other countries of Bahrain, Kuwait, Qatar and the United Arab Emirates. The groundwater reserves for these aquifers, located throughout Saudi Arabia, are estimated at 1894 billion cubic meters. The reserve represents the groundwater volume by lowering the water level or piezometric surface to a level of 300 meters below the surface, the maximum depth currently possible in modern pumping technology.

15. Although groundwater of the deep aquifers is ample in quantity, the quality varies from place to place, and is suitable for domestic consumption in only a few areas. Good quality water is stored in the Saq, Tabuk, Wajid and Neogine aquifer. Brackish water of some of the main deep aquifers such as the Minjur, Wasia, Biyadh, Dammam and Um er Radhuma, usually requires treatment for hardness and high temperature. The groundwater temperatures depend on the depth of extraction with values ranging from 40-65°C. The water tends to be saturated with calcium and magnesium, salt, and a high concentration of sulphate and chloride ions. There are relatively large quantities of hydrogen sulphide and carbon dioxide gases [13]. The brackish water from some of the deep aquifers is used without treatment for agricultural purposes. Use of brackish water for domestic purposes in some locations such as the central and eastern part of Saudi Arabia and the remainder of the GCC countries requires prior treatment including: cooling, aeration to remove hydrogen sulphide and carbon dioxide gasses and lime soda processing.

16. In Saudi Arabia, The Saq and Tabuk sandstone formations are known to be the best aquifers in terms of water quality and development potential. They extend over the central (Qasim) and northern (Tabuk) parts of Saudi Arabia and the southern parts of Jordan and Syria. The outcrop for these aquifers forms a belt which extends over 1200 square kilometers, however only limited recharge takes place directly from rainfall or through ephemeral flow. The Saq aquifer rests over the crystalline basement rocks, and the Tabuk and Khuff aquifers overlay it in the north and south, respectively. The thickness of the Saq aquifer increases in a northerly direction, consistent with the formation dips. The average thickness ranges from 400 to 950 meters [10,11] and its depths may reach 2000 meters below the surface at some locations, especially near Qasim. The Saq aquifer is known as the Qa Dise formation in southern Jordan and Syria [14]. The Tabuk sandstone aquifer has an aerial extent similar to that of the Saq aquifer, and extends into Jordan. The formation is overlain by the Jauf and Khaff aquifers. The Tabuk aquifer consists of three units of known

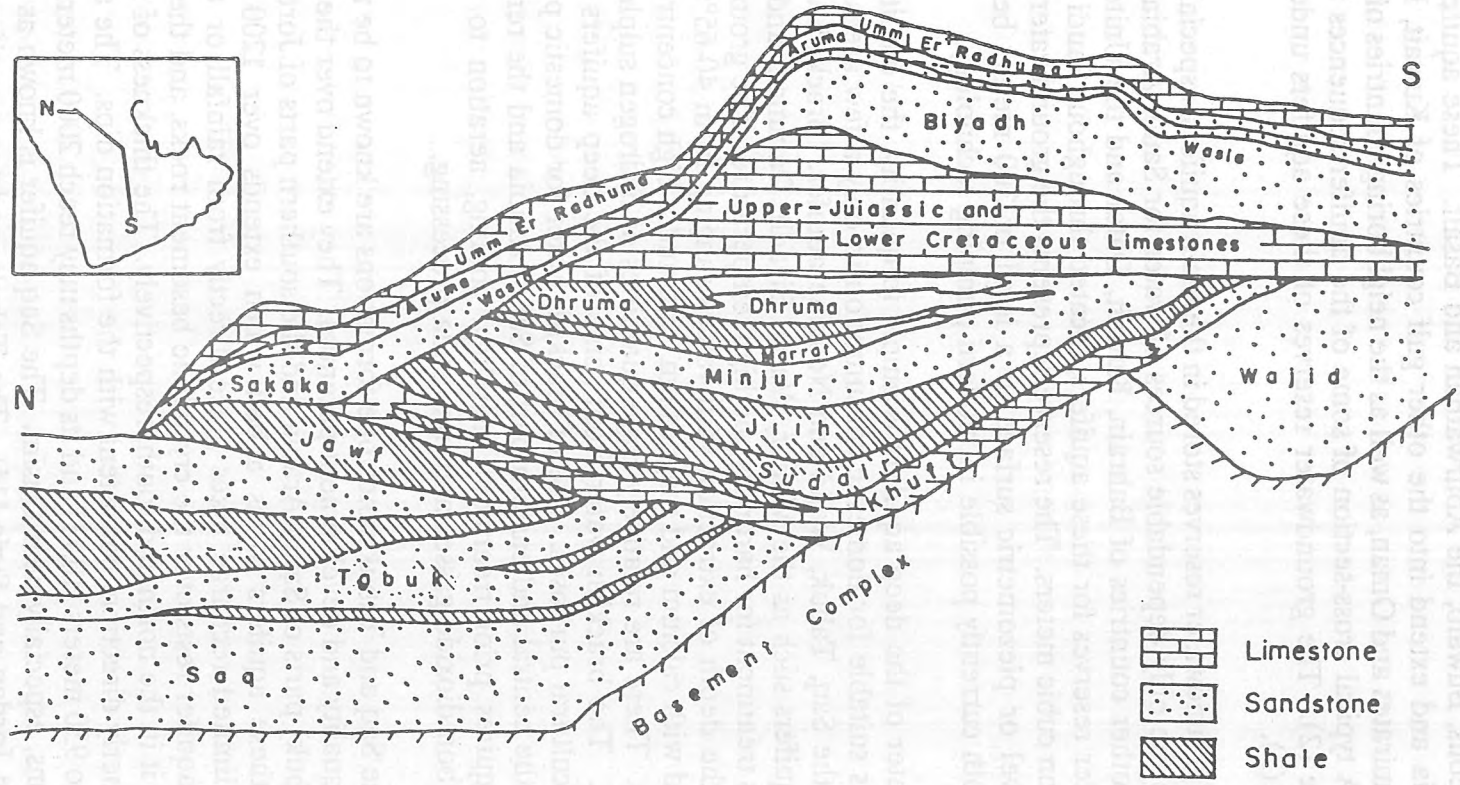


Figure (2) Stratigraphic section of groundwater aquifers (Saudi Arabia)

Table (2): Summary of groundwater reserve to a depth of 300m below surface in million cubic meters [1,9,10,16].

Aquifer	Reserve (MCM)	Recharge (MCM)	Water quality mg/l
Saq	277,000	310	300-3000
Tabuk	205,000	455	250-2500
Wajid	180,000	104	500-1200
Minjur-Dhruma	177,000	80	1100-20,000
Wasia-Biyadh	490,000	480	900-10,000
Umm er Radhuma	131,000	406	2500-5000
Dammam	25,000	200	2600-6000
Khuff & Tuwail	30,000	132	3800-6000
Aruma	71,000	80	1600-2000
Jauf & Sakaka	100,000	95	400-5000
Jilh	113,000	60	3800-5000
Neogene	120,000	290	3700-4000

* Saudi Arabia only

as the lower, middle and lower Tabuk, with alternating aquicludes. The aquifer thickness varies from 300 meters near Qasim to more than 1100 meters near Tabuk [8].

17. The Saq and Tabuk formations consist of mainly confined aquifers over most of their sub-surface extent. The estimated groundwater storage capacity if the groundwater level is lowered to 300 meters below the ground surface is shown in Table (2). The two formations represent one of the major sources of water for domestic and agricultural development in the northern and central parts of Saudi Arabia and southern Jordan. In Jordan the Saq aquifer supports large scale agricultural development and water demand for the city of Aqaba.

18. The presence of large quantities of good quality groundwater in the Saq and Tabuk aquifers has prompted major interest by decision makers in Saudi Arabia and Jordan in developing long term plans to meed urban water demand. In a study by [16] it was proposed that the aquifers reserve be used as a main urban water source for major cities in the Kingdom. In Jordan, a detailed study of the Saq aquifer is under way to evaluate its potential, and develop a plan to convey water to northern areas to meet rising demand.

19. The major deep aquifers in central and northern part of the Arabian peninsula are the: Minjur-Dhruma and Wasia-Biyadh formations. The Minjur aquifer is underlain by the Murat and Jilh formations and overlain by the Dhruma formation [10]. The maximum thickness is 400 meters encountered at the city of Riyadh. North and south of the city, however, the aquifer thins and branches out. The average thickness of the Minjur aquifer ranges from 185 to 400 meters. It merges with the Dhruma formation to form a single aquifer south of 23°N. The thickness of the Dhruma aquifer ranges from 185 - 375 meters. Southward it thins out uniformly to about 200 meters at 22°32'N and disappears entirely at 19°30'N [12].

20. The other major aquifers are the Wasia-Biyadh formations. Both these aquifer cover the northern, central and eastern parts of Saudi Arabia and extend into Jordan, Iraq, Kuwait, Qatar, the United Arab Emirates and south Yemen. In Jordan and Iraq, the aquifers are known as Kurnab and Ratbah, respectively [14]. The Wasia-Biyadh aquifers converge to form a single aquifer in the eastern part of Saudi Arabia. Near wadi Dawasir in the south, both formations, in addition to the Aruma formation, form a thick aquifer known as the cretaceous aquifer [9,10]. The Wasia and Biyadh aquifers rest on the Buwaib formation and are overlain by the Aruma formation. The Wasia formation extends from wadi Dawasir in the south to the city of Sakaka in the northern part of Saudi Arabia. The thickness ranges from 100 - 600 meters and increases irregularly from south to north and dips towards the east and southeast [10,12]. In the northern area around Sakaka it is about 200 meters thick. The thickness of the Biyadh aquifer ranges from 360 - 650 meters; a typical section is about 425 meters thick, as is evident just south of the city of Riyadh. The formation thins out in a northwesterly direction towards the outcrop. To the south it extends under the Rub Al Khali.

21. The only major aquifer in the southern region of the Arabian Peninsula is the Wajid formation. The Wajid is similar to the Saq formation and is exposed only in the

southwestern part of Saudi Arabia near wadi Dawasir. It extends under the Rub Al-Khali and the southern part of Oman. The formation rests over the crystalline basement rock. It slopes gently eastward from the Asir escarpment. The thickness varies from 200 to 900 meters [11] and the water quality is good.

22. The Um er Radhuma and Dammam carbonate formations are important aquifers in the eastern parts of the Arabian Peninsula. Both aquifers have large aerial coverage that extends from the border of Jordan and Iraq in the north and northeast, to the Rub Al-Khali in the southeast, under the Gulf in the east and into southern Oman. The Um er Radhuma aquifer extends under the countries of Saudi Arabia, Jordan, Syria, Bahrain, Qatar, the United Arab Emirates, Oman and South Yemen. It is known as the Beilga and Pleistocene formation in Jordan and Syria, respectively [14]. The Um er Radhuma formation rests on the top of the Aruma formation and is overlain by the Rus and Dammam formations and quaternary deposits. It shows many karstic features, especially in northern Saudi Arabia, Kuwait and Iraq [9,11]. The thickness of the formation in the northern part of Saudi Arabia near wadi Al-Batin is 243 meters, 300 near Dammam and increases in an easterly and southerly direction [11]. Its thickness in Bahrain ranges from 100-300 meters [14], while in Qatar the range is 300-500 meters. On the average, its subsurface thickness ranges from 300 to 700 meters. The quality is generally poor and deteriorates considerably along the coastal area. The upper part of the formation yields the most potable water. Large volumes of water from the Um er Radhuma aquifer leak upward into the Al Hassa spring as well as into the Dammam formation. Vertical leakage connections also exist between the Um er Radhuma and Wasia-Biyadh aquifers in some localities in the eastern part of Saudi Arabia, Bahrain, Qatar and the United Arab Emirates. The aquifer is exploited in the eastern part of Saudi Arabia for commercial, agricultural and oil production purposes.

23. The Dammam carbonate aquifer has a similar areal extent as the Um er Radhuma aquifer. It covers most of the northern, eastern and southern parts of the Arabian peninsula. The aquifer extends from Saudi Arabia under the countries of Bahrain, Kuwait, Qatar and the United Arab Emirates. The formation consists of five units with only two having development potential; the Alat and Khobar limestone formations. The aquifer rests on the Rus formation and is overlain by the Neogene formation and Quaternary deposits. The upper two units (Alat and Khobar) have limited thicknesses ranging from 10 to 25 meters, in the eastern part of Saudi Arabia. However, in Bahrain and Kuwait the thicknesses range from 15 - 60 meters and 180 - 300 meters, respectively. The Dammam aquifer discharges to the springs in the Qatif area, to the submarine springs of the Gulf and leaks upwards into the Neogene aquifer. The aquifer is also being extensively mined in Bahrain, Kuwait and Qatar.

24. The Neogene aquifer forms the uppermost formation. The aquifer overlays the Dammam formation. The aquifer extends over the Jordanian border in the north, to wadi Dawasir in the south, and eastward under the Gulf. The aquifer thickness ranges from 20 to 300 meters [9], and is unconfined over most of its areal extent. The aquifer is an important local source of water in the eastern part of Saudi Arabia as well as for some of the Arabian Gulf countries. The springs in Al-Hassa and the wells in Qatif tap the Neogene and Dammam aquifers.

25. The other regional groundwater system of the Arabian peninsula is the series of secondary aquifers including Jauf, Khuff, Jilh, lower cretaceous and upper Jurassic, Sakaka and Aruma. These secondary aquifers represent important local water sources for the northern, central and eastern part of Saudi Arabia. Their extension into the other Gulf countries is not known due to limited information. Water quality and yield range from excellent to poor. They differ from the major aquifers in relation to their aerial extent, hydraulic characteristics, storage capacity and potential for development. The volume and quality of water found in secondary aquifers is thought to be much less than that of the major aquifers due to limited information. The Jauf sandstone aquifer mainly covers the northern part of Saudi Arabia. It extends from southern Jordan to just north of Qasim near Hail. The formation rests on the top of the Tabuk aquifer and is overlain by the Sakaka and Aruma formations. The thickness ranges from 430 meters between Sakaka and Arar, to 750 meters north of Qasim in the central part of Saudi Arabia [10,11]. The formation yield is an important local source for the northern part of Saudi Arabia, especially for the towns of Jauf and Arar.

26. The Khuff aquifer has a wide spread and large subsurface extent which reaches from the southern Rub Al-Khali northwards into Iraq and eastward over the eastern part of Saudi Arabia. The formation is overlain by the Sudair formation and is underlain by the Saq and Wajid formations. The aquifer averages about 25 meters in thickness but becomes thicker in a northerly direction where it may reach about 600 meters [11]. The Khuff aquifer is considered to have low yield due to its low storativity, and highly mineralized water [11]. It serves as a local water source in the northern part or in locations where it comes in contact with the Wajid aquifer, such as in the Qasim ares of Saudi Arabia.

27. The Jilh sandstone-carbonate formation is similar to the Khuff aquifer in areal extent. It extends into the northern and eastern sections of Saudi Arabia. The aquifer is underlain by Sudair shale and overlain by the Minjur formation. Aquifer thickness ranges from 240 meters in the north to 400 meters in the south. Yields are of reasonable quantity in the deep wells near the outcrop, west of Riyadh as well as in Qasim, but quality is generally poor [10].

28. The lower Cretaceous and upper Jurassic aquifers have subsurface aerial extent that are nearly identical to that of the Khuff aquifer, which extends into the central part of Saudi Arabia. The upper Jurassic aquifer is made up of Tuwayq limestone, the Hanifah formation, Jubaili limestone and the Arab formation. The lower cretaceous aquifers consists of the Sulay formation and Yamama and Buwaib limestone [9,11]. Excellent yield was produced from the limestone aquifers near Riyadh, Kharj, the Sulaiyal plain and Aflaj in the central part of Saudi Arabia.

29. The Sakaka aquifer represents the northern extent of the Wasia aquifer. This sandstone aquifer covers portions of the northern part of Saudi Arabia and southern parts of Jordan. This aquifer underlies the Aruma formation and overlies the Jauf formation. The maximum thickness is 285 meters, observed near the town of Sakaka [9,10], and it thins in a northeasterly direction. The Sakaka formation provides the town of Sakaka and surrounding areas with good quality water.

30. The Aruma limestone aquifer extends from the Jordanian and Iraqi border southward to Rub Al-Khali and covers the eastern region of the Arabian peninsula. The formation underlies the Wasia formation and is overlain by the Um er Radhuma formation. The aquifer thickness ranges from 50 meters under the Rub Al-Khali to 145 meters near Sakaka. The yield is generally low and is tapped in Arar and Hafar Al-Batin in the northern part of Saudi Arabia. The major groundwater aquifer systems have extensive reserves that are being utilized by many countries in the region. The water is generally of poor quality and is used mainly for agricultural purposes.

31. It is speculated that a large number of aquifers extend into all the GCC countries as well as Jordan, Syria and Iraq. Lack of information, however, on geological and hydrological characteristics make it hard to determine any distinctive features of these aquifers in terms of areal extent, reserve capacity and development potential.

Water Demand in the GCC Countries

32. During the last decade, extensive development, rapid population growth and substantial improvement in the standard of living in the GCC countries have all led to an imbalance between increasing water demand and limited water resources. All countries in this region have experienced a 10 - 20% increase in water demand in the last 15 years for domestic and industrial uses, and a substantial amount is devoted to agriculture, particularly in Saudi Arabia. Population growth rates were in the neighborhood of (2.2-3.6%) between 1975 and 1990 [17]. Historically, shallow groundwater aquifers were tapped to satisfy domestic and industrial demand. Agricultural requirements were met through abstraction of water from shallow alluvial aquifers located in the coastal strips and inland basins, and mainly from the deep aquifers covering most of the Arabian peninsula. In Saudi Arabia, rapid expansion of agricultural activites, encouraged by the government during the last 15 years, has resulted in extensive mining of the deep aquifers. Likewise, agricultural water demand has sharply increased in the countries of Bahrain, Oman and the United Arab Emirates. This agricultural development is a direct result of government policies encouraging self-sufficiency in food production. Government incentives and subsidies have made it possible for large areas to be cultivated, placing great strain on the existing groundwater resources.

33. The combined water demand in 1990 for the various gulf countries was estimated at 18.5 billion cubic meters [18]. Consumption, by sector, was broken down as follows: Agriculture (86%), followed by municipal (12%) and industrial (2%). In 1988 the agricultural sectors consumed an estimated 15.88 billion cubic meters, with Saudi Arabia using the largest share. This amount increased to 16.89 billion cubic meters in 1990. Agricultural development in the gulf region, however, is comparable to other developing countries: it is estimated that, on a global scale, 90% of all water consumption is devoted to agriculture. The estimated agricultural water demand is expected to reach 22.74 billion cubic meters in the year 2000.

34. To satisfy the demand for water, many of the gulf countries relied heavily on desalination, groundwater from both deep and shallow aquifers and, to some extent, treated

effluent. Municipal and industrial water requirements for the major cities, especially those located in the coastal areas, were met mainly through desalinated water mixed with small portions of groundwater.

35. The combined capacities of all desalinization plants in the gulf countries in 1989 was estimated at 1,852 billion cubic meters. Water consumption from desalinization was estimated at 1,705 billion cubic meters [19]. Desalinated water provided 60% of the total urban and industrial water demand in the region in 1990 [18]. The major producers of desalinated water are Saudi Arabia (50%), followed by Kuwait (22%), United Arab Emirates (18%), Bahrain (5%), Qatar (4%) and Oman (1%). On a global scale, the desalination capacity of each of the GCC countries is as follows: Saudi Arabia (27%), Kuwait and the United Arab Emirates (11%), Qatar (4%), and Oman (2%).

36. Domestic demand has rapidly increased over the last decade in the gulf region due to improvement of the standard of living, migration to major cities, and population growth. It is estimated that per capita consumption within the major cities throughout the gulf region ranges from 400-600 liters per day [19]. It is expected that this rate will increase 10-15% in the next decade. The domestic and industrial water demand for the GCC countries was estimated at 2.57 billion cubic meters in 1990 and this figure is expecged to reach 4.42 billion cubic meters in the year 2000. The water demand for all the GCC countries is shown in Table (3).

Saudi Arabia

37. Groundwater of the shallow and deep aquifers represents the only dependable source of water, especially for agricultural purposes. the renewable groundwater storage of the shallow alluvial aquifers is estimated at 84,000 million cubic meters. these aquifers recharge from surface runoff. They are tapped for domestic and agricultural water requirements, mainly in the western and southwestern parts of the Kingdom. The major cities such as Mecca, Median, Jeddah, Taif, Abha, and Riyadh blend desalinated water with water pumped from these aquifers. The large number of towns and villages in the western and central parts of the country rely on reserves in the shallow alluvial aquifers for their water supply. The other important sources of water are the non-renewable groundwater stored in the deep sedimentary formations. These aquifers are the Saq, Tabuk, Wajid, Minjur-Biyadh, Wasia-Druma, Dammam, Um er Radhuma and Sakaka. The Saq and Tabuk aquifers are being extensively mined in the north and central parts of the Kingdom, for meeting domestic and agricultural water requirements.

38. Groundwater abstraction from both aquifers, especially the Saq, began in the 1950s near Qasim, and in the 1970s for other areas of Saudi Arabia for domestic and agricultural water requirements. Abstraction substantially increased in 1980 following the government's decision to subsidize the production of wheat. Three major agricultural companies in Saudi Arabia tap these two aquifers near Qasim, [15] Tabuk and Hail through an extensive network exceeding 16,500 wells. In addition, a large number of private farms and major cities such as Buraidah, Unaizah, Hail and Tabuk, in the central and northern regions of Saudi Arabia, also depend on these aquifers to satisfy their domestic and agricultural water

Table (3) Water Demand in the GCC Countries [14,18]

Country	Population 10^6 in year 2000	per capita water use (L/D)	Ground-water pumpage* 1984 (MCM)	Domestic & Industrial water use (MCM)			Agricultural use (MCM)		
				1980	1990	2000	1980	1990	2000
Saudi Arabia	15.553	300	7500	502	1700	2900	1860	14,600	20,211**
Kuwait	-	472	70	146	296	530	-	80	89***
Bahrian	0.670	670	153	45	118	143	68	137	151***
Qatar	0.425	480	97	50	107	149	65	79	88**
United Arab Emirates	1.922	390	900	117	263	532	-	840	928***
Oman	1.826	130	400	15	85	170	-	1150	1,270***
Total	20.396		9,120	875	2,570	4,424		16,886	22,737

* From shallow and deep aquifers,
** 3% growth
*** 1% growth

requirements. The total number of irrigated acreage was estimated at 404,030 hectares, with an average annual groundwater abstraction amount of 3200 million cubic meters [15].

39. The Minjur aquifer was a major source of potable water for the city of Riyadh until the desalinated water from the Jubail plant on the eastern coast became available in 1986. Major agricultural activities around Riyadh and Al-Kharj is dependent on the Minjur aquifer. The Dhruma aquifer has moderate to good yield and quality, and represents the main source for the Al-Zulfi and Dhruma plains in central Saudi Arabia. The Wasia-Biyadh aquifer was a major source of water for the city of Riyadh up to the time that desalination plants on the Gulf coast became operational. The two aquifers provided for domestic and agricultural requirements for wadi Nisah and Khurais, as well as Kharj and Aflaj areas in the central part of the Kingdom. The Wasia aquifer in the eastern part of the Kingdom was tapped and used in secondary oil recovery. The Wajid aquifer in the southern part was tapped for meeting demand for wadi Adawasir for both domestic and agricultural purposes. The Dammam, Um er Radhuma and Neogene aquifers are the main sources of water for large scale businesses in the Al-Hassa and Qatif areas, as well as the oil industry. In 1985 pumpage from the Dammam aquifer for various purposes was estimated at 450 million cubic meters [23]. It satisfied the domestic demand for the cities of Dammam, Dhahran and Al-Khobar. The Neogene aquifer is a major source of water to large numbers of villages in the eastern province of Saudi Arabia. The secondary aquifers of Jauf and Sakaka are an important local source for the northern parts of Saudi Arabia, especially the towns of Jauf, Arar and Sakaka. The Jilh aquifer yields a reasonable quality water from deep wells near the outcrop for the towns and villages west of Riyadh as well as Qasim. The lower cretaceous and upper Jurassic formations supply water for the towns and villages near Riyadh, Kharj, Sulail and Aflaj in the central part of Saudi Arabia. The Aruma aquifer supplies a small amount of water for the towns of Arar and Hafar al Batin in the north.

40. In 1990, Saudi Arabia satisfied its demand for water in the different sectors through desalination (795 million cubic meters), surface water (900 million cubic meters), renewable groundwater (950 million cubic meters), non renewable deep aquifers (13,475 million cubic meters) and reclaimed waste water (110 million cubic meters) [20,21]. As of 1990, approximately 50% of the domestic demand was satisfied through desalinization from 29 plants located in the coastal regions. Ambitious schemes were implemented to deliver desalinated sea water from the coast to the large inland cities of Riyadh, Mecca, Medina, Taif and Abha to meet growing demands.

41. Water demand for domestic, industrial and agricultural purposes is Saudi Arabia alone was estimated at 2.36, 9.6 [illegible]0.23 billion cubic meters in the years 1980, 1985 and 1990, respectively [20,21], a five fold increase in a period of ten years. To assist in providing sufficient amounts of potable water to its citizens, governments have heavily subsidized water services. It is estimated that the consumer usually pays less than 10% of the actual cost of producing desalinated water. In addition, a great deal of waste results from inefficient delivery systems and leaks, as well as lack of conservation programs. It is expected that urban demand will rely heavily on desalinated water in the future.

42. Municipal and industrial water demand in Saudi Arabia is on the increase as a result of urban expansion, improvement of the standard of living, lack of conservation measures and increases in industrial activities. Demand has increased from 502 million cubic meters in 1980 to 1.70 billion cubic meters in 1990. During this ten year period demand has increased three fold, primarily in the domestic sector.

43. Industrial demand has grown moderately at an annual rate of 2.5% [18] during the last ten years. The primary reason that industrial demand has grown relatively slowly is that this sector must pay actual water costs. In addition, many industries, such as those built in Saudi Arabia, have their own water supply and reuse facilities. Industrial and municipal demand is expected to increase almost two fold, and water demand will reach 4.45 billion cubic meters by the year 2000 [18]. Municipal and industrial water demand alone will reach 2.9 billion cubic meters in the year 2000. It is evident that Saudi Arabia is the major water consumer in the region, due to its relatively large population and extensive territory in comparison to the other gulf states. However, Saudi Arabia also has the largest groundwater reserve in the area, which extends under approximately two thirds of its territory.

44. Agricultural water requirements in Saudi Arabia has increased more than five fold in the ten year period from 1980 to 1990. Agricultural water requirements were estimated at 1.86, 8.6 and 14.6 billion cubic meters in 1980, 1985 and 1990, respectively. Most of the water was supplied from deep aquifers. Groundwater abstraction from the deep aquifers, mainly the Saq, Tabuk, Wajid, Wasia, Minjur and Um er Radhuma, has steadily increased from 1.17 BCM in 1975 to 13.48 in 1990 [22]. During the period 1982 - 1990 the number of private wells increased from 26,000 to 52,500. In the north central parts of Saudi Arabia, where major agricultural companies tap the deep aquifers, the number of wells has increased from 13,859 to over 16,600 between 1988 and 1989 [15]. The extent of cultivated land was 1.36 million hectares in 1990, a little over one third of the total 3.1 million hectares allocated for agricultural development.

45. Agriculture in Saudi Arabia has experienced tremendous success due to government incentives and subsidies. During the period 1980-1985 and 1985-1990 the agricultural sector achieved a growth rate of 8.6% and 13.4%, respectively. Government programs, in combination with the implementation of varied irrigation schemes has lead to self-sufficiency in five agricultural commodities: wheat, poultry, eggs, dairy products and dates. Agricultural export began in 1986, and the export of wheat amounted to 1.67 million tons in 1991. In 1992 a total of 4 million tons of wheat were produced, 1.5 million tons of which were exported to neighboring countries. This dramatic success in agriculture has rapidly depleted the deep groundwater aquifers. However, water production is expected to drop to 14.87 billion cubic meters by the year 2000 as a result of increased conservation efforts and decreased government subsidizing [21]. With a continued growth of 3% annually, agricultural water requirements may exceed 20.2 billion cubic meters in the year 2000.

Kuwait

46. The main aquifer system in the state of Kuwait consists of the shallow alluvial Kuwait and Dammam formations [3]. The groundwater is generally of poor quality with the exception of some localities in the northern part of the country. The average thickness of the aquifers in Kuwait may reach 450 meters. Groundwater from the Kuwait aquifer is usually of reasonable quality and is used for domestic purposes. However, salinity increases in a northeast direction [3]. The Kuwait formation is recharged through leakage from the Dammam aquifer and infrequent surface runoff. The Dammam aquifer, which extends into Kuwait from the eastern part of Saudi Arabia, ranges in thickness from 180 to 300 meters. Aquifer thickness and salinity increases in a northeast direction. Groundwater from these aquifers is blended with desalinated water for domestic purposes and limited farming, as well as for landscaping and industrial purposes.

47. Groundwater production from the Kuwait and Dammam aquifers is concentrated in two well fields, Al Shagya and Al Saliba [3]. During the period 1954 - 1974, groundwater was obtained primarily from the 108 well at Al-Saliba which tapped the Dammam aquifer. Annual pumpage from this well field was estimated at 26 million cubic meters. Groundwater abstraction increased when another 113 wells were completed in the Al Shagya area. Forty three of these wells tapped both the Kuwait and Dammam aquifers, while the remaining wells tapped only the Dammam aquifer. Groundwater abstraction from both well fields increased to 51 million cubic meters in 1980 and reached 70 million cubic meters in 1984.

48. Water demand in Kuwait is satisfied mainly through desalinization, supplemented with a limited amount of groundwater and treated waste water. Desalinated sea water was blended with small amounts of groundwater from the Kuwait and Dammam aquifers to meed domestic and industrial requirements. Water requirements for the relatively modest amount of irrigated farming and urban landscaping, are met mainly through the use of groundwater and treated effluent. Water requirements during the period 1975 - 1984 have increased from 53 to 158 million cubic meters [3]. Water production from the desalinization plants increased from 48.4 million cubic meters in 1975 to 146 million cubic meters in 1984. Domestic and industrial water requirements were estimated at 146 million cubic meters in 1980 and increased to 296 million cubic meters in 1990 [8]. Groundwater abstraction in 1988 reached 80 million cubic meters. Forecasts for domestic and industrial water requirements for the year 2000 were set at 530 million cubic meters [8]. Agricultural water requirements wer estimated at 80 and 89 million cubic meters in the year 1990 and 2000, respectively. Treated effluent, currently estimated at 70% of the current water consumption rate, is used for landscaping.

Bahrain

49. Groundwater aquifers under the islands of Bahrain consist of the Dammam, Neogene, Rus and Um er Radhuma formations [4]. These aquifers, particularly the Dammam formation, are the main sources of water for all purposes within the country. Water of the Dammam aquifer is of better quality than that of the other aquifers. The

thickness of the Dammam aquifer ranges from 15 - 40 meters,mainly in the Alat and Al-Khobar members. The Neogene formation ranges in thickness from 10 - 60 meters, with the annual abstraction being 9 million cubic meters per year in 1984, mainly near the coastal areas. The thicknesses of the Rus and Um er Radhuma aquifers range from 115 - 300 meters. Leakage from Um er Radhuma feeds the overlaying Rus formation. Salinity in all aquifers increases in a southeast direction. Water quality in the Dammam aquifer is generally better in comparison to the Rus and Um er Radhuma aquifers. The Dammam aquifer is exposed to salt water intrusion due to extensive pumpage. Groundwater abstraction in 1984 from these aquifers was estimated at 153 million cubic meters, with most of the water extracted from the Dammam aquifer at an annual rate of 125 million cubic meters [4]. Water quality of the Dammam aquifer is generally better than that of the Rus or Um er Radhuma aquifers.

50. Water demand for the islands of Bahrain is satisfied mainly through groundwater sources supplemented with desalinized water and limited use of treated effluent. Water from the Dammam, Rus and Um er Radhuma aquifers is used to satisfy most of the domestic, industrial and agricultural requirements [4]. Water from the Um er Radhuma aquifer, which has quality ranging from 2500 - 3500 mg/l, is blended with desalinated water for domestic purposes. Desalinated sea water composed 63% of the total domestic water requirement in 1985 [4]. The capacity of the plant was estimated at 75 million cubic meters in 1986. Water from the Um er Radhuma aquifer is generally of poor quality and is used for industrial purposes [4]. The total water requirement in 1984 was 170 million cubic meters, with an estimated 153 million cubic meters obtained from groundwater. Industrial requirements were estimated at 12 million cubic meters, and domestic requirements were 58 million cubic meters, with the remainder being used for agricultural activites. Both domestic and industrial water requirements have increased from 21 million cubic meters in 1970 to 70 million cubic meters in 1984 [4]. As of 1990, that figure increased to 118 million cubic meters, and forecasted at 143 million cubic meters by the year 2000 [18]. Water consumption for agricultural purposes was estimated at 99.5 million cubic meters in 1984, and at 130 million cubic meters in 1988. In the year 2000 agricultural water requirements may reach 151 million cubic meters.

Qatar

51. The groundwater resources of Qatar consist of water stored in the Dammam, Rus and Um er Radhuma formations and the alluvial aquifers [7]. These formations are extensions of the regional aquifers located in Saudi Arabia. The Dammam formation covers 80% of Qatar, while the Um er Radhuma covers most of the country. The Dammam formation has limited thickness ranging from 5-30 meters, and has relatively good quality. It is considered a good source in the coastal areas. The Rus formation has a thickness ranging from 70-110 meters. The Um er Radhuma formation ranges in thickness from 300-500 meters [7]. The Rus formation maintains a hydraulic connection with the underlying Um er Radhuma formation. It is estimated that the groundwater reserve for the Dammam, Rus and Um er Radhuma aquifers is 2.28 billion cubic meters [7].

52. Water demand in Qatar is satisfied through groundwater from the Dammam and Um er Radhuma aquifers and desalinated sea water. Water demand in 1970 was estimated at 41 million cubic meters, with 36 million cubic meters used for agricultural purposes [7]. Groundwater extraction for agricultural purposes increased from 36 million cubic meters in 1970 to 97 million cubic meters in 1984.

53. In 1980, total demand for water increased to 115 million cubic meters with municipal and industrial requirements estimated at 50 million cubic meters [18]. Domestic and industrial water requirements in 1984 were 70 million cubic meters, satisfied mainly from a blend of desalinated water and groundwater. The capacity of the desalination plant in 1984 was estimated at 61 million cubic meters. Domestic and industrial water demand in 1990 was estimated at 107 million cubic meters [18]. Large scale reuse of treated effluent for landscaping and irrigation began in 1983, and the volume of water used was estimated at 22 million cubic meters per year. Agricultural water demand in 1988 was estimated at 75 million cubic meters. The expected demand for domestic, industrial and agricultural purposes in the year 2000 is estimated at 14,988 million cubic meters (Bushnak).

United Arab Emirates

54. Water Resources in the United Arab Emirates consist of surface water, groundwater from shallow and deep aquifers, and desalinization. The main alluvial aquifers are the Dammam, Rus and Um er Radhuma formations which cover the coastal plains in the western part of the country [5]. The country also has mountain ranges in the north and south, with wadis draining towards the sea or inland, where runoff occurs as a result of intensive storm activities. Surface water consists of flood water in the main wadis and groundwater contribution in the form of springs. There are 150 springs, 47 of which are used for irrigation and supply 29.3 million cubic meters [5]. The average annual amount of surface water was estimated at 150 million cubic meters. Groundwater extraction from the shallow and deep aquifers was estimated at 900 million cubic meters in 1984.

55. The demand for water the United Arab Emirates is satisfied with water from shallow and deep aquifers, and desalination. Domestic and industrial water requirements were met through desalination from a plant with a capacity of 232 million cubic meters in 1984. Treated waste water was used for landscaping at an estimated volume of 62 million cubic meters per year. Domestic and industrial requirements were estimated at 117 and 263 million cubic meters for the years 1980 and 1990, respectively [18]. The volume of groundwater used for agricultural purposes was estimated at 900 million cubic meters in 1984. Estimated demand for these sectors by the year 2000 is 523 million cubic meters. Agricultural demand is also expected to increase in the future, amounting to 928 million cubic meters by the year 2000, leading to further mining of the deep and shallow aquifers and increased salt water intrusion in the coastal alluvial aquifers.

Oman

56. The main sources of water in Oman are the shallow alluvial aquifers that are exploited by wells in Aflaj in the north and through the limestone and dolomite formations

of the Fars group, Taqa, Samail, Hawasinah, Mahmah and Saiq in the south [6]. The deep aquifers, namely Aruma, Dammam, Rus, Um er Radhuma and Wasia, which cover the western part of the country, are known to show good potential within Saudi Arabia, however they have not yet been tapped in Oman. The Um er Radhuma formation bears the greatest potential for development as its thickness ranges from 300 to 600 meters, and varies in depth from 400 to 1200 meters below the soil surface. Salinity increases in a northern direction. The Um er Radhuma aquifer in Oman is currently under investigation for development purposes. The volume of surface water available was estimated at 918 million cubic meters [6]. Safe yield shallow groundwater reserves were estimated at 560 million cubic meters and desalinated water supplied 16.5 million cubic meters.

57. The water requirement in Oman during the last ten years has been satisfied from the shallow alluvial aquifer, limestone formations, (Aflaj) and sea water desalination. The alluvial deposits in a large number of wadis have been tapped by more than 30,000 wells [6] for domestic and agricultural purposes. The traditional infiltration gallery systems know as a qanats (Aflaj) number more than 4000, and provided more than 50% of the total water requirement. There are several types of qanats in Oman: surface and deep, usually tapping the springs in the mountains or the saturated alluvial deposits in the wadis. Surface qanats are constructed of open and covered channels which run along the ground surface. Deep Qanats consists of adits which are driven upstream to tap the water table. Water demand for domestic and industrial purposes for 1980 in Oman was estimated at 15 million cubic meters while for 1990 it was estimated at 85 million cubic meters [18]. It is expected to reach 170 million cubic meters in the year 2000. Agricultural water demand was estimated at 800 million cubic meters in 1988 and 1,150 in 1990 [18]. Demand in the year 2000 is expected to increase to 1, 270 million cubic meters for agricultural purposes.

Water Resource Problems and Suggested Solutions

58. The water resource problems that are particular to the GCC countries include intermittent surface runoff, depletion of deep fossil groundwater resources, salt water intrusion, overdevelopment of water sources, pollution of shallow aquifers, lack of trained personnel and deficient institutional arrangements and resource management. Increasing population in combination with rapid development and improvements in the standard of living exert tremendous pressure on the water resources of the region; water shortage for domestic purposes is a definite reality, as demonstrated by the estimates of demand shown in Table (3). Most of the renewable water resources have been fully developed. Depletion of non-renewable resources has taken place at an accelerated rate in order to meet the rapidly rising demand for water, especially in the agricultural sector. Urban water consumption has greatly increased, and the consequent production of waste water has contaminated some of the groundwater sources. In order to cope with future situations there is an urgent need for efficient planning and management schemes to be put into effect, taking into consideration the sustainability of the resources and fragile nature of the arid environment. Water resource assessment should be based on reliable information and a sound scientific basis, with application of both conventional and non-conventional technology tailored to the social and environmental conditions of the gulf states.

59. Successful assessment and management of water resources in the gulf region requires evaluation, cooperation and coordination between concerned agencies in each individual country as well as between countries. Currently deficient programs should be reviewed in order to develop new policies and plans to address the existing problems of data collection and dissemination, quality control, training, research and development, institutional arrangements and management of water resources in each country as well as between countries. Concerned agencies in the region will face major challenges in the development and implementation of programs designed to collect and evaluate reliable information and train personnel, all of which are needed to formulate water allocation schemes between competitive users and achieve sustainable development to meet future requirements.

60. Efficient assessment and management of water resources requires the collection of reliable water resource information. The current hydrological and meteorological networks have less than satisfactory density and do not provide adequate coverage for assessment and management of water resources in many of the GCC countries. Areas with the potential for water resource development have not been fully instrumented, especially in the southern part of Saudi Arabia, the United Arab Emirates, Qatar and the northern and southern parts of Oman. The variability of arid climates requires dense networks for assessment and management of water resources. During the last ten years there have only been small increases in the number of hydrological and meteorological stations in the region, which can be attributed to lack of finances and incentives and understanding on the part of decision makers. The number of stations installed during the early 1980s has now been reduced due to rapid deterioration in equipment, lack of maintenance and operation. Maintenance and calibration of hydrological and meteorological instruments is not being done on a routine basis due to lack of trained personnel and financial resources for the purchase of spare parts and laboratory facilities.

61. There is a limited number of rainfall and runoff stations with reasonable time series and water quality data recorders, groundwater and sediment information is generally scarce. In addition, for some remote basins runoff and rainfall data is generally of poor quality as a result of enlisting local villagers with little education or training, to measure and manage data. In addition, poor technical background and low salaries among employees make for lack of interest and accuracy in data collection.

62. Some countries have failed to establish sound monitoring programs for groundwater quantity and quality. Many agencies did not take advantage of the extensive drilling programs implemented for meeting agricultural water demand. Invaluable data could have been obtained during the drilling process, including aquifer parameters, groundwater reserves and monitoring of water level and quality changes. The lost opportunities have resulted in insufficient monitoring and extensive groundwater mining.

63. Future plans to undertake this task must include the expansion and updating of the existing hydrological and meteorological networks, in order to provide an adequate data base. Existing data collection networks should be expanded to include areas with potential for water resource development. Emphasis should be placed on expansion of groundwater

monitoring systems which provide constant data on both the quantity and quality of groundwater reserves.

64. Emphasis should be placed on utilization of advanced hydrological and meteorological technology such as data collection sensors, electric data storage devices, telemetry, remote sensing, geographical information systems as well as trained personnel and computers to aid with all aspects of data collection and management. Conventional hydrological and meteorological equipment should be calibrated on a routine basis by well equipped workshops. A phase-out program should be designed to replace obsolete equipment with precision sensors computerized data storage, and efficient retrieval and processing of data.

65. In some countries, hydrological data is still often processed manually due to outdated collection equipment. Back logging of data archives and delays in information dissemination is frequent. Within the same country where more than one agency is responsible for data collection, there is inconsistency in data collection, processing and archiving, which leads to incompatibility. Some countries have made progress in establishing data banks but usually there is a lack of adequate data base management and information dissemination. In many countries in the region there is increasing concern that data collection and analysis are not keeping pace with current water development and management needs.

66. Greater emphasis should be placed on obtaining precise information on water resources including availability, variability, retainability and quality. Future trends in the assessment and management of water resources call for the establishment of a reliable data base that will satisfy the requirements of a variety of agencies. Emphasis should be placed on the management of information and integration of systems in order to promote interaction among projects in different sectors. Therefore, agencies responsible for the collection and dissemination of hydrological and meteorological data need to improve the processing and analysis of data, particularly through computer aided data management programs. It is expected that both historical and real time data will be required for various purposes ranging from the assessment of surface and groundwater resources and monitoring, to flood and draught forecasting. The objectives of information disseminating agencies should include identification of users that will require the information and provision of highly reliable data through effective systems of information archiving and dissemination.

67. Data transmission should be expedited, whenever possible, via telemetry using telephones or satellites, which will insure real time data and continuous monitoring. Data base management systems should be implemented through personal computers which will enhance the quality of data and assist with dissemination of information. The use of remote sensing and geographical information systems should be encouraged as a planning tool.

68. The absence of approprate cooperation and coordination on a local scale originates within the fragmented ministries and agencies which control the water resources within each country. In Saudi Arabia, there are four agencies responsible for water and environmental related activities: the ministries of Agriculture and Water, Municipalities and Rural Affairs

and Planning, and the Meteorology and Environmental Protection Authority. In Kuwait there are two ministries dealing with water resources: Power and Water, and Public Works. In Qatar three ministries share the responsibilities: Power and Water, Industries and Agriculture and Public Works which is responsible mainly for waste water. In Bahrain the Ministry of Commerce and Agriculture, and the Ministry of Public Works, Power and Water are the responsible agencies. In the United Arab Emirates, where the union consists of seven states, water resources are managed by seven ministries and agencies. In the United Arab Emirates the ministry of Water, Agriculture and Fishery resources is the largest responsible agency. The remaining states have input through local agencies in each state: Water and Power (Abu Dhabi), Water (Dubai), Power and Water for both (Ras Al-Khamie and Sharga), and Groundwater Management and Land Reclamation (Al Ayn). In Oman the Ministry of Water Resources and the Ministry of Environment are the responsible agencies. This lack of coordination gives rise to conflicts between agencies regarding responsibilities and goals. It also creates unnecessary duplication or gaps in activities and programs. In some cases, lack of coordination has led to intense rivalries among agencies, resulting in delayed or deficient implementation of water assessment and management programs. There are also problems with data compatibility and accessibility among the various agencies. This also seems to be a regional problem, both within each individual country as well as between the GCC countries. It can be seen that with so many agencies and ministries in charge of water resources in the region, tremendous effort and well designed cooperation program is needed so that mutual cooperation and coordination in water resource programs can take place within and between the GCC countries.

69. Current planning approaches for most of the GCC countries lack coordination, both within and between countries. This problem arises from the fact that agencies which currently hold hydrological and meteorological data are reluctant to freely furnish data which they deem to be of a confidential nature. In view of the fact that so many foreign consulting firms from abroad have been commissioned to investigate the water resource potential in various gulf countries, the information can hardly be considered confidential. Therefore agencies must attempt to overcome this problem for the benefit of their individual countries as well as all the GCC countries as a whole.

70. Weaknesses in institutional arrangements are one of the major constraints in the development and management of water resouces. Solutions for the many difficulties associated with creating a mutual exchange program between the various agencies of the gulf countries must begin with optimal communication and cooperation. This can be achieved through comprehensive legislation which defines the responsibilities of each organization and an enforcement mechanism for exchange and dissemination of information. It should include provisions for project coordination on the local, regional and national level both within each country as well as internationally. Each country should set up a single coordinating body such as a national water resource committee or council. Or perhaps a central organization of this type could be set up, with branches in each of the gulf countries. This organization with delegated power would ensure coordination of activities within and between countries, assure the timely exchange of information and be responsible for determining optimal water resource development and management schemes. The formulation of such agencies would resolve a number of current conflicts which exist

between ministries, particularly between agricultural and water resource development. Once a single controlling agency in each country has been established and all authority for water resources has been placed with them, the task of coordination between countries can be expedited and will become simplified. All countries will benefit directly from such a coordinated effort.

71. In general, most of the gulf countries lack water policies and plans for assessment and development of their water resources. In the past, each county's fragmented policies stressed development of one sector at the expense of another. Agriculture was greatly expanded resulting in extensive mining of groundwater resources. Water supplies were developed without concurrent conservation programs. Ambitious waste water reuse programs were developed without provisions for enforcement of regulations governing its use and distribution. Water resource programs generally lack comprehensive designs and usually focus on specific areas of water resource development, such as water supply, flood control and waste water reuse.

72. In order to successfully manage water resources in the gulf, each country should develop and implement a water plan. In addition, a regional plan should be initiated in the near future. Such a water plan should be comprehensive and flexible in order to accommodate social and economic changes, and promote the allocation of water on a competitive basis. An integrated approach to the sustainability of water resources in the gulf on a local, national and regional level should be emphasized. Water plan development should emphasize the involvement of local professionals and researchers in order to ensure continuous updating and improvements.

73. Capacity buildings are lacking in each country. Ministries usually do not emphasize the importance of on-the-job training for improvement of the quality of work as part of their water programs. Established programs for newly recruited personnel are lacking. In-house training programs or university courses geared towards training of new personnel or updating continuing personnel do not appear to be a priority for many agencies. A number of training programs offered in some Saudi universities were discontinued due to lack of enrollment from government agencies. Local professionals have not received adequate on-the-job training in cases where the work is carried out by a foreign consultant; this is partly due to the nature of the jobs assigned to them, and due to lack of commitment on both the consultant and local professionals part.

74. There is a general lack of personnel in these specialties, therefore there should be some leniency for water specialists to move freely between the government and private sectors, keeping in mind that both will benefit the country. Better financial incentives and appreciation would encourage interest in the field and help attract local professionals. Local hydrologists and water resource specialists that have studied abroad and returned to help their countries have been continually neglected, while water resource studies are awarded to foreign consultants. This hinders agency staff in developing knowledge and expertise due to the fact that they usually serve in a supervisory role; The actual design and analysis usually being carried out by consulting firm staff. In some countries this has resulted in a failure to sustain some projects after they have been handed over.

75. Training must be recognized by desicion makers as an important phase of professional water resource development and management. Training should include professionals ranging from technicians to professors. Training programs should include on the job training, seminars, workshops, refresher courses and degree programs. Emphasis should be placed on formulating efficient training programs for new recruits as well as keeping continuing professionals updated and informed on new techniques, management procedures and technology. Staff members responsible for projects or department managers should receive management training in addition to their technical background. This will promote efficient execution of programs and maintain a stable basis in the assessment and management of water resources. Emphasis must be placed on recruiting personnel in deficient areas of specialization such as water resource planning and management, surface and groundwater modeling, pollution and water law, in order to maintain well-balanced water studies and management units in the ministries. The existing educational infrastructure in hydrology and water resources in each country should be utilized for training courses, workshops, degree programs and higher studies. There are many universities, particularly in Saudi Arabia, that offer technical programs for Bachelors and Masters programs in hydrology and water resource management. Each country should attempt to hire its own specialists whenever possible in order to increase their knowledge and experience and consequently reduce dependence on foreign companies and consultants.

76. In most countries of the gulf region, concerned ministries or agencies do not dedicate time and resources to water resource research and development. This may be attributed both to the shortage of qualified personnel and the pressing daily routines which do not allow time for research. Most water studies are usually subcontracted to local or international consultants and applied research is usually carried out by universities and research centers.

77. Research in the field of water resources, carried out by universities, research centers and government ministries or agencies tend to be fragmented and uncoordinated. There is a need to identify research priorities and apply the results of completed research studies through coordination between researchers and government agencies. Governmental and private sectors should be encouraged to subcontract to local universities and research centers. Dissemination of information and documentation required by researchers should be encouraged and supported by government agencies. This step will contribute towards development and implementation of solutions to local problems and strengthen the capabilities of local research facilities through development of staff, facilities and training of students. This will enable the formation of groups of specialists who are familiar with the local problems and build the capabilities of local professionals rather than of foreign consultants who leave after completion of the project. Ministries and agencies dealing with water resources need to strengthen the capabilities of their staff and faculty through carrying out in-house studies on their own or jointly with local universities and research centers. Hands on experience gained through such studies will contribute towards the [illegible] practical experience, increase the confidence, self esteem and efficiency of personnel working in the field, and thereby improve research and development as a whole.

78. In most countries there is only modest use of surface and groundwater models and other advanced technology. Procedures and measurement techniques for various components of the hydrological cycle need further improvement and modification to suit the arid conditions of the region. Continuous assessment of measurement and evaluation techniques is warranted in light of rapid changes in the world of technology. As experience is gained by local professionals within the different gulf countries, they will be able to focus more clearly on the conditions particular to their region. Technical manuals are, in general, poorly developed in many of the gulf countries. Manuals for the assessment, evaluation and management of water resource components should be designed and standardized in each country as well as between countries in the region.

79. Finally, an important consideration regarding the water resources of the gulf region is that a number of the major aquifers are shared by many of the countries. The Dammam, Um Ar Radhuma, Wasia, Aruma, and Neogene aquifers run between all the Arabian gulf countries. Other subsurface aquifers extend from Saudi Arabia underneath all the gulf countries. Currently, development of these aquifers is taking place without coordination between countries or sharing of information regarding quality, quantity or volume of abstraction. In addition, there is an absence of binding legal agreements between countries in the region [24] on the utilization and delopment of shared surface and groundwater resources. It is inevitable that this lack of coordination will cause a multitude of problems in the future, especially when increased demand leads to increased exploitation by one country at the expense of another. Therefore, it becomes essential that a management policy be devised for management of shared groundwater resources based on proper legal and institutional frameworks, agreed upon by all countries concerned.

80. The Gulf Cooperation Council presented a legal framework for joint cooperation [25] where shared surface and groundwater resources are concerned. The GCC secretariat should take the initiative in formulating a development and management policy, with particular emphasis on shared groundwater resources in the region. The policy suggests that any management plan should include consideration on sustainability and be environmentally sound in terms of resource development and management. There have been some concerns about shared water resources, however, no action has ever been taken.

Summary and Conclusions

81. The GCC countries are all located within an extremely arid region. They have only limited fresh water supplies, and their only dependable source is fossil groundwater. Even though vast volumes of groundwater are stored in the deep sedimentary formations, especially in Saudi Arabia, the quality is generally not suitable for domestic consumption. Most of the renewable water resources of the GCC countries have been nearly fully developed. In some regions, depletion of the non-renewable groundwater resources is taking place at an alarming rate due to over-pumping in order to meet agricultural requirements. Future economic development, projected population growth and improvement in the standard of living is expected to lead to substantial increases in water consumption. Water shortages are already a reality because of limited supply of desalinated sea water, wasteful and inefficient water consumption patterns and emphasis on water supply development.

82. To cope with future water demand, emphasis must be placed on efficient management of water resources in the region. Currently, water policies do not take into account the importance of sustainability of water resources. It is essential that each country of the region establish an up-to-date water plan that emphasizes not only the sustainability of water resources, but promotes a number of important aspects such as optimum allocation of water in accordance with market values, conservation, pollution control, and improvement of the coordination of efforts between water institutions. Research and development as well as manpower development and training are also essential aspects of any water program. Key policies should address short and long term programs for agricultural development, capacity building, water pricing subsidies, development and application of appropriate technology, institutional arrangements and water importation.

83. The water situation in the member states of the GCC countries requires that future programs be based on the availability of reliable information as well as emphasis on an integrated water management approach. The objectives of water agencies should be directed towards the enhancement and expansion of data collection networks, improvement of quality control, efficiency in archiving and dissemination of information, and application of computer technology in all aspects of data processing, analysis and management. Capacity building should begin at the lowest level with the training of personnel in all aspects of the water sector. In-house studies should be encouraged to develop the capability of staff, and joint research work with local universities should be encouraged. Coordination of water activities between waster institutions, and exchange of information should be recognized as an essential element of the water planning process.

84. The major priorities for the GCC countries are then to develop or implement a national water plan that emphasizes all of the important aspects of water resource management, especially for the agricultural sector. Finally, the GCC secretariat needs to be encouraged to develop a viable mechanism for the implementation of coordinated development and utilization of the shared water resources, within the framework of accepted international law.

1. Authman, M.N. Water and development processes in Saudi Arabia. Tihama Press, Jeddah, Saudi Arabia, 1983, p. 302.

2. Shahin, M. Review and assessment of water resources in the Arab region. J. Water International., 1989, V. 14, pp. 206-219.

3. Anonymous. Water Resources and Utilization in Kuwait. Presented at the Symposium on Water Resources and Utilization in the Arab World, Kuwait, 1986, pp. 331-360.

4. Al-Mansour, K. and Al-Arady Water resources and its utilization in Bahrain (Arabic). Presented at the Symposium in Water Resources and Utilization in the Arab World, Kuwait, 1986, pp. 159-189.

5. Anonymous. Water resources and utilization in the United Arab Emirates. (Arabic) Presented at the Symposium of Water Resources and Utilization in the Arab World. Kuwait, 1986, pp. 141-157.

6. Anonymous. Water resources and utilization in the Sultanant of Oman (Arabic). Presented at the Symposium on Water Resources and Utilization in the Arab World, Kuwait, 1986, pp. 255-294.

7. Al-Kenson, D.J. and Aykliston Water resources and water utilization in Qatar (Arabic). Presented at the Symposium on Water Resources and Utilization in the Arab World, Kuwait, 1986, pp. 299-330.

8. Ukayli, M.A. and T. Husain Evaluation of surface water availability, wastewater reuse and desalination in Saudi Arabia. J. Water International. Vol. 13, 1988 pp. 218-225.

9. British Arabian Advisory Company (BAAC) Water resources of Saudi Arabia, Vol. 1. Prepared for the Ministry of Agirculture and Water, Riyadh, 1980.

10. Ministry of Agriculture and Water (MAW) Water Atlas of Saudi Arabia, Riyadh, 1984.

11. Edgell, H.J. Geological framework of Saudi Arabia - groundwater resources. KAU Journal of Earth Science, 1987, Vol. 3, Jeddah, p. 267-285.

12. Burdon, D.J. Hydrogeological conditions in the Middle Ease. Q.J. Eng. Geol. 15, pp. 71-82.

13. Temperley, T.G. Saudi waer planners look out to sea. J. Water and Environment, 1992, Jan. pp. 18-27.

14. Khory, J, et al. Water resources in the Arab world and their future projection. Paper presented at the Symposium on Water Resources and Utilization in the Arab World, Kuwait, 1986, pp. 577-634.

15. Lloyd, J.W. and Rim, R.H. The hydrogeology of groundwater resources development of the Cambio-Ordovician sandstone aquifers in Saudi Arabia and Jordan. J. Hydrology, 1990, Vol. 121, p. 1-20.

16. KFUPM Groundwater resources evaluation in Saudi Arabia and long term strategic plan for fresh groundwater use. King Fahd University of Petroleum and Minerals, KFUPM Press, 1987, Dhahran, 168p.

17. Al-Gazi, Abdulaziz (Arabic) Migration movement between rural and urban centers in the Arab world. Journal of Security No. 2, 1990 p. 87-120.

18. Bushnak, A. A. Water supply challenge in the Gulf Region. J. Desalination, Vo. 78, 1990, pp. 133-145.

19. Akkad, Adnan Conservation in the Arabian Gulf countries. AWWA, J. Management and operation. 1990, Vol. 82, pp. 40-50.

20. Ministry of Planning (MOP) Fourth Development Plan, 1985-1990, for Saudi Arabia.

21. Ministry of Planning (MOP) Fifth development plan 1990-1995 for Waudi Arabia. Riyadh, 1990, 520p.

22. Al-Tokhais, A.S. Groundwater management strategies for Saudi Arabia. Ph.D. dissertation, Colorado State University, 1992, Ft. Collins, CO pp. 220.

23. De Jong, R.L. et al. Scenario planning for water resources - A Saudi Arabian case study. Water International, 1989, Vol. 14, pp. 6-12.

24. De Jong, R. Water resouces of the GCC countries - International Aspects. ASCE Journal of Water Resources Planning and Management, July 1989, vol. 115, No. 4, pp. 503-510.

25. Anonymous. Basic law for gulf cooperation council GCC 0001-091 G.P. B/87. Second Ed. GCC Printing press, 1987, Riyadh, Saudi Arabia.

تحديد منخفضات المياه السطحية في الكويت

وخواصها الجيومورفولوجية

الدكتور جواد السليمي

تحديد منخفضات المياه السطحية في الكويت
وخواصها الجيومورفولوجية

اعداد

د. جواد السليمي

ادارة موارد المياه

معهد الكويت للأبحاث العلمية

ص. ب. ٢٤٨٨٥

13109 صفاة – الكويت

مايـــــو ١٩٩٢

تحديد منخفضات المياه السطحية في الكويت
وخواصها الجيومورفولوجية

د. جواد السليمي

ادارة موارد المياه

معهد الكويت للأبحاث العلمية

ص. ب. ٢٤٨٨٥

13109 صفاة - الكويت

مقدمـــــة:

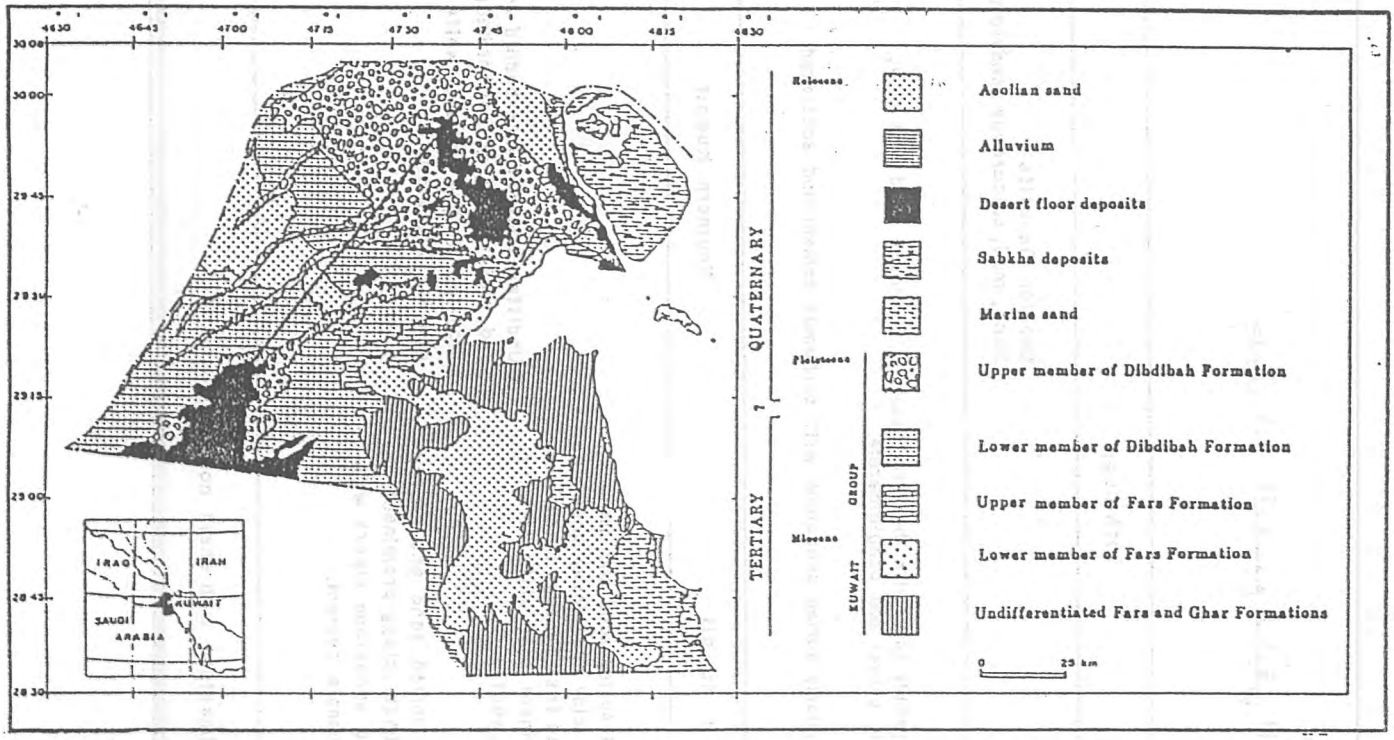
يعتبر منخفضا حقلي الروضتين وام العيش من أهم المصادر الرئيسية للمياه الجوفية العذبة المستخدمة في الكويت. ومن المعروف ان هذين الحقلين تكونا من تسرب مياه الامطار المتجمعة من خلال الاودية والقنوات في المنخفضين الرئيسيين. وتعتمد كمية المياه الجارية في الوديان والقنوات السطحية اعتمادا كبيرا على جيومورفولوجية ونظم التصريف النهري وطبيعة تكوين هذه الوديان. حيث ان تحديد احواض الصرف (Drainage Basins) على خرائط دقيقة وتقييمها من خلال خواصها الجيومورفولوجية يمكن ان يلعب دورا كبير في الكشف عن مكامن المياه العذبة المتواجدة على اعماق قريبة من سطح الارض. كما ان الخواص الجيومورفولوجية للقنوات والاودية تلعب دورا هاما في كثير من الدراسات الهيدرولوجية مثل تحديد مناطق للشحن الاصطناعي وتحديد كمية المياه السطحية ومعدل الشحن الطبيعي لمكامن المياه المختلفة. وعليه فان الدراسة الحالية تهدف بشكل رئيسي الى عمل خرائط دقيقة للقنوات والوديان السطحية لاحواض الصرف المختلفة في الكويت ودراسة خواصها الجيومورفولوجية وذلك لغرض الاستعانة بها في الدراسات المستقبلية المتعلقة بالمياه الجوفية.

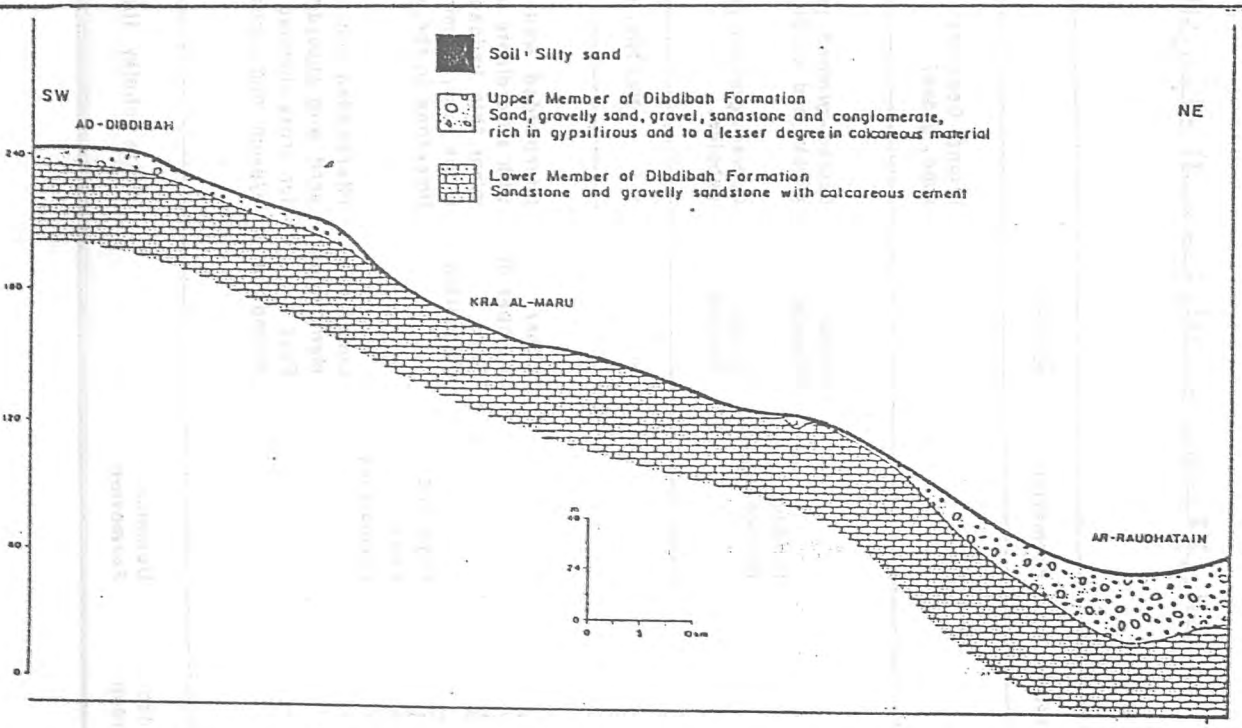
التكوين العام لدولة الكويت

سطح الكويت بوجه عام يتمثل على شكل هضبة مسطحة بتموجات خفيفة تنحدر تدريجيا باتجاه الشمال الشرقي من الجهة الشمالية وفي الاتجاه الشرقي والشمالي الشرقي في الجهة الجنوبية. ويعتبر جال الزور الذي يتميز بسطح مرتفع ذو جانب شديد الانحدار ووادي الباطن من أهم المظاهر الطبوغرافية مقارنة بالطبيعة المسطحة العامة لدولة الكويت.

ومن حيث جيولوجية الطبقات (شكل ١)، فقد بينت الدراسات السابقة لدولة الكويت ان ترسبات مابعد عصر الايوسين (Post-Eocene) والتي تسمى بمجموعة الكويت تتراوح من عدة امتار الى مئات الامتار في السمك، حيث تعلو تكوينات الدمام الجيرية مع عدم التوافق بسطح الالتقاء (Unconformity). ففي الجزء الجنوبي تتكون مجموعة الكويت في الاغلب من رواسب رملية نهرية (Fluvial) غير متماسكة تتخللها رقع ذات اشكال واحجام من الرمال الملتحمة بمادة جيرية تسمى بالكلكريت (Calcrete). وتنسب هذه الترسبات النهرية الخالية من الاحافير الى تكوينات الفارس والغار. ومن الناحية الاخرى فان مجموعة الكويت تزداد في السمك في اتجاه الشمال حيث تنقسم من سطح الارض حتى تكوينات الدمام الى تكوينات الدبدبة والفارس والغار. وتنقسم تكوينات الدبدبة الى وحدتين (Hunting, 1981) ، الوحدة العلوية تتكون من ترسبات صلبوخية ورملية، والوحدة السفلية وتتكون من ترسبات الحجر الجيري (جدول ١).

وتؤخذ المياه الجوفية في الكويت من مكمنين رئيسيين، الاول يتواجد في ترسبات مجموعة الكويت، والثاني في الصخور الجيرية التابعة لتكوين الدمام. والمياه الجوفية العذبة توجد فقط في حقلي الروضتين وام العيش حيث الوحدة العلوية لتكوين الدبدبة التابعة لمجموعة الكويت.





شكل ١: خريطة مبسطة لتوزيع الترسبات السطحية في الكويت وقطاع جيولوجي يبين سمك طبقة الدبدبة

جدول ١: التقسيم الطبقي للترسبات السطحية والتحت سطحية في الكويت

Period	Epoch	Group	Formation	Member	Lithology	
	Holocene				Inland Deposits: sand, gravel	Coastal Deposits: Sand, mud, calcareous sandstone
Quaternary	Pleistocene		Dibdibah Formation	Upper Member	Coarse-grained pebbly sand with thin intercalations of clayey sand and clay; pebble and cobble gravel and conglomerate.	
				Lower Member	Coarse-grained poorly sorted sandstone with carbonate cement and scattered pebbles.	
					Northern Kuwait	Southern Kuwait
Tertiary	Miocene	Kuwait Group	Fars and Ghar Formations	Upper Member of Fars Formation	Interbedded well sorted sand and sandstone with subordinate clay and clayey sand and minor thin bedded fossiliferous limestone in the east, prominent soft white nodular limestone in the west.	Undifferentiated; interbedded sand and clayey sand with subordinate clay, sandstone and soft white nodular limestone.
				Lower Member of Fars Formation	Interbedded well sorted sand and clayey sand with subordinate clay; prominent for cross-bedded sandstone layers with gypsum and carbonate cement.	
	Eocene	Hasa Group	Dammam Formation		White chalky limestone with chert nodules.	

ومن حيث المناخ فان دولة الكويت تتميز بمناخ صحراوي حار جاف صيفا ومعتدل بارد شتاء. وتهطل الامطار في فصل الشتاء بمعدل يتراوح مابين ٣٠مم الى ٣٠٠ مم سنويا. وتتراوح نسبة التبخير من ٢٤ مم في اليوم في فصل الصيف الى ٤ مم في اليوم في فصل الشتاء. ومعظم الامطار تهطل فجأة بغزارة شديدة فتجري السيول والوديان حيث تتجمع المياه على شكل خبرات في احواض الصرف والمنخفضات.

طريقة العمل

لقد تم تحديد احواض الصرف في دولة الكويت ودراسة خواصها الجيومورفولوجية والهيدرولوجية وذلك من خلال اربعة مراحل رئيسية كما يلي:

١. تجميع المعلومات: تم في هذه المرحلة تجميع المعلومات المتاحة المتعلقة بالدراسة والتي تتكون من خرائط طبوغرافية ذات مقاييس رسم مختلفة وخرائط جيولوجية وصور جوية بمقياس رسم ١:١٠٠ر٠٠٠ وتقارير متعلقة بالدراسة. كما تم جمع المعلومات المناخية المتوفرة من ثمانية محطات للارصاد الجوية يمكن استخدامها في تقدير كمية الشحن الطبيعي (Natural Recharge).

٢. تحديد احواض الصرف: لقد تم تحديد انظمة الصرف (Drainage Systems) واحواض الصرف التابعة لها خلال هذه المرحلة من الدراسة، وذلك بواسطة استخدام الخرائط الطبوغرافية مقياس ١:٢٥ر٠٠٠ و ١:٥٠ر٠٠٠ و ١:١٠٠ر٠٠٠ والصور الجوية مقياس ١:١٠٠ر٠٠٠ في تحديد الوديان وتشعبات القنوات الصغيرة والرئيسية تحديدا دقيقا، ومن ثم تحديد احواض الصرف لهذه الوديان. وقد قسمت انظمة الصرف الى انظمة صرف رئيسية وانظمة صرف ثانوية تبعا لاهميتها الهيدرولوجية وذلك بعد استبعاد الوديان والقنوات التي تعتبر عديمة الاهمية من الناحية الهيدرولوجية

والمتمثلة بالوديان التي تصب في الخليج وخارج حدود الكويت وبعض الوديان الصغيرة المنتشرة داخل دولة الكويت. كما تم تقسيم هذه الانظمة الى رئيسية وثانوية اخذين بالاعتبار حجم وعدد احواض الصرف وعمق واهمية منخفض تجمع المياه (Receiver) التابعة لكل نظام من انظمة الصرف المختلفة حيث تم تحديد ثلاثة انظمة صرف رئيسية وهي انظمة صرف الروضتين، وام العيش، والدبدبة اضافة الى عشرة انظمة صرف ثانوية اخرى موزعة في شمال ووسط وجنوب الكويت. وقد تم اعداد خريطة بمقياس ١:١٠٠ر٠٠٠ لتبين انظمة الصرف الرئيسية والثانوية واحواض الصرف التابعة لها.

٣. <u>دراسة وتحليل احواض الصرف:</u> تم اعداد خرئط دقيقة بمقياس ١:٢٥ر٠٠٠ لكل من انظمة الصرف الرئيسية وخرائط بمقياس ١:٥٠ر٠٠٠ لانظمة الصرف الثانوية الاخرى. تبين هذه الخرائط احواض الصرف التابعة لكل نظام وترتيب الصرف النهري (Stream Order) لقنوات ووديان احواض الصرف (Strahler,1952) وقد استخدمت هذه الخرئط لدراسة الخواص الجيومورفولوجية لاحواض الصرف كل على حده (جدول ٢).

٤. <u>تحليل البيانات الهيدرولوجية:</u> تم قياس نسبة التسرب (Infilteration Rate) بطريقة (Chow, 1964) في ٣٤ موقعا بواقع ١١ موقع في نظام صرف الروضتين و٦ مواقع في ام العيش و٦ مواقع في الدبدبة و ١١ موقع موزعة في انظمة الصرف الثانوية الاخرى. كما تم اعداد خريطة بمقياس ١:١٠٠ر٠٠٠ تبين مواقع آبار المياه التي حفرت بواسطة وزارة الكهرباء والماء ونسبة الملوحة فيها. وبمقارنة هذه البيانات بنظم الصرف المختلفة، تم تحديد مناطق لحفر آبار مستقبلية للمياه الجوفية في تكوينات مجموعة الكويت وذلك على خريطة بمقياس ١:١٠٠ر٠٠٠ بصورة اولية.

جدول ٢: المعايير المورفولوجية والرموز المعرفة لها ووحدة القياس والابعاد

Variable	Symbol	Unit	Dimension
رتبة القناة	U	-	dimensionless
عدد القنوات ذات رتبة U	N_u	-	dimensionless
مجموع عدد القنوات التابعة للمنخفض ذات رتبة u	$(\Sigma N)_u$	-	dimensionless
نسبة التفرع	$Rb = \frac{N_u}{N_u+1}$	-	dimensionless
مجموع طول القنوات التابعة للمنخفض ذات رتبة u	$(\Sigma L)_u = L_1 + L_2$	km	L
مساحة المنخفض	A_u	km^2	L^2
طول المنخفض	Lb	km	L
طول حدود المنخفض	P_u	km	L
كثافة المجرى	$D_u = (\Sigma L)_u / A_u$	km/km^2	L^{-1}
ثابت المساحة للقنوات	$C = 1 / D_u$	km^2/km	L
تذبذب القنوات	$F_u = \Sigma N_u / A_u$	$number/km^2$	L^{-2}
المعدل النسيجي	$T_u = \Sigma N_u / P_u$	number/km	L^{-1}

تابع جدول (٢)

Variable	Symbol	Unit	Dimension
ارتفاع فم المنخفـــــض	z	meter	L
ارتفاع اعلي نقطة في منخفضات المياه	Z	meter	L
مجموع فرق ارتفاع المنخفض	H = Z-z	meter	L
نسبة الانحدار	Rh = H/Lb	-	dimensionless

L = one-dimensional

L^2 = two-dimensional

L^{-1} = $L \div L^2$

L^{-2} = dimensionless $\div L^2$

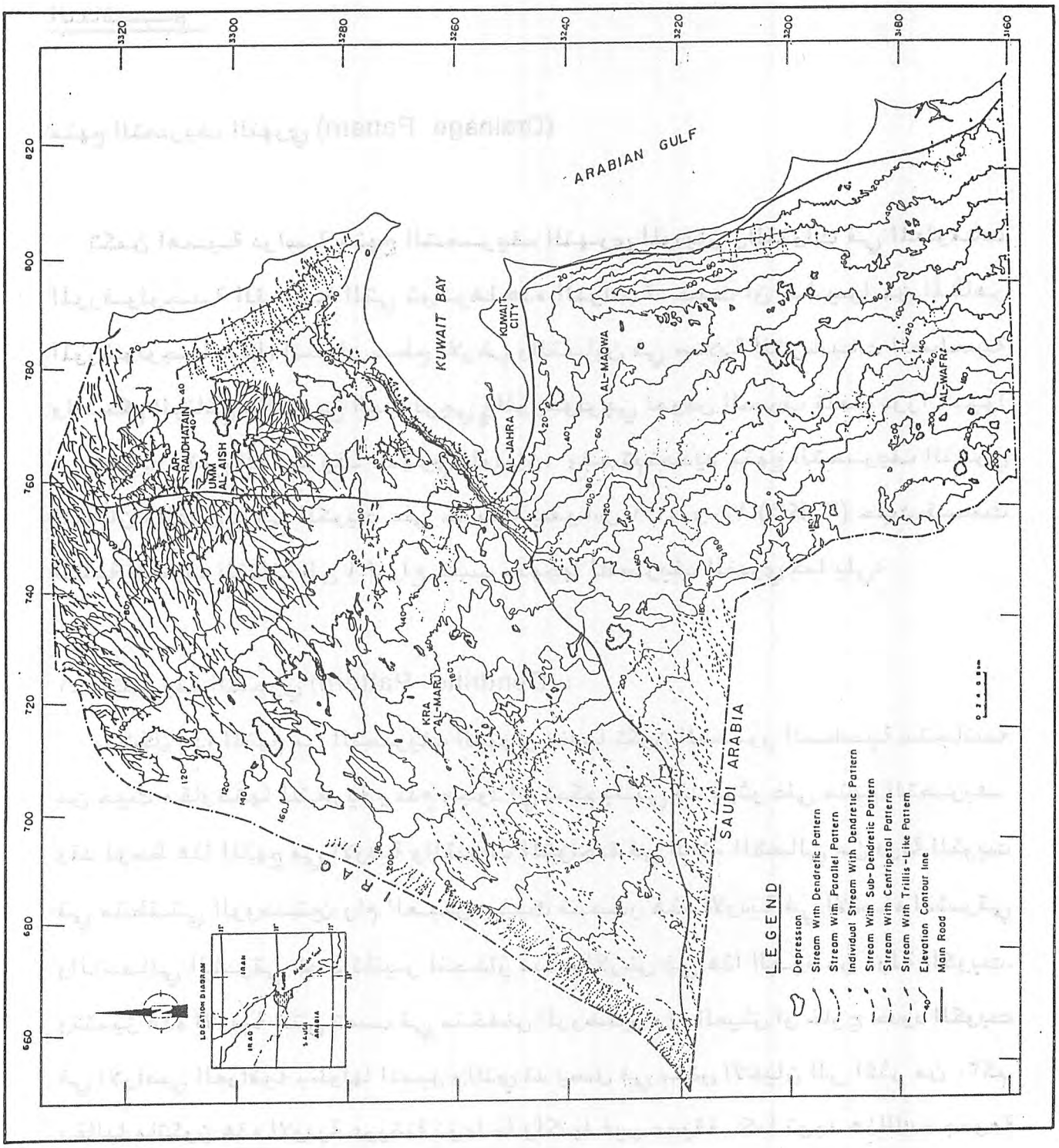
النتائـــــج

منهج التصريف النهري (Drainage Pattern)

تكمن اهمية دراسة منهج التصريف النهري للوديان والقنوات في المعلومات المورفولوجية القيمة التي توفرها هذه الدراسة. حيث ان كثيرا من المظاهر المورفولوجية مثل انحدار سطح الارض والتباين في صلابة الترسبات السطحية والتحكم البنائي والتاريخ الجيولوجي والمورفولوجي لحوض الصرف تلعب دورا كبيرا في تحديد منهج التصريف النهري للوديان. وقد تم تحديد منهج التصريف النهري للوديان والقنوات في الكويت على خريطة بمقياس ١:١٠٠٫٠٠٠ (شكل ٣) حيث قسمت انظمة الصرف المختلفة الى ٦ انواع حسب منهجها للتصريف النهري كما يلي:

١. التصريف الشجري (Dendritic Pattern) :

يتشكل هذا المنهج من التصريف النهري عندما تكون الصخور السطحية متجانسة من حيث مقاومتها للتعرية وعدم وجود اي تحكم بنائي قد يؤثر على منهج التصريف. وقد لوحظ هذا المنهج في الاودية والقنوات المتواجدة في الجزء الشمالي من دولة الكويت في منطقتي الروضتين وام العيش، حيث تنحدر هذه الاودية في الاتجاه الشرقي والشمالي الشرقي تحت تأثير انحدار سطح الارض في هذا الجزء من دولة الكويت. وتتميز هذه الاودية التي تصب في منخفض الروضتين وام العيش او خارج حدود الكويت في الاراضي العراقية بطولها المميز والذي قد يصل في بعض الاحيان الى اكثر من ٣٠كم. وغالبا ماتكون هذه الاودية عريضة نوعا ما ولكنها غير عميقة. كما توجد هنالك مجموعة من الاودية الصغيرة التي تصب في الاتجاه الغربي والجنوبي الغربي نحو منخفض الروضتين وام العيش.



شكل ٣: منهج التصريف النهري للوديان المختلفة في الكويت والمنخفضات الرئيسية

٢. التصريف شبه الشجري (Sub-dendritic Pattern) :

يتميز هذا النوع من التصريف النهري بصفاته المشتركة بين التصريف الشجري والمتوازي حيث تتصف تفرعات الوديان بمنهجها الشجري الا انها لاتتجمع في منخفض مشترك بل تصب كل على حده في منخفض خاص بها مما يعطي هذه الوديان شكلا متوازيا. تتواجد الوديان المتميزة بهذا النوع من التصريف النهري في منطقة الدبدبة في غرب الكويت وهي تتكون على شكل وديان طويلة وعريضة وغير عميقة تنحدر من الاتجاه الجنوبي الغربي الى الاتجاه الشمالي الشرقي.

٣. التصريف الشجري للوديان المنفصلة (Dendritic Pattern of Individual Streams):

لوحظ هذا المنهج في وديان منفصلة منتشرة في وسط وجنوب الكويت حيث يمثل كل واد من هذه الوديان نظام تصريف قائم بذاته. وتصب هذه الوديان عموما في اتجاه الشرق.

٤. التصريف المتوازي (Parallel Pattern) :

يتواجد هذا النوع من التصريف النهري عادة في الاماكن الشديدة الانحدار. وتتميز الوديان المتوازية بانتظام المسافة في مابينها. فقد لوحظ هذا النوع من التصريف النهري في منحدر جال الزور والمنحدر الواقع في شمال منطقة الصبية ووادي الباطن وضلع الاحمدي وجميع هذه الوديان اما تصب في الخليج او خارج حدود الكويت.

٥. التصريف المركزي (Centripetal Pattern) :

وهذا النوع من التصريف مميز للمنخفضات العميقة حيث ان الوديان تصب نحو مركز المنخفض من جميع الجهات. ولوحظ هذا النوع من التصريف في منخفض ام الرمم والزقلة في الجزء الاوسط من الكويت.

٦. التصريف شبه المستطيل (Trellis-Like Pattern) :

تتحكم في هذا النوع من التصريف النهري الظواهر الطبوغرافية والتركيبية حيث تتشكل الوديان بواسطة هذه الظواهر وهي غالبا ماتكون متوازية في المظهر. ويشاهد هذا النوع من التصريف النهري على حافة ضلع جال اللياح.

تأثير الترسبات السطحية على تكوين انظمة الصرف

تلعب الترسبات السطحية دورا هاما في تكوين انظمة الصرف وخواصها الجيومورفولوجية والتي تنسب غالبا لاختلاف درجة المقاومة في انواع الصخور المختلفة. فالوديان التي تشاهد في انظمة الصرف الرئيسية تتميز بمنهج تصريف شجري او شبه شجري وذلك بسبب وجود ترسبات الوحدة العلوية للدبدبة والتي تتكون من رواسب رملية وصلبوخية غير متماسكة. وهذه الترسبات تتميز بتجانس كبير من حيث التركيب الصلابة وتظهر بصورة اقل وضوحا واقل عمقا من الاودية المتكونة في منطقة الدبدبة في غرب الكويت تظهر بصورة اقل وضوحا واقل عمقا من الاودية في منطقتي الروضتين وام العيش وذلك يرجع لوجود طبقة الحجر الرملي الجيري التابعة لوحدة الدبدبة السفلية. حيث تتواجد هذه الطبقة على اعماق قليلة (٢م بالمتوسط) تحت ترسبات الرمل والصلبوخ. على العكس من المنطقة الشمالية حيث تتواجد على اعماق قد تصل الى اكثر من ٣٠م. وبما ان طبقة الحجر الرملي الجيري هذه صلبة ومقاومة لعوامل التعرية، فان قنوات الوديان في الجزء الغربي لاتتمكن من شق طريقها في هذه الطبقة. وعليه فان عمق الوديان لايتجاوز سمك طبقة الرمل والصلبوخ التابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة. وهذه الظاهرة تشاهد بوضوح حيث تتواجد طبقة الحجر الرملي الجيري على السطح في المنطقة الوسطى اذ تكون الوديان غير واضحة او عديمة الوجود (شكل ١). وهناك بعض الشواهد السطحية الجيولوجية والجيومورفولوجية تدل على ان قدرة الوديان على التعرية ضعيفة، وهذه الشواهد هي:

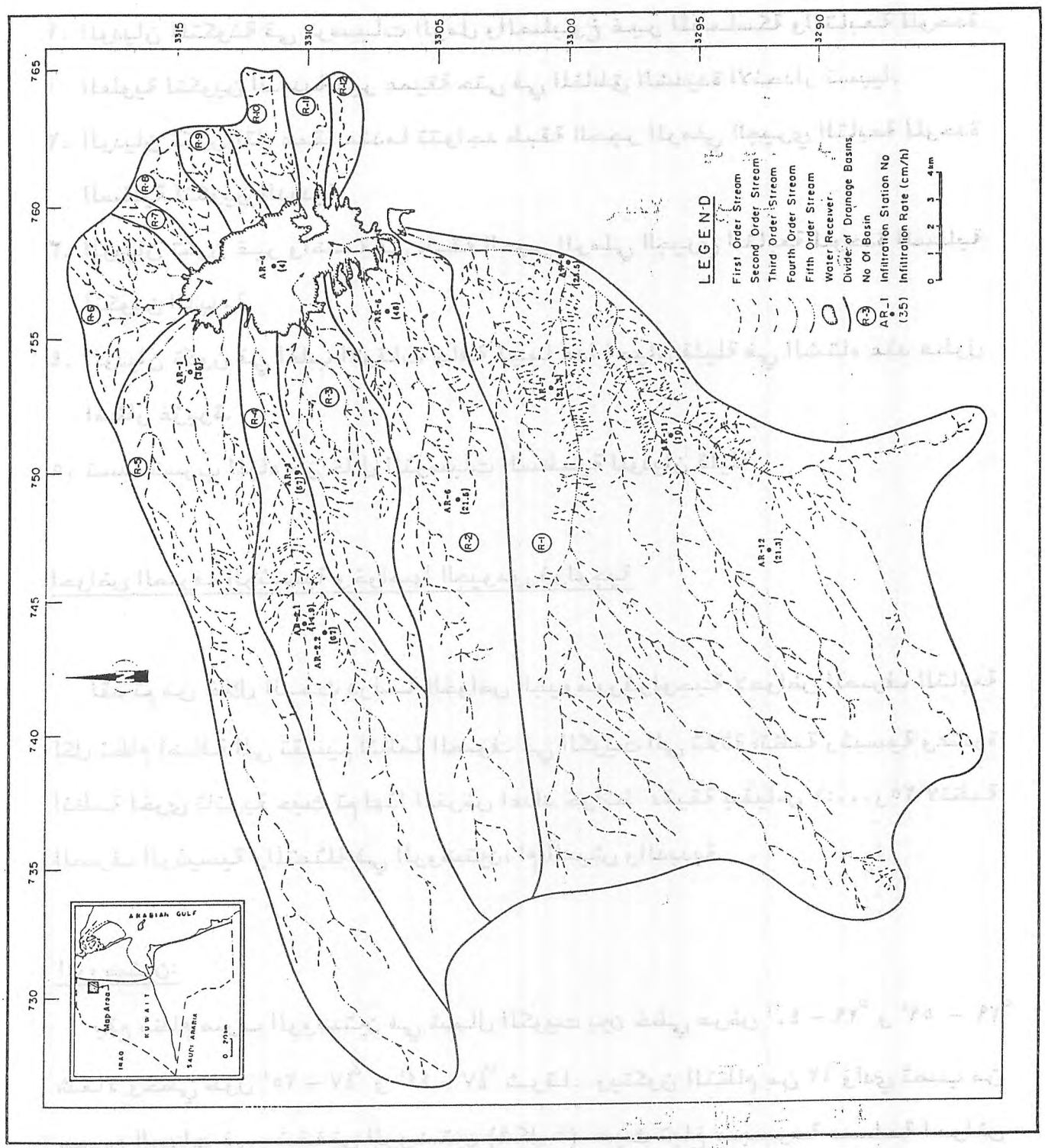
١. الوديان المتكونة في ترسبات الرمل والصلبوخ غير المتماسكة والتابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة غير عميقة حتى في المناطق الشديدة الانحدار نسبيا.
٢. الوديان تكون اقل عمقا عندما تتواجد طبقة الحجر الرملي الجيري التابعة للوحدة السفلية لتكوين الدبدبة.
٣. الوديان تكون غير واضحة في طبقة الحجر الرملي الجيري التابعة للوحدة السفلية لتكوين الدبدبة.
٤. الوديان تكون في اغلب الاوقات جافة فيما عدا احيان قليلة في الشتاء عند هطول امطار غزيرة.
٥. نسبة تسرب المياه من خلال الترسبات السطحية للوديان قليلة.

احواض الصرف الرئيسية وخواصها الجيومورفولوجية

لقد تم من خلال البحث دراسة الخواص الجيومورفولوجية لاحواض الصرف التابعة لكل نظام اضافة الى تقسيم انظمة الصرف في الكويت الى ثلاثة انظمة رئيسية وعشرة انظمة اخرى ثانوية حيث تم لهذا الغرض اعداد خرائط دقيقة بمقياس ١:٢٥٠٠٠ لانظمة الصرف الرئيسية والمتمثلة في الروضتين، ام العيش والدبدبة.

الروضتين:

يقع نظام صرف الروضتين في شمال الكويت بين خطي عرض '٤٠ – ٢٩° و '٥٩ – ٢٩° شمالا وخطي طول '٢٥ – ٤٧° و '٤٤ – ٤٧° شرقا. ويتكون النظام من ١٢ وادي تصب من جميع الجهات في منخفض الروضتين (شكل ٤)، حيث تبلغ مجموعة مساحة احواض الصرف لهذه الوديان ٦٧٠كم٢. من ناحية اخري فان الوديان التي تنحدر من اتجاه الغرب والشمال الغربي اطول بكثير من تلك التي تنحدر من الشرق والجنوب الشرقي. كما يبلغ ارتفاع اعلى نقطة في حوض صرف الروضتين ١٣٦م فوق سطح البحر في الجهة



شكـــل ٤ : نظام صرف الروضتين

الغربية وارتفاع ادنى نقطة في حوض الصرف تبلغ ٣٨م فوق سطح البحر. اما سمك الوحدة العلوية لتكوين الدبدبة في حوض صرف الروضتين فيبلغ ٢٠م او اكثر. كما يغطي مجرى الوديان وحوض الصرف ترسبات نهرية (Wadi Deposits) تتكون من مزيج من رمل طيني (Silty Sand) وصلبوخ بنسب متفاوتة وعادة ماتكون هذه الترسبات متماسكة جزئيا، حيث يتراوح سمكها من اكثر من ٥٠سم في مجرى الوديان واقل من ١٠سم في المناطق المرتفعة نسبيا. اما الترسبات الصلبوخية التابعة للدبدبة المتواجدة تحت الترسبات النهرية عادة تتكون من رمل وجبس وكميات متفاوتة من الصلبوخ.

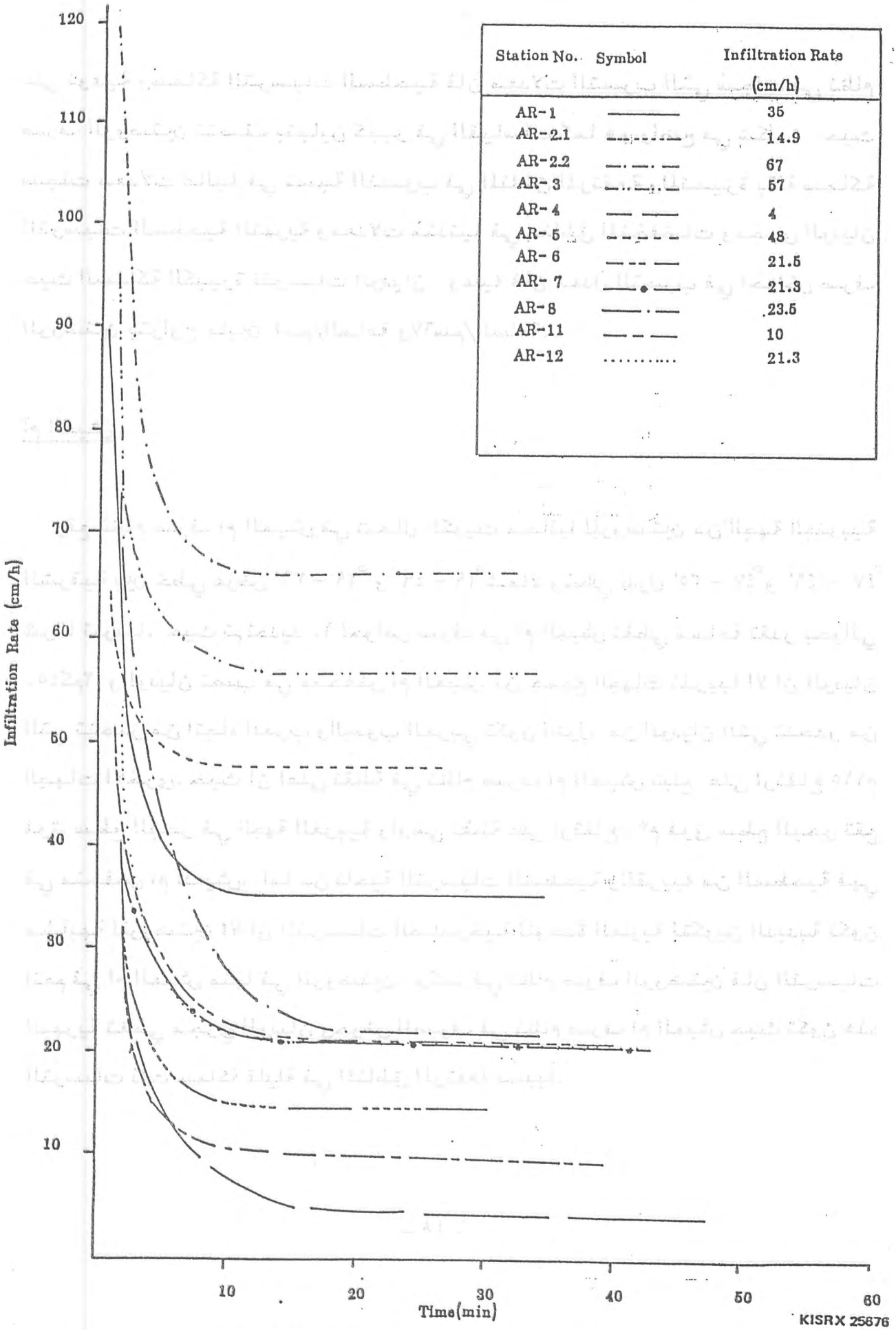
لقد تم حساب خصائص احواض الصرف التابعة للروضتين (جدول ٣) من الخريطة المبينة في شكل ٤. ومن جدول ٣ يتضح ان منخفض R-1 هو اكبر المنخفضات في الروضتين وتبلغ مساحته ٣١٠كم٢ ويكون ٤٦٪ من مجموع مساحة نظام صرف الروضتين. ومن ناحية اخرى فان منخفض R-7 في الشمال الشرقي يمثل اصغر المنخفضات بمساحة ٣ كم٢. كما يبين الجدول ان ترتيب الصرف النهري لمنخفضات الصرف في الجهة الغربية (R-1 - R-5) يكون من الرتبة الرابعة فما فوق اما في الجهة الشمالية والشرقية (R-6 - R-12) يكون من الرتبة الثالثة والثانية. من جهة اخرى فان كثافة الوديان (Du) وثابت المساحة للقنوات (C) وتذبذب القنوات (Fu) والمعدل النسيجي (Tu) للوديان في الجهة الشمالية والشمالية الشرقية (معدل الطول ٥ر٤كم) متساوية الى حد ما مع الوديان في الجهة الغربية مع ان الاخيرة اطول بكثير حيث يبلغ معدل طول هذه الوديان ٥ر٢٧كم (جدول ٣).

كما تم قياس معدل نسبة التسرب (Infiltration Rate) في ١١ محطة في نظام صرف الروضتين (شكل ٤)، ورسم منحنيات معدل التسرب لجميع المحطات ومنها تم حساب متوسط معدلات التسرب (شكل ٥). وبما ان معدل التسرب يعتمد اعتمادا كبيرا

جدول ٣: الخصائص المورفولوجية لاحواض صرف الروضتين

Symbol	R-1	R-2	R-3	R-4	R-5	R-6	R-7	R-8	R-9	R-10	R-11	R-12
U	1 2 3 4 5	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4 1 2	1 2 3	1 2 3	1 2 3 4	1 2	2 1 2 3
Nu	398 78 8 2 1	98 22 4 1	67 14 4 1	81 15 3 1	74 18 3 1	35 11 4 1 6 1	14 3 1	13 2 1	17 4 2 1	3 1	1 5 2 1
$(\Sigma N)_u$	487	125	86	100	96	51	7	18	16	24	4	8
Rb	5.10 9.75 4.2	4.46 5.5 4.0	4.79 3.5 4.0	5.40 5.0 3.0	4.12 6.0 3.0	2.92 2.19 4.0 6.00	4.67 3.0	6.50 2.0	4.25 2.0 2.6	3.0	2.5 2.00
$(\Sigma L)_u$	522.00	139.00	82.25	121.75	151.00	46.00	7.00	17.00	16.25	23.25	6.25	7.25
Au	309.00	93.12	36.31	66.70	108.50	20.04	3.24	7.50	6.82	7.96	4.58	5.40
Lb	33.50	27.00	17.25	26.75	32.75	6.35	4.25	4.60	4.85	7.25	4.88	5.38
Pu	90.00	59.50	37.00	58.25	71.00	22.00	10.00	13.75	12.25	15.50	13.25	12.25
Du	1.69	1.50	2.27	1.83	1.40	2.30	2.16	2.27	2.39	2.92	1.37	1.35
C	0.60	0.67	0.44	0.55	0.72	0.44	0.47	0.44	0.42	0.35	0.73	0.74
Fu	1.57	1.35	2.37	1.50	0.89	2.55	2.16	2.40	2.35	3.02	0.88	1.49
Tu	5.40	2.10	2.33	1.72	1.36	2.32	0.70	1.31	1.31	1.55	0.31	0.66
z	39.00	38.00	38.00	40.00	39.00	38.00	42.00	42.00	38.00	40.00	40.00	40.00
Z	136.00	105.00	92.00	102.00	112.00	62.00	62.00	65.00	63.00	60.00	50.00	49.00
H	97.00	67.00	54.00	62.00	73.00	24.00	20.00	23.00	25.00	20.00	10.00	9.00
Rh	00.003	00.002	00.003	00.002	00.002	00.004	00.005	00.005	00.005	00.003	00.002	00.002

U = Stream order
N_u = Number of streams of order U
$(\Sigma N)_u$ = Total number of streams within basin order u
Rb = Bifurcation ratio (N_u/N_{u+1})
$(\Sigma L)_u$ = Total stream length within basin of order u (km)
A_u = Area of basin (km^2)
Lb = Length of basin (km)
P_u = Basin perimeter (km)
D_u = Drainage density $(\Sigma L)_u/A_u$
C = Constant channel maintenance ($1/D_u$)
F_u = Stream frequency ($\Sigma N_u/A_u$)
T_u = Texture ratio ($\Sigma N_u/P_u$)
z = Height of basin mouth (meter)
Z = Height of highest point on watershed (meter)
H = Total basin relief (Z-z)
Rh = Relief ratio (H/Lb)



شكل ٥: منحنيات معدل التسرب في نظام صرف الروضتين

على نوعية وسماكة الترسبات السطحية فان معدلات التسرب التي سجلت في نظام صرف الروضتين تتصف بتباين كبير في القياسات كما هو واضح في شكل ٥. حيث سجلت معدلات عالية في نسبة التسرب في المناطق المرتفعة والمتميزة بقلة سماكة الترسبات السطحية النهرية ومعدلات متدنية في مناطق المنخفضات ومجرى الوديان حيث السماكة الكبيرة لترسبات الوديان. وعليه فان معدل التسرب في احواض صرف الروضتين يتراوح مابين ٤سم/الساعة و٦٧سم/الساعة.

ام العيش

يقع نظام صرف ام العيش في شمال الكويت محاذيا للروضتين من الجهة الجنوبية الشرقية بين خطي عرض '٣٦ - ٢٩° و '٤٩ - ٢٩°شمالا وخطي طول '٣٥ - ٤٧° و '٤٩ - ٤٧° شرقا تقريبا. حيث تم تحديد ١٠ احواض صرف في ام العيش تغطي مساحة تقدر بحوالي ٤٥٠كم٢. والوديان تصب في منخفض ام العيش من جميع الجهات تقريبا الا ان الوديان التي تنحدر من اتجاه الغرب والجنوب الغربي تكون اطول من الوديان التي تنحدر من الجهات الاخرى. حيث ان اعلى نقطة في نظام صرف ام العيش تبلغ على ارتفاع ١١٥م فوق سطح البحر في الجهة الغربية واوطى نقطة على ارتفاع ٣٠م فوق سطح البحر تقع في منخفض ام العيش. اما من ناحية الترسبات السطحية والقريبة من السطحية فهي مشابهة للروضتين الا ان الترسبات الصلبوخية للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة تكون انعم في ام العيش منها في الروضتين. وكما في نظام صرف الروضتين فان الترسبات النهرية تغطي مجري الوديان وحوض الصرف في نظام صرف ام العيش حيث تكون هذه الترسبات ذات سماكة قليلة في المناطق المرتفعة نسبيا.

من حساب الخصائص الجيومورفولوجية لنظام صرف ام العيش (جدول ٤) يتبين ان اكبر حوض صرف يتواجد في الجهة الجنوبية الغربية حيث يغطي مساحة ٢.٦ كم٢ تقريبا اي مايعادل ٤٦٪ من مجموع مساحة نظام صرف ام العيش. ومن ناحية اخري فان اصغر حوض صرف في ام العيش يغطى مساحة ٧كم٢ تقريبا. من الملاحظ ان احواض صرف ام العيش تتميز بتشابه كبير في الخصائص الجيومورفولوجية ماعدا حوض صرف (U-1) والذي يغطي مساحة كبيرة حيث ان اغلب الوديان تتميز بانها من المرتبة الخامسة والثالثة.

ومن قياس معدل نسبة التسرب في ٦ مواقع في نظام صرف ام العيش (شكل ٦) يتضح ان القراءات اقل تفاوتا منها في الروضتين حيث تتراوح بين ٧ و ٢٠,٥ سم/ساعة. وكما هو واضح من شكل ٦ فان القراءات المتدنية تكون في المنخفضات او الوديان.

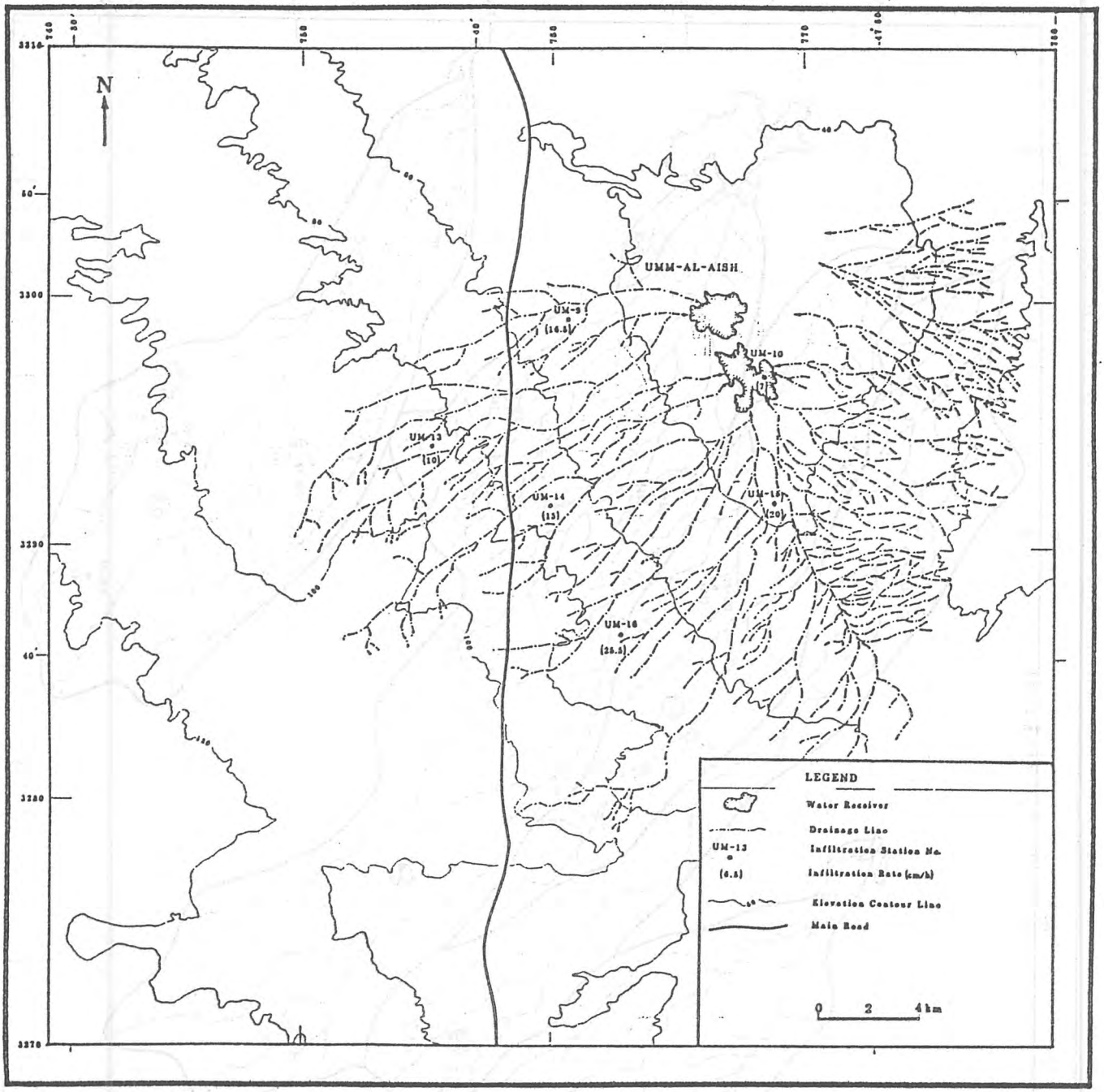
الدبدبة

يقع نظام صرف الدبدبة في الجزء الغربي من دولة الكويت حوالي ١٢كم شرق وادي الباطن بين خطي عرض '١٣ - ٢٩° و '٢٣ - ٢٩° شمالا وخطي طول '٥٦ - ٤٦° و '١٩ - ٤٧° شرقا، حيث تم تحديد ٦ احواض صرف تغطي مساحة ٢٨٠كم٢ تقريبا (شكل ٧). فقد تكونت الوديان في الترسبات الصلبوخية التابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة الا ان سمك هذه الترسبات اقل بكثير (اقل من ٨م) منها في الروضتين وام العيش شمال الكويت. حيث ان القنوات والوديان في نظام صرف الدبدبة تتجه من الجنوب الغربي الى الشمال الشرقي حيث تنتهي عند التقاء الترسبات الصلبوخية التابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة (شكل ١). وكما في الروضتين وام العيش فان الترسبات النهرية تغطي مجرى الوديان والمنخفضات في نظام صرف الدبدبة.

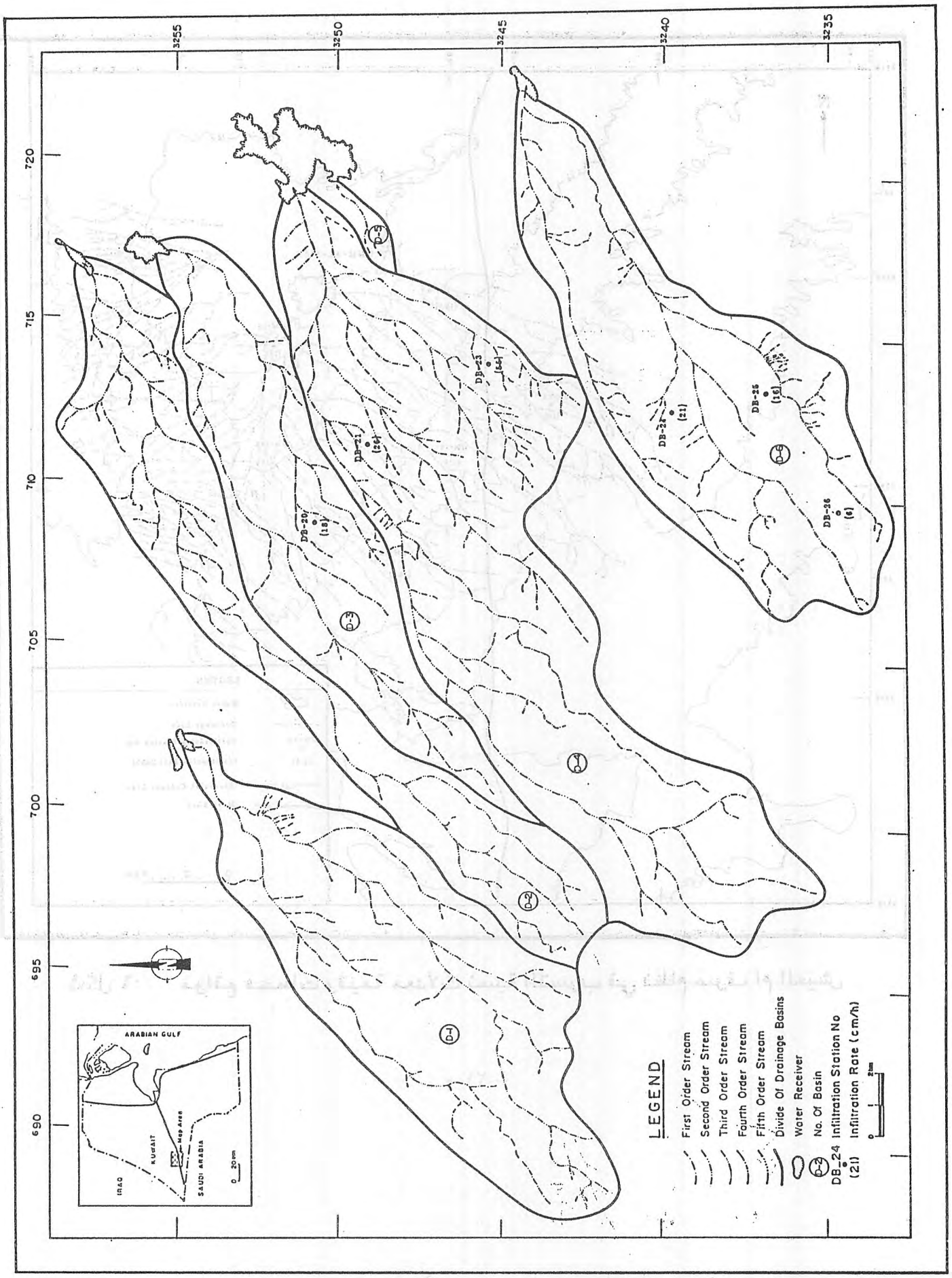
جدول ٤: الخصائص المورفولوجية لاحواض صرف ام العيش

Symbol	U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	U-7	U-8	U-9	U-10
U	1 2 3 4 5	1 2 3	1 2 3	1 2 3 4 5	1 2 3 4	1 2	1 2 3 4 5	1 2 3	1 2 3	1 2 3 4
Nu	312 73 14 3 1	22 5 1	41 7 1	193 37 5 2 1	43 10 4 1	4 1	93 26 7 3 1	27 7 1	15 3 1	55 19 4 2
$(\Sigma N)_u$	403	28	49	234	58	05.00	130	35	19	81
Rb	4.3 5.2 4.6 3.0	4.4 5.0	5.86 7.0	5.22 12.34 3.00	4.3 2.5 4.0	04.00	3.6 3.7 2.3 3.0	3.9 7.0	5.00 3.00	2.9 4.8 2.0
$(\Sigma L)_u$	349.00	21.00	47.05	161.75	50.00	11.00	95.50	22.05	20.80	92.50
Au	205.79	07.16	20.76	57.27	26.21	08.25	40.60	10.80	09.40	64.30
Lb	18.50	07.25	15.00	18.50	12.05	07.75	12.25	09.50	08.80	12.50
Pu	91.50	16.25	34.75	45.00	28.25	17.50	29.25	19.50	18.80	30.50
Du	01.70	02.94	02.29	02.83	01.91	01.30	02.35	02.08	02.21	01.44
C	00.59	00.34	00.44	00.36	00.53	00.77	00.43	00.48	00.45	00.69
Fu	01.96	03.91	02.36	04.09	02.22	00.60	03.20	03.24	02.02	01.26
Tu	04.40	01.73	01.41	05.20	02.06	00.29	04.44	01.79	01.00	02.65
z	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Z	115.00	55.00	105.00	100.00	80.00	60.00	66.00	62.00	60.00	73.00
H	85.00	25.00	75.00	70.00	50.00	30.00	36.00	32.00	30.00	43.00
Rh	00.005	00.003	00.005	00.004	00.004	00.004	00.003	00.003	00.003	00.003

Symbols as in Table .



شكل ٦: مواقع محطات وقيمة معدلات نسبة التسرب في نظام صرف ام العيش



شكل ٧: احواض الصرف في نظام صرف الدبدبة

يبين جدول ٥ المميزات الجيومورفولوجية لنظام صرف الدبدبة والتي تم حسابها من الخريطة في شكل ٧. كما يبين شكل ٧ مواقع لستة محطات ثم قياس معدل نسبة التسرب فيها ويتضح من القراءات بانها شبيهة الى حد كبير بنظام صرف الروضتين حيث تتراوح المعدلات من ٦ الى ٥٥سم/الساعة.

جدول ٥: الخصائص المورفولوجية لاحواض صرف الدبدبة

Symbol	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6
U	1 2 3 4	1 2 3	1 2 3 4	1 2 3 4 5	1 2	1 2 3 4
Nu	40 8 2 1	39 9 1	27 5 2 1	83 19 4 2 1	2 1	52 8 2 1
$(\Sigma N)_n$	51	49	35	109	3	63
Rb	5 4 2	4.34 9	5.40 2.5 2	4.37 4.75 2 2	2	6.50 4.0 2
$(\Sigma L)_u$	82.00	80.00	60.50	152.50	3.75	78.75
Au	74.90	60.00	47.40	121.20	2.60	75.30
Lb	18.75	24.00	21.00	27.50	3.75	19.50
Pu	43.50	59.00	45.00	62.50	8.50	42.50
Du	1.10	1.34	1.28	1.26	1.45	1.05
C	0.91	0.75	0.79	0.80	00.69	0.96
Fu	0.68	0.82	0.74	0.90	1.16	0.84
Tu	1.18	0.83	0.78	1.75	00.36	1.49
z	210.00	176.00	172.00	174.00	175.00	174.00
Z	250.00	233.00	231.00	244.00	190.00	236.00
H	40.00	57.00	59.00	70.00	15.00	62.00
Rh	00.002	00.002	00.003	00.003	00.004	00.003

Symbols as in Table 3.

الخلاصة

لقد تم من خلال هذا البحث دراسة الخواص الجيومورفولوجية لاحواض الصرف التابعة لكل نظام، اضافة الى تقسيم انظمة الصرف في الكويت الى ثلاثة انظمة رئيسية وعشرة انظمة اخرى ثانوية، حيث تم لهذا الغرض اعداد خرائط دقيقة بمقياس ١:٢٥٠٠٠٠ لانظمة الصرف الرئيسية وبمقياس ١:٥٠٠٠٠ لانظمة الصرف الثانوية. وتبين هذه الخرائط حدود احواض الصرف وترتيب الصرف النهري للاودية والقنوات. وانظمة الصرف الرئيسية المتمثلة بالروضتين وام العيش والدبدبة تظهر على الترسبات الرملية والصلبوخية التابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة. ويتضح من مقارنة الدراسة المورفولوجية (جدول ٦) . ان نظام صرف ام العيش يعتبر من اكثر اهمية من انظمة الصرف الرئيسية الاخرى من الناحية الهيدرولوجية، حيث تتميز احواض الصرف في هذا النظام بكثافة الوديان وكثرة عددها. وهي عادة تكون ذات ترتيب صرف نهري من الدرجة الخامسة والثالثة. اما احواض الصرف في الروضتين والدبدبة فعادة ماتكون من الدرجة الرابعة.

كما تم قياس معدل نسبة التسرب في ٣٤ محطة منها ٢٣ محطة في انظمة الصرف الرئيسية حيث اتضح ان نسبة التسرب في الترسبات السطحية لام العيش اقل من الروضتين والدبدبة وهذه ايضا ميزة جيدة من الناحية الهيدرولوجية حيث تزيد نسبة جريان الماء في الوديان. كما تبين ايضا من قياس نسبة التسرب في انظمة الصرف المختلفة (الرئيسية والثانوية) ان ترسبات الرمل والصلبوخ التابعة للوحدة العلوية لتكوين الدبدبة والترسبات الرملية لتكوين الفارس والغار تتميز باعلى نسبة من التسرب بمعدل ٢٨,٣ سم/ساعة و ٢٦,٦ سم/ساعة على التوالي. بينما تحظى ترسبات الوديان بأقل نسبة وهي ١٠,٤ سم/ساعة. اما في ترسبات الحجر الرملي الجيري التابعة للوحدة السفلية لتكوين الدبدبة وترسبات الصلبوخ والرمل الناتجة عن التعرية النهرية للدبدبة (Sheet Wash) فهي ١٧,٤ سم/ساعة (جدول ٧).

جدول ٦: ملخص لخصائص انظمة الصرف الرئيسية الثلاثة

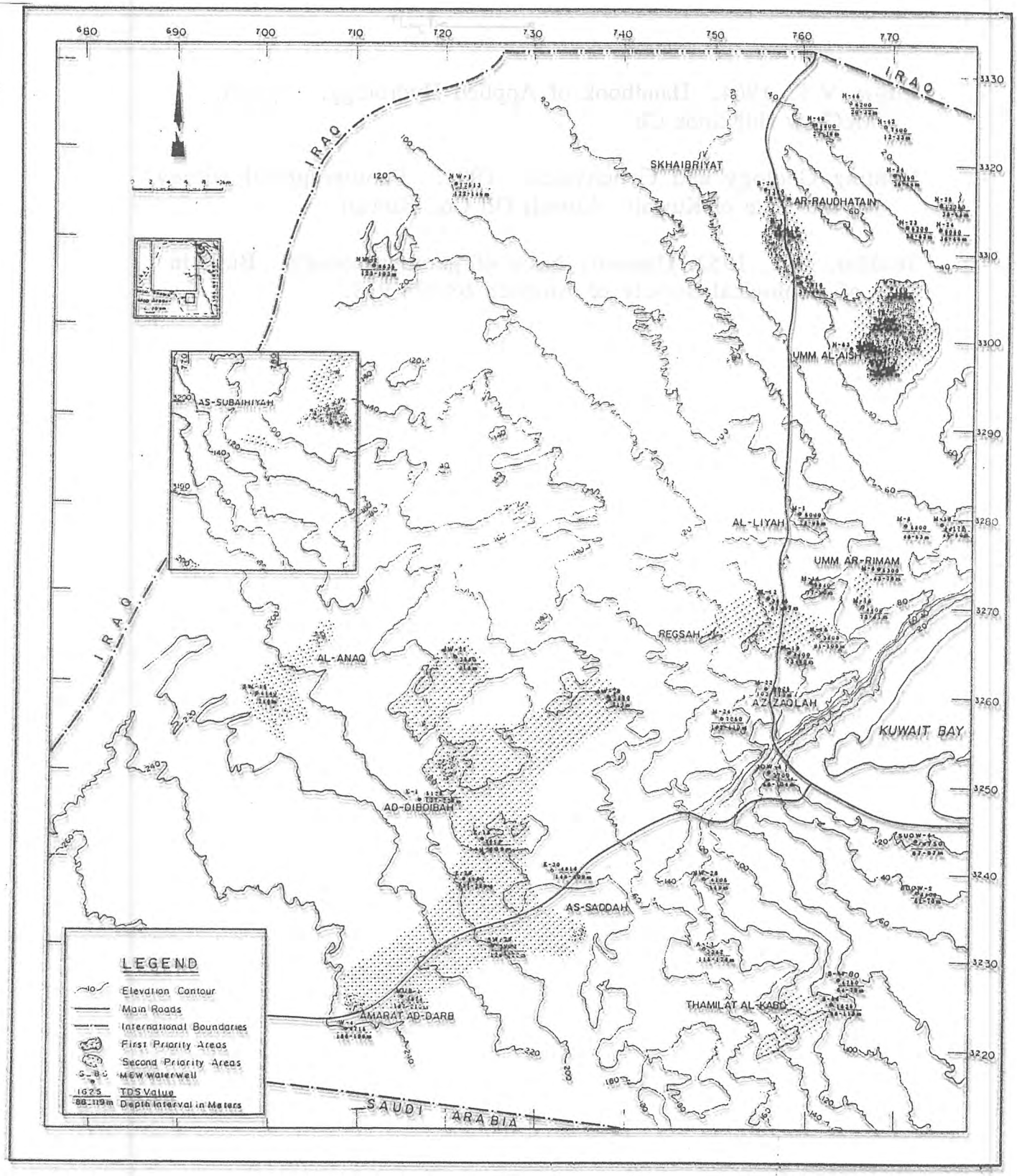
Drainage System	No. of Drainage Basins	Total Area (km^2)	Receiving Area (km^2)	Drainage Basins Order				Average Du	Average C	Average Fu	Average Tu	Infiltration Rate (cm/h)	
				No. of Second Order	No. of Third Order	No. of Fourth Order	No. of Fifth Order					Range	Average
1. Ar-Raudhatain	12	670	22	2	3	6	1	1.95	0.55	1.87	1.75	4.0-67	29.4
2. Umm Al-Aish	10	450	135	1	4	1	4	2.10	0.51	2.48	2.49	6.0-26	15.6
3. Ad-Dibdibah	6	381	8.5	1	1	3	1	1.24	0.82	0.85	1.06	7.0-55	23.6

Symbols as in Table 3.

جدول ٧: معدل نسبة التسرب في الرواسب السطحية المختلفة في الكويت

Surface Sediments	Infiltration Rate (cm/h)		
	Max.	Min.	Avg.
1. Upper member of the Dibdibah Formation (gravel and sand deposits)	67	6	28.8
2. Sheet wash deposits (fine gravel and sand)	25.5	10	17.4
3. Lower member of the Dibdibah Formation (cemented calcareous sandstone)	24.6	10.5	17.4
4. Undifferentiated Fars and Ghar Formations (friable sand)	34	16	26.6
5. Wadi deposits and depressions (silty sand)	16	4	10.4

كما تم اعداد خريطة بمقياس ١:١٠٠٠٠٠٠ تبين مواقع الآبار التي حفرت في ترسبات مجموعة الكويت ونسبة الملوحة والعمق الذي قيست منه نسبة الملوحة. وقد اتضح من مقارنة هذه البيانات مع انظمة الصرف المختلفة ان المياه الاقل ملوحة تقع في منخفضات تجمع المياه لهذه الانظمة. وعليه فقد تم اعداد خريطة بمقياس ١:١٠٠٠٠٠٠ (شكل ٨) تبين المياه الجوفية العذبة او الاقل ملوحة في الكويت وذلك كمناطق استكشاف حفر مستقبلية.



شكل ٨: مناطق استكشاف حفر مستقبلية

المراجـــــع

- Chow, V.T., 1964. Handbook of Applied Hydrology. U.S.A. McGraw Hill Book Co.

- Hunting Geology and Geophysics. 1981. Photographical survey of the State of Kuwait. Kuwait Oil Co., Kuwait

- Strahler, A.N. 1952. Dynamic basis of geomorphology. Bulletin of Geological Society of America 63:923-938.

Design, Operation and Monitoring of Slow Sand Filters as Tertiary Treatment

Shaukat Farooq and Ali Khamis Al-Yousef

DESIGN, OPERATION AND MONITORING OF SLOW SAND FILTERS AS TERTIARY TREATMENT

Shaukat Farooq* and Ali Khamis Al-Yousef
Department of Civil Engineering
King Fahd University of Petroleum & Minerals
Dhahran 31261, Saudi Arabia

ABSTRACT

Pilot scale slow sand filter study was conducted in order to determine the design criteria for slow sand filters as tertiary treatment of domestic wastewater with effective sand size of 0.56 mm. Three different depths of sand bed, i.e., 135, 105 and 55 cm were investigated to determine the operational range of the sand depth. The performance was evaluated in terms of development head losses, filtration period, and removal of turbidity, BOD, and total coliforms. The filter consistently gave excellent results with respect to removal of these parameters, i.e., 92, 89 and over 99%, respectively. The design and operation of these filters is found extremely simple, which can be easily handled by the local manpower. Therefore, the slow sand filters are recommended to be used in the Kingdom as an effective means of a tertiary treatment of secondary effluents.

---

* Address for correspondence:

KFUPM Box No. 1768
King Fahd University of Petroleum & Minerals
Dhahran 31261, Saudi Arabia

INTRODUCTION

Slow-rate sand filtration is a passive filtration process, subject to very little control by an operator. There is no addition of chemicals or backwashing. The effective sand sizes range from 0.15 to 0.35 mm with a uniformity coefficient less than 2. The depth of the sand bed ranges from 60 to 120 cm and is supported by 30 to 50 cm of graded gravel. Drain tiles are placed at the bottom of the gravel support to collect the filtered water. Hydraulic loading rates range from 0.04 to 0.40 m hr^{-1}.

During operation, biological growth occurs within the sand bed and within the gravel support. Also, a layer of inert deposits and biological material, called the schmutzdecke, forms on the surface of the bed. Both the schmutzdecke and the biological growth within the bed have important roles in the effectiveness of slow-rate sand filtration. They may require weeks or months to develop.

Operation of a slow-rate sand filter requires two periodic tasks: (i) removal of the schmutzdecke, and (ii) replacement of the sand. The schmutzdecke is removed when the head loss exceeds the designed value, which may range from 1 to 2 m. After the filter is drained, the schmutzdecke is removed by scraping about 2 cm from the surface of the sand bed. The interval between scrapings depends on the contaminants present in the raw water and the hydraulic loading rate. Since operating expenses are affected by the frequency of cleaning, pilot testing is advisable to ascertain this important operating parameter.

Sand replacement is necessary after repetitive scrapings have reduced the sand bed to its lowest acceptable depth. The recommended method of replacing sand is to remove all of the remaining sand down to the gravel support layer, put in a new sand to one half of the designed depth, then place the sand previously removed on top of the new sand. This procedure places clean sand in the bottom half of the filter bed and the biologically active

sand in the top half. This method of resanding provides for a complete exchange of sand over time and thus prevents any excessive accumulation of silt that could clog the filter bed [1].

The objective of this paper is to evaluate local sand with effective size (ES) = 0.56 mm, and uniformity coefficient (UC) = 1.64 at different sand depths, i.e., 135, 105 and 55 cm to determine the treatment efficiency of slow sand filtration as a tertiary treatment of secondary wastewater effluent and to develop the design parameters at the same time. A thorough literature search is also conducted with respect to the design procedures of the slow sand filters.

Construction Features of Slow Sand Filter

Filter Box

The filter box is usually rectangular or cylindrical in shape and has vertical walls over 3 m in height. The most common materials used for construction are reinforced concrete or steel and its floor is made of concrete. The filter box essentially serves as the housing for three sections, viz., under drainage, gravel, and sand of which only the sand has direct role to play in the purification.

Underdrainage

The underdrainage system plays an important role in providing an unobstructed passage way for the treated water to leave the underside of the filter. The underdrains take various forms such as, bricks carefully laid to form channels, perforated pipes, and porous concrete covering drains [2]. One layer of 10-20 cm thickness would be sufficient for bricks with 10 mm openings between adjacent bricks [3].

Gravel

To prevent the filter material from entering and blocking the underdrainage system,

a series of graded gravel layers can be used. The under layer of coarse size should be large enough to keep the openings in the filter bottom free; and the upper layer so fine that the overlying filter sand will not sink into its pores.

Filter Bed

Although various materials have been introduced as a filter bed in slow sand filters, sand is the most pronounced. The sand is characterized by its effective size, which is defined as the diameter for which 10% of the sand is finer by weight (D_{10}), and its uniformity coefficient, which is defined as the ratio of (D_{60})/(D_{10}).

Sand Size

The filter sand through which the water is passed should be free from clay, loam and organic matter; if necessary, the sand should be washed. Some degree of uniformity is desirable in order to ensure reasonable pore sizes and a sufficient porosity, by sieving out the particles which are too small or too large [2]. Sand with an effective size (D_{10}) about 0.2 mm and a coefficient of uniformity (UC) less than 3 is normally selected. When such sand is not available a coefficient of uniformity up to 5 may be accepted. An effective size of the sand ranging from 0.15 to 0.35 mm has been used in design of slow sand filters for treating the drinking waters. Builder's grade sand often satisfies these requirements [3]. Ellis [4] used two different sizes of sand (D_{10}) =0.30 mm UC =2.0; (D_{10}) =0.60 mm UC =1.2 for the treatment of secondary effluent. Those sizes of sand gave excellent quality for the effluent for reuse.

Sand Depth

In practice, it has been found that the full bacterial activity extends over a depth of about 60 mm of filter bed so that the effective bed thickness should not be less than 70 cm. Therefore, the initial bed thickness should be 30-50 cm more than 70 cm with initial overall

thickness of 100-120 cm, to allow for a number of filter scrappings before resanding [3] when the filter bed is reduced to 70 to 100 cm than it be resanded to the original depth of 100-120 cm.

The Water Reservoir

The depth of water over the filter bed usually is kept at about 100 to 150 cm. it provides a pressure or head of water, to drive the water through the fine spaces in the sand and to overcome resistance in other parts of the system. Also it provides a storage period since each drop of water entering the filter stays several hours in the supernatant water layer before it reaches the sand surface [2,5].

Cleaning the Filter Bed

Cleaning should be conducted immediately following termination of the filtration cycle, otherwise if the filter is kept for a few days without cleaning, the overall effectiveness of the filter regarding contaminant removal will be adversely affected. In particular, significant deterioration of the bacteriological quality of the filtered water due to sloughing of these bacteria with the filter effluent could occur.

Resanding

Sand replacement is necessary after repetitive scrapings which will reduce the sand bed to its lowest acceptable depth. Approximately, the top 20-30 cm of the sand bed will be removed and kept at one side. After that, the filter will be refilled with new sand to a level 20-30 cm below the maximum sand bed depth. After that, the sand kept at one side will be added on the top of the new sand. This method is expected to reduce the time of schmutzdecke formation since it contains all the organisms needed for proper biochemical functioning [3,5].

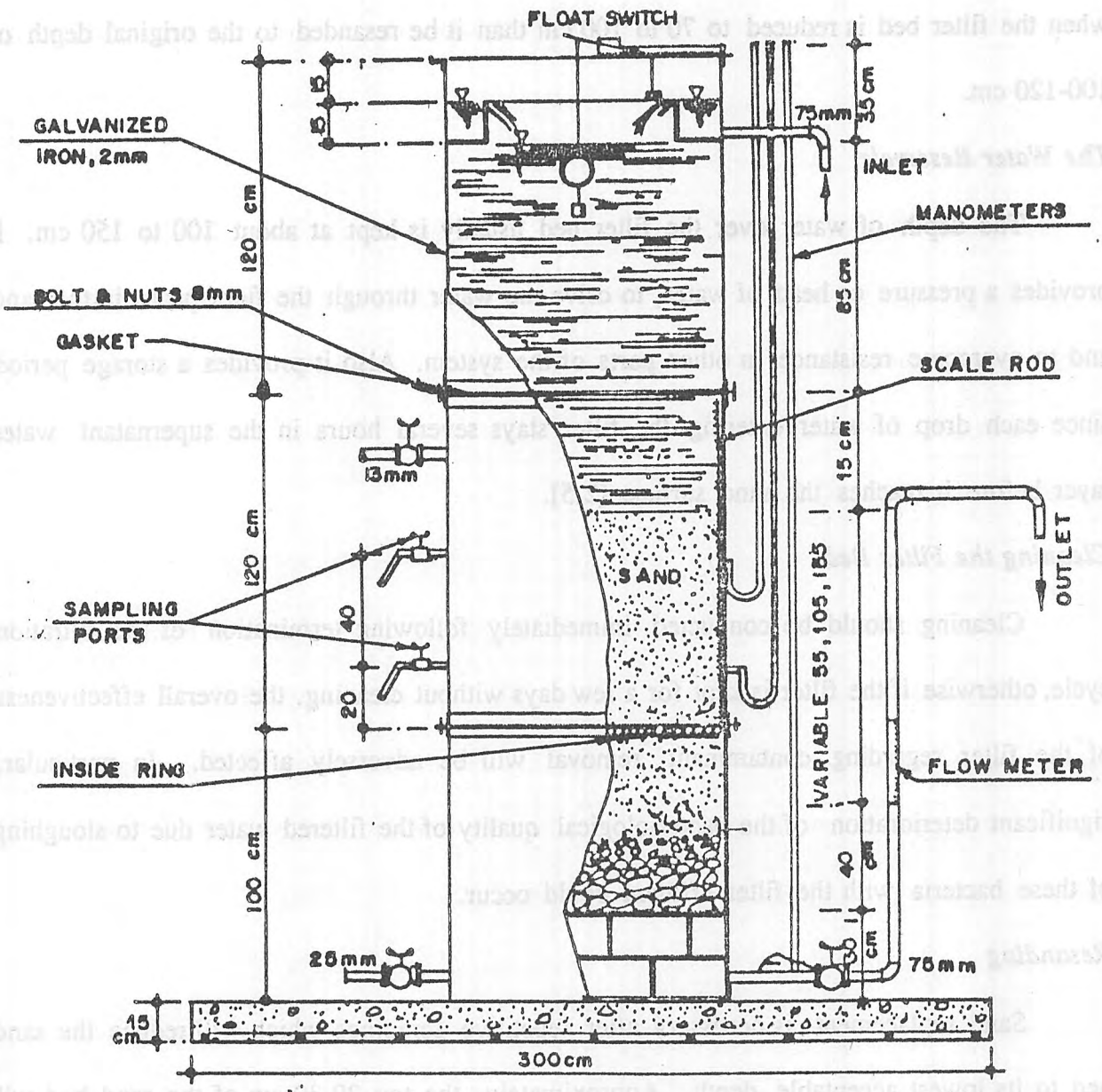


Figure 1. Pilot Filter Unit

Element	Selected, cm	Recommended, cm [6,7,8]
Freeboard	15	20
Supernatant Water	120	100-150
Sand (Initial)	135*	38-183
Supporting Gravel	40	10-50
Underdrains	30	20-30
Total	340	-----

Remark: *initial depth of sand when routine runs started

Table 1. Depth of Filter Unit Elements

Layer	Depth (cm)	Size (mm)
Top	5	0.85-2.0
Second	5	2.4-4.0
Third	10	5.0-12.5
Bottom	20	12.5-25.0

Table 2. Depth and Size of Gravel Layers

Depth of sand (cm)	Total head of water above sand	Total actual head loss (cm)		
		Outlet	Middle	Top
135	120	6.5	6.1	5.7
105	150	33.4	30.2	28.7
55	200	198.2	192.1	*

* This port becomes non-functional when sand depth reduces below 90 cm.

Table 3. Total Available Head and Actual Head Loss at the Termination of the Filter Runs.

MATERIALS AND METHODS

The wastewater has been taken from extended aeration treatment plant of North Aramco, which yields a high quality secondary effluent. An operational pipeline conveys secondary effluent from the plant to the King Fahd University of Petroleum & Minerals. This effluent is stored for a week in a reservoir for further treatment due to exposure to sunlight, and later applied to the filter. The pilot-scale filter consist of three 2 mm galvanized iron sheets. Each sheet has been welded to form a hollow cylinder with an inside diameter of 100 cm. The cylinders have been connected to each other with angles using bolts and nuts. Manometers and sampling ports have been provided on the middle cylinder. An overflow weir has been mounted to the top cylinder to have a uniform and steady inflow. A float switch has been fixed at the top cylinder to start and stop the inlet pump so as to keep a constant water level above the sand bed. Outlet and drain valves have been provided to the filter. Figure 1 shows the description of the filter unit and its auxiliaries.

Depth of various elements of filter unit are summarized in Table 1. The underdrain system consisting of open joint bricks 30 cm (in height) have been laid in a grid with 1 cm openings between adjacent blocks. The supporting gravel has been laid in 4 layers to a depth of 40 cm. Table 2 shows the depth and size distribution of each layer. Local sand with ES of 0.56 mm, UC = 1.64 has been used in this study with sand depth of 135, 105 and 55 cm. Wastewater effluent at a flow rate of 2.88 $m^3\ d^{-1}$ is applied to the filter, giving a hydraulic loading of 0.16 m hr^{-1}. This hydraulic loading has been selected according to Al-Adham [9] study, who suggested that 0.16 m hr^{-1} is a suitable hydraulic loading for the design of slow sand filtration in the Kingdom after investigating three hydraulic loadings, i.e., 0.08, 0.16, and 0.24 m hr^{-1} corresponding to flow rates of 1.0, 2.0 and 3.0 ℓ min^{-1}, respectively.

RESULTS AND DISCUSSION

Since slow sand filter is a highly biologically active unit, it is not possible to consider operating a filter freshly filled with a clean sand with the expectancy of achieving a highly purified filtrate immediately [10]. The biological conditions governing the effectiveness of the filter are, the degree of schmutzdecke formation, and the microbiological maturity of the sand bed [1]. To some extent, the process of maturation will involve the development of the correct balance of electrostatic charges on the individual grains of sand [10].

The filter was operated for eight weeks in preliminary mode to achieve the steady state condition prior to operating the filter in regular mode. Fox et al. [11] suggested about 30 days to bring particulate and bacterial counts of the effluent down to a consistent level. However, sufficient turbidity was removed from the very start of the preliminary run. The effluent turbidity was less than 0.2 NTU in 53% of the samples analyzed, while the remaining 47% samples gave turbidity in the range of 0.21 to 0.4 NTU. The total numbers of samples analyzed were 32. The breakthrough with respect to flow rate was not reached even after 56 days operation of the filter. The results of preliminary phase show that the maturation of the filter with respect to the removal of turbidity is established from very start of the filter operation. On the other hand, the percent removals of total coliform bacteria, BOD and COD were low and erratic at the start of the experiment but later improved and stabilized as shown in Figure 2. A statistical analysis performed on the removal data of coliform has shown that 17.65% of the filter samples analyzed had coliforms in the range of 2 to 4 MPN 100 ml^{-1}, 17.65% of the samples in the range of 5-9 MPN 100 ml^{-1}, while the remaining 64.71% of the samples gave total coliform in the range of 11 to 110 MPN 100 ml^{-1}.

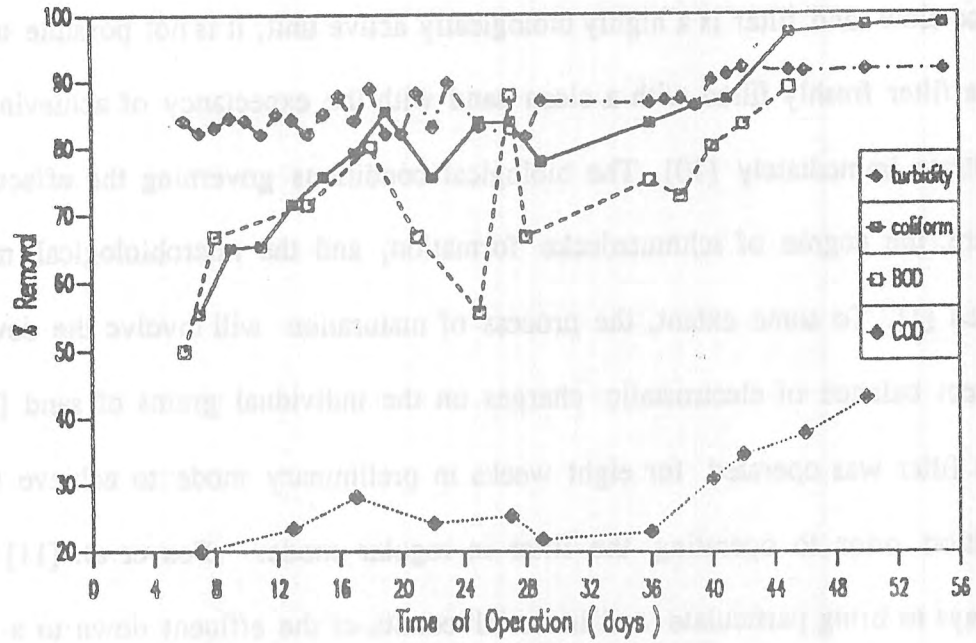


Figure 2. Removal of Different Pollutants Through Sand Bed of 140 cm

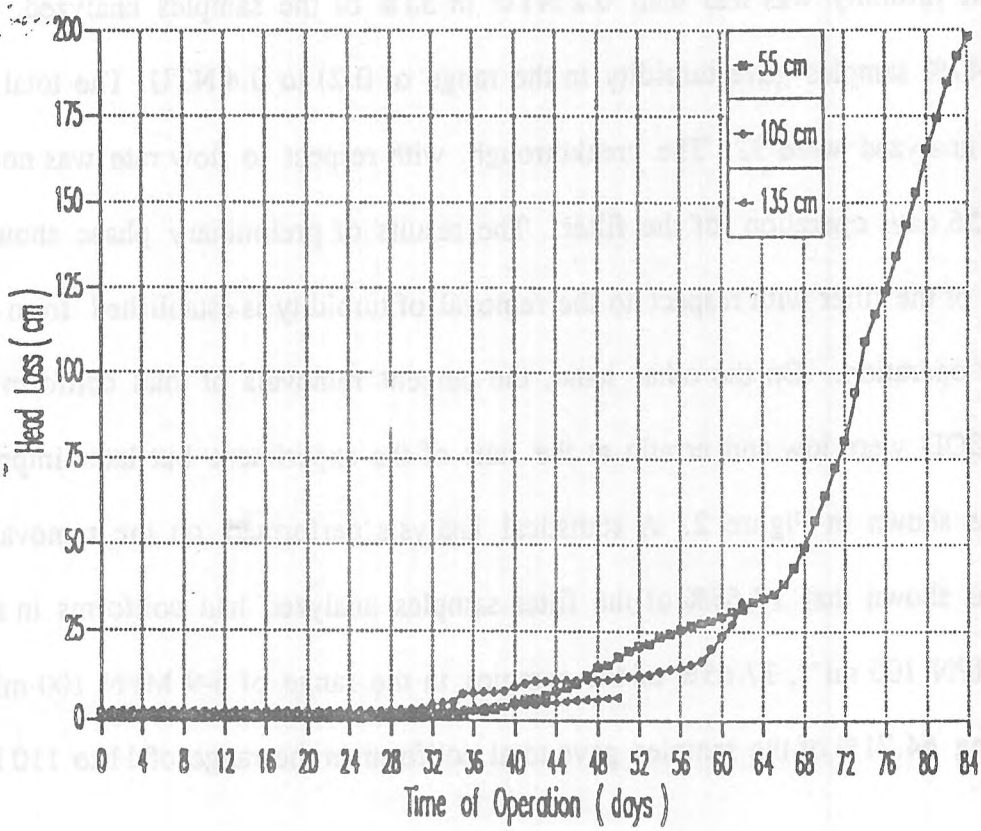


Figure 3. Head Loss Development Pattern at Various Sand Depths

Head Loss

A typical head loss build up as recorded at the outlet manometers throughout the study at the three depths is illustrated in Figure 3. The head loss is equal to the vertical distance between the surface of the water on the filter and the water level in the manometer [12]. The head losses at sand depths of 135 and 105 cm were small, i.e., 6.5 and 33.4 cm as compared to the available head of 120 and 150 cm, respectively. Filter operations were terminated prematurely after 50 and 62 days of operation without breakthrough in cases of 135 and 105 cm, respectively. This was necessitated due to shortage of time. The head loss at sand depth of 55 cm reached the breakthrough after 84 days. The development of head loss at sand depth of 55 cm has followed an exponential pattern. This agrees with what has been stated in the literature (Cleasby et al. [13]) that the development of head loss in slow sand filters always followed an exponential pattern. Most of the head loss has been due to the top layer as indicated by the small difference in head loss between the top manometer and the outlet manometer compared to the total head loss.

Table 3 gives the values of available head and the actual termination head losses as recorded at the manometers throughout the study. In this study, the available head has increased as the depth of the sand bed decreased. The terminal head losses are found to be very small, i.e. 6.5 cm and 33.4 cm for bed depths of 135 and 105 cm after 50 and 62 days operation of the filter, respectively (Figure 3). The clean bed head losses recorded at the outlet manometer have been compared with the values calculated by Fair and Hatch equation as follows:

$$h/l = \frac{36\ kv(1-n)^2\ V}{gn^3w^2} \sum \frac{P_i}{d_i^2}$$

where

h/ℓ = head loss per unit depth of filter bed, m/m

k = empirical constant equal to 5.0, dimensionless

ν = kinematic viscosity, $m^2/2$

n = porosity, dimensionless

V = filtration velocity, m/s

g = gravitational acceleration, m/s^2

w = operating of grains (0.8 for rounded and 0.7 for angular)

P_i = fraction of total weight of filter grains in layer i, dimensionless

d_i = geometric mean diameter of grains in layer i, m

The total head losses as calculated in the clean bed for sand depths of 135, 105, and 55 cm are given in Fig. 4. The values employed for various parameters in the equation are: $k = 5.0$, $\nu = 0.729 \times 10^{-6} m^2/s$ at 35°C; $n = 0.31$; $V = 4.244 \times 10^{-5} m/s$; $g = 0.81\ m/s^2$; $w = 0.75$; and $\sum \frac{P_i}{d_i^2} = 4.964 \times 10^{-6}\ m^2$. The values of d_i are taken from Fig. 5.

The actual clean bed head loss is the difference between the water level in the outlet manometer before the opening of the outlet valve and immediately after its opening to the specific hydraulic loading of 0.16 m/hr. Fig. 4 shows the close agreement between the values of the clean bed head losses as calculated by the Fair and Hatch equation and as experimentally determined values at the outlet manometer throughout the routine runs.

In general, the length of operations throughout the study are superior to what has been reported by Ellis [4] i.e.,20 days for secondary effluent using effective sand size of 0.60 mm and with hydraulic loading of 0.15 m hr^{-1}.

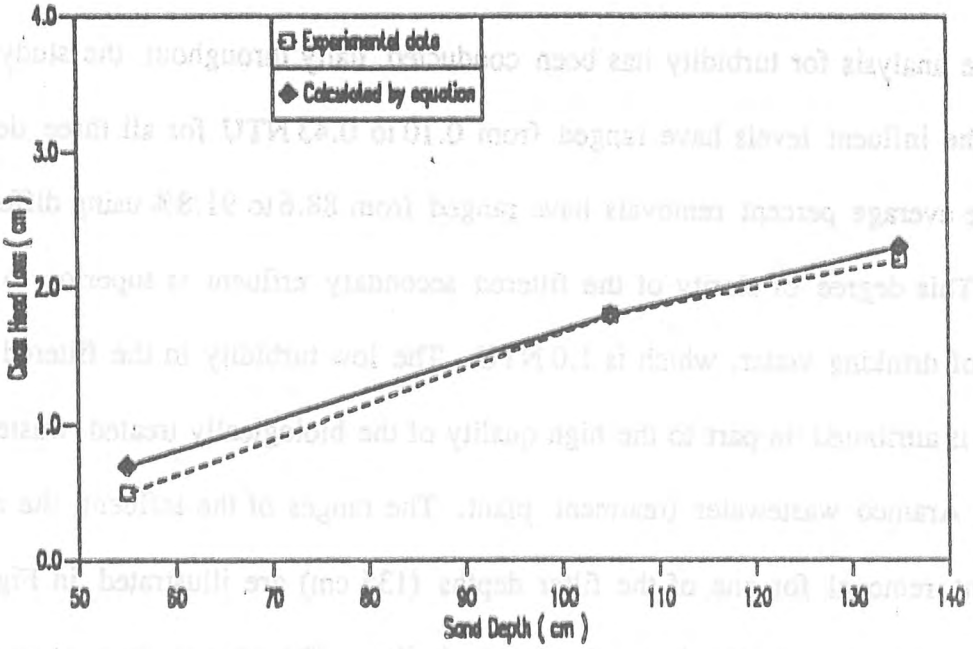


Figure 4 . Clean Bed Head Loss

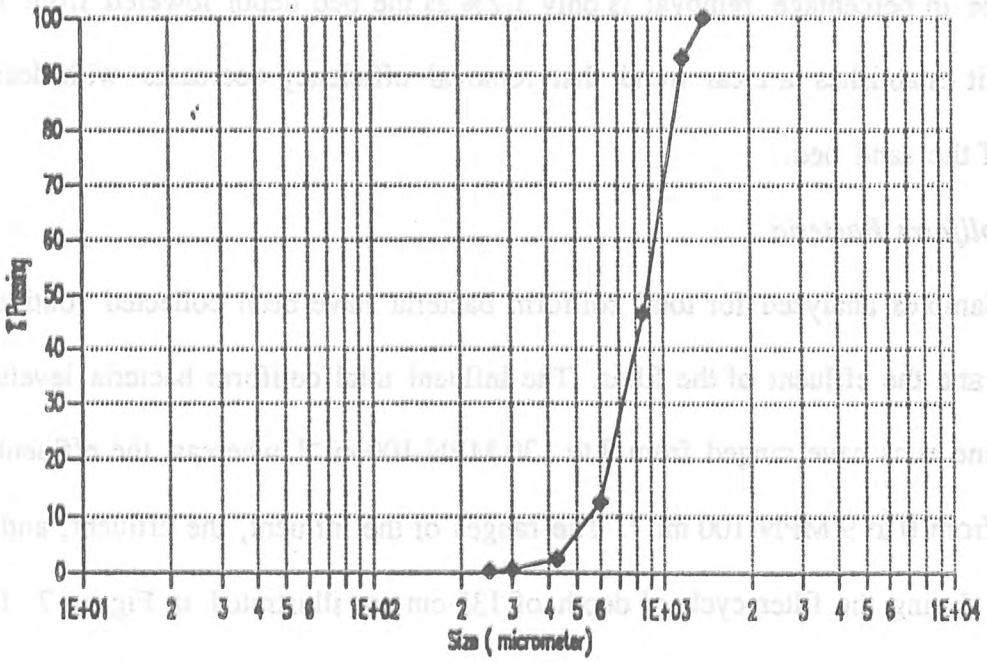


Figure 5. Gradation Curve for Sand Investigated

Turbidity

The analysis for turbidity has been conducted daily throughout the study. Turbidity levels in the influent levels have ranged from 0.10 to 0.43 NTU for all three depths of the filter. The average percent removals have ranged from 88.6 to 91.8% using different depths of sand. This degree of clarity of the filtered secondary effluent is superior to the quality required of drinking water, which is 1.0 NTU. The low turbidity in the filtered effluent of this study is attributed in part to the high quality of the biologically treated wastewater from the North Aramco wastewater treatment plant. The ranges of the influent, the effluent and the percent removal for one of the filter depths (135 cm) are illustrated in Figure 6. The results for other two depths have also been similar. The change in percent removal of turbidity shows that percent removal decreases from 91.8% to 89.1% to 88.6% as the depth of the sand is reduced from 135 cm to 105 cm to 55 cm, respectively. Although the net difference in percentage removal is only 3.2% as the bed depth lowered from 135 cm to 55 cm, yet it establishes a clear trend that removal efficiency decreases with decrease in the depth of the sand bed.

Total Coliform Bacteria

Samples analyzed for total coliform bacteria have been collected routinely from the influent and the effluent of the filter. The influent total coliform bacteria levels throughout the routine runs have ranged from 8 to 130 MPN 100 ml^{-1}, whereas, the effluent levels have ranged from 0 to 9 MPN 100 ml^{-1}. The ranges of the influent, the effluent, and the percent removal during the filter cycle of depth of 135 cm are illustrated in Figure 7. It also shows that the removal efficiency is much higher, i.e., over 90% as compared to preliminary run. This means that the filter bed has been fully matured. This observation is a confirmation of the widely quoted statement "biological activity within the sand bed has the strongest

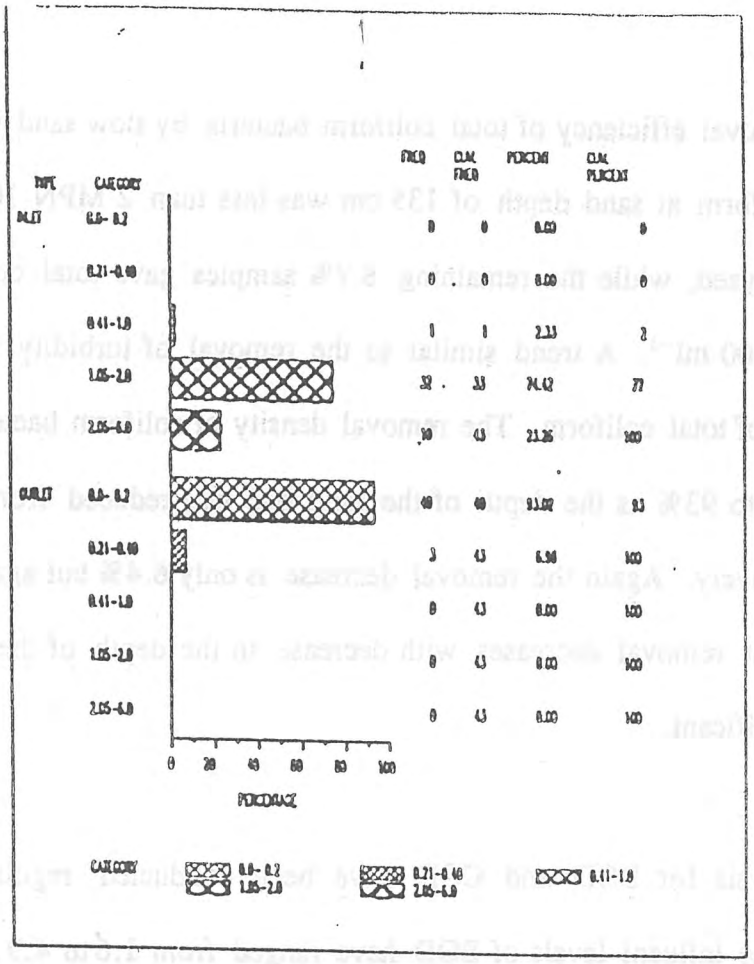


Figure 6. Removal of Turbidity Through Sand Bed of 135 cm

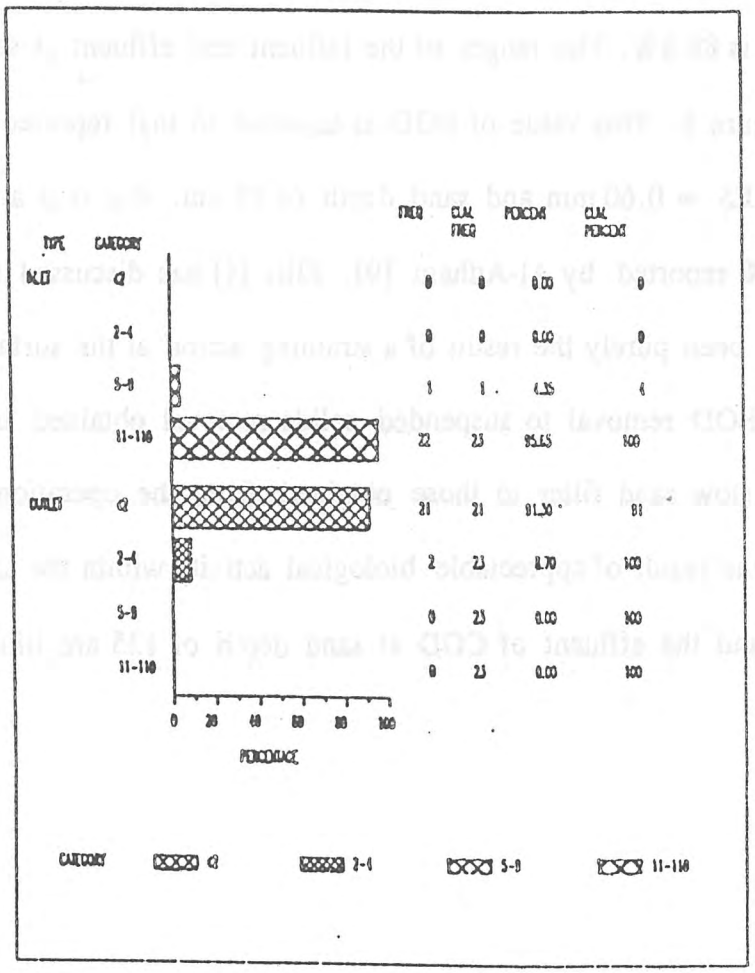


Figure 7. Removal of Coliform Through Sand Bed of 135 cm

influence on removal efficiency of total coliform bacteria by slow sand filtration" [14]. The filtrate total coliform at sand depth of 135 cm was less than 2 MPN 100 ml^{-1} in 91.3% of the samples analyzed, while the remaining 8.7% samples gave total coliform in the range of 2 to 4 MPN 100 ml^{-1}. A trend similar to the removal of turbidity was observed in the case of removal of total coliform. The removal density of coliform bacteria decreased from 99.4% to 97.3% to 93% as the depth of the sand bed was reduced from 135 cm to 105 cm to 55 cm, respectively. Again the removal decrease is only 6.4% but again it establishes the trend that percent removal decreases with decrease in the depth of the sand bed. But this effect is not significant.

Organic Matter

The analysis for BOD and COD have been conducted regularly throughout the routine runs. The influent levels of BOD have ranged from 1.6 to 4.9 mg ℓ^{-1}, whereas the effluent levels have ranged from 0.2 to 0.9 mg ℓ^{-1}. The average percent removal at sand depth of 135 cm is 88.8%. The ranges of the influent and effluent at sand depth of 135 are illustrated in Figure 8. This value of BOD is superior to that reported by Ellis [4] of 76% for sand size of ES = 0.60 mm and sand depth of 95 cm. But it is almost comparable to the value of 86% reported by Al-Adham [9]. Ellis [4] has discussed that the purification achieved has not been purely the result of a straining action at the surface of the filter. The higher ratios of BOD removal to suspended solids removal obtained in the study from the operations of a slow sand filter to those obtained from the operations of microstrainers must have been the result of appreciable biological activity within the sand bed. The ranges of the influent, and the effluent of COD at sand depth of 135 are illustrated in Figure 9.

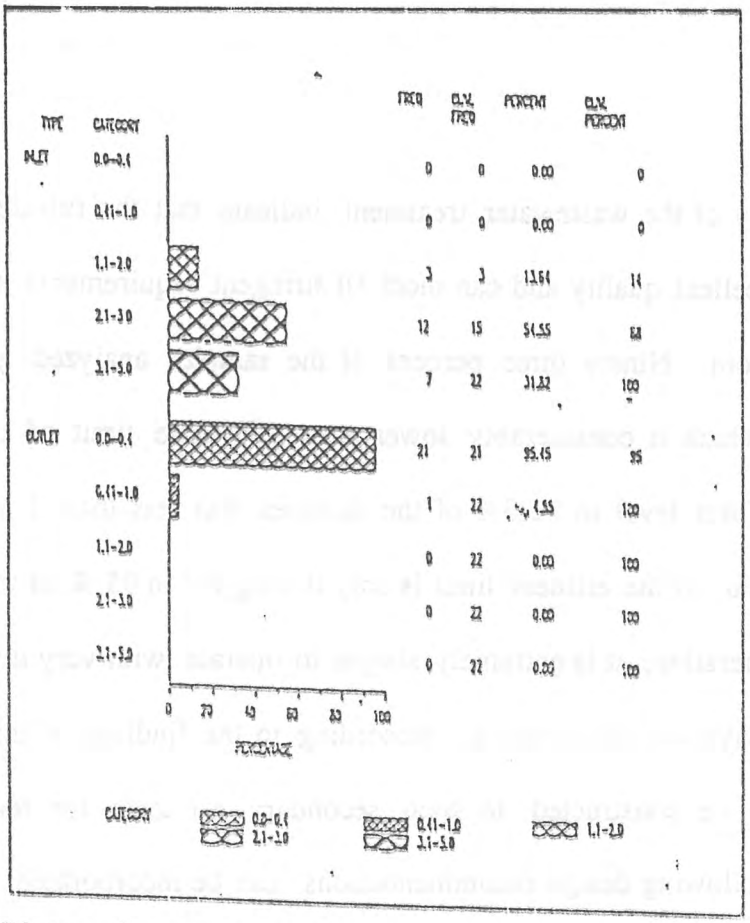


Figure 8. Removal of BOD Through Sand Bed of 135 cm

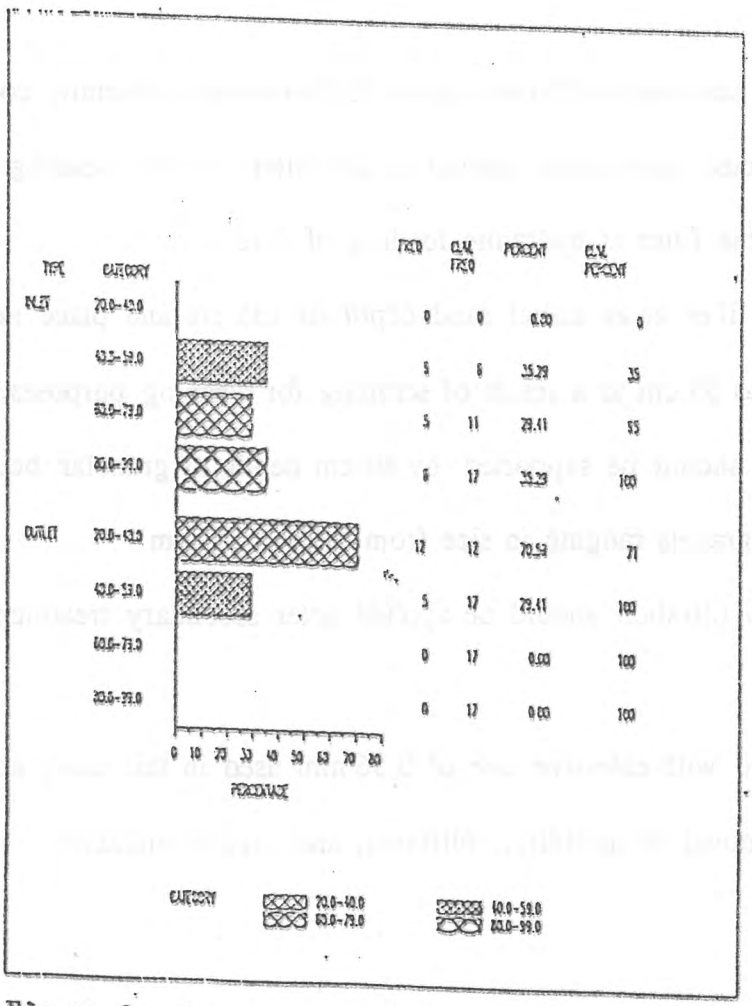


Figure 9. Removal of COD Through Sand Bed of 135 cm

APPLICATION

A summary of the wastewater treatment indicate that the filtrate from the slow sand filtration is of excellent quality and can meet all stringent requirements for wastewater reuse within the Kingdom. Ninety three percent of the samples analyzed gave turbidity of less than 0.2 NTU, which is considerably lower than allowable limit of 1.0 NTU in drinking water. The coliform level in 91.3% of the samples was less than 2 MPN 100 ml^{-1}. The BOD concentration of the effluent limit is only 0.4 mg ℓ^{-1} in 95 % of the samples analyzed. Regarding the operation, it is extremely simple to operate with very little maintenance and can operate 84 days without cleaning. According to the findings of this research, the slow sand filter could be constructed to treat secondary effluents for reuse purposes in the Kingdom. The following design recommendations can be incorporated to produce the most efficient slow sand filtration system for tertiary treatment of the secondary wastewater effluent.

* Use local sand with effective size of 0.56 mm and uniformity coefficient of 2 or less. The expected operational period of the filter without cleaning would be 84 days.
* Operate the filter at hydraulic loading of 0.16 m hr^{-1}.
* Start the filter at an initial sand depth of 135 cm and place new sand when depth reduced to 55 cm as a result of scraping for cleaning purposes.
* The sand should be supported by 40 cm depth of granular bed comprising of four layers of gravels ranging in size from 0.85 to 25 mm.
* Slow sand filtration should be applied after secondary treatment.

CONCLUSION

1. Local sand with effective size of 0.56 mm used in this study appear to be effective in the removal of turbidity, coliforms, and organic matters.

2. The filter reached the breakthrough after 84 days of operation, i.e., filter would need cleaning only after 84 days.

3. The removal of turbidity. BOD, COD, and coliform were 92, 89, 48, and over 99%, respectively.

4. The recommended depth of the gravel bed is 40 cm, comprised of 4 layers of different sizes of gravels ranging from 0.85 to 25 mm.

5. The process of slow sand filtration appears to be extremely simple with no complication. Local manpower could easily handle the design and operation of these filters.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to the Department of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, for providing all necessary facilities to conduct this study.

REFERENCES

[1] Bellamy, W. D., Silverman, G. P., Hendricks, D. W., and Logsdon, G. S., "Removing Giardia Cysts with Slow Sand Filtration", Journal AWWA, 77(2) 1985, p.52.

[2] "Guidelines for Operation and Maintenance of Slow Sand Filtration Plant in Rural Areas of Developing Countries", IRC Research & Demonstration Project on Slow Sand Filtration, Rijswijk, The Netherlands, January 1983.

[3] "Slow Sand Filtration: Small Community Water Supplies", IRC for Community Water Supply and Sanitation, The Hague, The Netherlands, 1983.

[4] Ellis, K. V., "Slow Sand Filtration as a Technique for the Tertiary Treatment of Municipal Sewage", Water Research, 21(4) 1987, p.403.

[5] Huisman, L., and Wood, W. E., "Slow Sand Filtration", World health Organization,

Geneva, 1974.

[6]. Hansen, S. P., "Filtration Technologies for Water Treatment", Water Engineering and Management, August 1988, p. 16.

[7] Schulz, C. R., and Okun, D. A., "Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries", Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, New York, 1984.

[8] Stezak, L. A., and Sims, R. C., "The Application and Effectiveness of Slow Sand Filtration in the United States", Journal AWWA, 76(12) 1984, p.38.

[9] Al-Adham, S. S., "Tertiary Treatment of Municipal Sewage Via Slow Sand Filtration", M.S. Thesis Presented at King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, Saudi Arabia, June, 1989.

[10] Ellis, K. V., "Slow Sand Filtration", CRC Critical Review in Environmental Control, 15(4) 1985, p.315.

[11] Fox, K. R., Miltner, R. J., Logsdon, G. S., Dicks, D. L., and Drolet, L. F., "Pilot Plant Studies of Slow Rate Filtration", Journal, AWWA, 76(12) 1984, p.62.

[12] Monk, R. D. G., "Improved Methods of Designing Filter Boxes", Journal, AWWA, 76(8) 1984, p.54.

[13] Cleasby, J. L., Hilmoe, D. J., and Dimitracopoulos, C. J., "Slow Sand and Direct In-Line Filtration of a Surface Water", Journal, AWWA, 76(12) 1984, p.44.

[14] Bellamy, W. D., Hendricks, D. W., and Logsdon, G. S., "Slow Sand Filtration Influences of Selected process Variables", Journal AWWA, 77(12) 1985, p.62.

ASPECTS OF ENVIRONMENTAL ISOTOPE HYDROGEOLOGY OF THE UNITED ARAB EMIRATES

T. Akiti‡ and R. Gonfiantini†
International Atomic Energy Agency
Vienna, Austria.

Amina Kulaib
Ministry of Electricity and Water
Dubai, United Arab Emirates.

‡Fellowships and Training Section, †Isotope Hydrology Section.

ABSTRACT Isotope hydrogeological studies have been undertaken in the United Arab Emirates to determine the origin of recharge, relationship between different aquifers, movement and residence time of the groundwaters.The environmental isotopes analysed were,oxygen-18,deuterium, tritium, and carbon-14 with carbon-13. Some chemical analysis were also made.The groundwaters are recharged by direct infiltration of rainfall through joints and fractures in the Central Mountains and by way of wadi beds.The different hydrogeological systems have characteristic isotopic compositions which change from depleted stable isotope compositions from the Central Mountains to highly enriched values in the sand dune aquifers.The origin of recharge of the different aquifers is discussed in the context of the regional hydrogeology.

INTRODUCTION

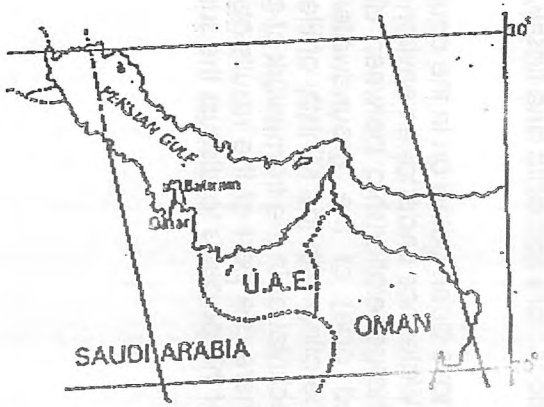
The United Arab Emirates is one of the most arid countries in the world and thus water is of great importance for the development of the country.It has an area of 77,770 km², and is located between the Arabian Gulf and the Gulf of Oman,and between longitudes 51° and 56° 21' East and between latitudes 22° 31' and 26° 05' North. The country is made up of the Emirates of Abu Dhabi,Dubai,Sharjah,Ras-Al-Khaimah,Umm-Al-Quwain,Ajman and Fujairah.(Fig.1)

Geomorphologically,the country can be divided into the Sandy desert,Middle plain,Central mountains and the High Mountain peaks.The average altitude of the High Mountains is 1000 metres above mean sea level and rising to 2000 metres above mean sea level.

The mean annual temperature of the country is 23.9°C.The average annual precipitation is 100mm and decreases from the high values on the Central Mountains to 40mm at Abu Dhabi.The average potential evaporation is 10.5 mm per day.The relative humidity varies from a minimum of 29% to a high of 86%.There are no perennial rivers and floods are sporadic and flashy,lasting only for a few hours.

In recent years,groundwater exploration and exploitation have been going on in the country for agricultural and human use.The Ministry of Electricity and Water,has undertaken environmental isotope studies in order to determine, the origin of recharge,relationship between different aquifers,movement and residence time (dynamics and age) of the groundwaters. The International Atomic Energy Agency (IAEA),has been cooperating with the Ministry of Electricity and Water,Dubai,in the use of the environmental isotope techniques in the framework of an IAEA technical cooperation (TC) project.The results presented here are part of the results obtained during the execution of the IAEA TC project.The objective of this paper is to discuss the summary of the the results from the different hydrgeological systems.

LOCATION AND GEOLOGIC MAP



LEGEND
- Neogene Limestones
- Permian-Cretaceous Limestones
- Hawasina sediments and Ophiolites

1- Batina Coast
2- Central Mountains
3- Gravel Plain
4- Ras-al-Khaimah-Abu Dhabi Area

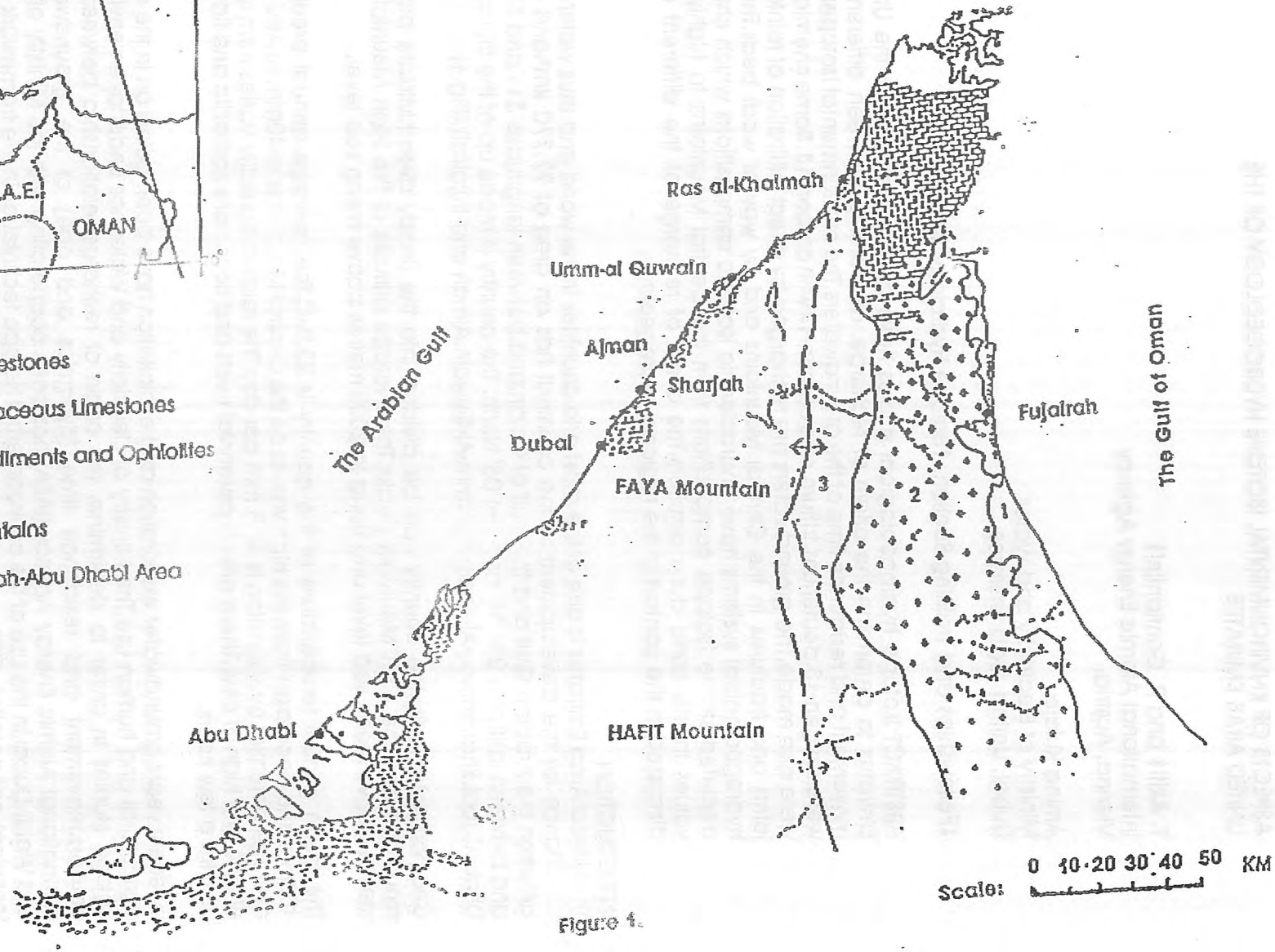


Figure 1.

GEOLOGY

The geology of the United Arab Emirates is an integral part of the Arabian geology.The Permian-Cretaceous limestone sequence are outcropping in the High Mountain Peaks (Morton,D.M. 1959 and Wilson,H.H 1969). The Hawasina sediments,consisting of metamorphic rocks,quartz,clay,volcanic ash and limestone, and also of ophiolites consisting of gabbro,serpntinites and gabbro with minor serpentinites are found in the Central Mountains.Neogene limestones are found in the desert sands.(Fig.1)

HYDROGEOLOGY

The hydrogeological conditions are largely determined by the geology and for this reason four main hydrogeological regimes can be described.

Rus-Al-Jabal Peninsula:The aquifers are formed mainly by permeable limestone and dolomites.Jointing and karstification of the limestones and dolomites favour infiltration and storage of groundwater.
Central Mountains:Jointing,faulting and weathering of the Hawasina beds give rise to good aquifers.
Western Foreland.Quarternary sediments occuring in this area are rechaged by wadi beds.
Sand dune aquifers are found in the desert.
Batina (East) Coast.Weathering and jointing in the metamorphic rocks give rise to aquifers.

The well depths range from 30 metres in the sand dunes to 60 metres elsewhere.The depth to water level in the wells range from 10 to 300 metres. Some deep wells are drilled to 350 metres.The Transmissivity values determined from pump tests range from 130 to 6700 m^2/ d.The wells are generally pumped for more than 450 m^3/d for up to 18 hours a day and allowed to recover for the next 6 hours.The watertable configuration closely reflects the surface topography.There can be changes in the watertable contours which suggests possible changes in the hydraulic properties of the aquifers.

METHODOLOGY

Between 1984 and 1990,a large number of water samples were collected from rain gauges and wells tapping different aquifers.The variations of isotopic ratios,oxygen-18,deuterium,and tritium were measured.Based on the results from the tritium determinations,carbon-14 and carbon-13 contents of Total Dissolved Inorganic Carbon (TDIC) were also measured in selected wells.Chemical analysis were also performed on some of the groundwater samples.The isotopic determinations were made at the Isotope Hydrology Laboratory, International Atomic Enrgy Agency,Vienna,Austria and the Isotope Hydrology Laboratory of the Water Authority of Jordan,Amman, Jordan.The chemical analysis were performed at the Hydrochemical Laboratory of the Ministry of Electricity and Water,Dubai,United Arab Emirates.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Individual precipitations have been collected during the period of this study between 1984 and 1987. (Akiti et al, 1988 and Gonfiantini,1992).It is clear that in an arid environment such as the United Arab Emirates, evaporation of rain drops during precipitation often occur.It is also possible that improper sampling would cause evaporation and thus enrichment of the heavy isotopes.However,rainfall events of more than 20 mm would probably escape much evaporation.(Conrad and Fontes,1970).Figure 2 shows preliminary analysis.Some values plot on a line close to the so called Mediterranean Meteoric Water Line and other values seem to follow the Global Meteoric Water Line. The effects of evaporation are clearly seen since some of rainfall events plot on an evaporation line.

TABLE I

CODE	LOCATION	SITE	DEPTH m.	SWL m.	H-2 o/oo	O-18 o/oo	C-13 o/oo	TRITIUM T.U	C-14 pmc	COND. uS/cm	Cl ppm
UAE-60	Dohreen,#3	N			-10.3	-3.43	-7.74	6.1	34.7	4000	1025
UAE-133	Dohreen,#3R	N				-3.51		4.9		6000	1955
UAE-61	Dohreen,#5R	N			-8.2	-3.25		5.3		1070	195
UAE-62	Dohreen,#1	N			-5.6	-3.21		4.2		1375	295
UAE-4	Dohreen,#5	N	281	283	-6.5	-3.36		6.5		770	128
UAE-5	Dohreen,#3	N	281	194	-8.4	-3.47				2400	620
UAE-63	Wadi Sahawat,well #4	N			-7.7	-3.54	-8.36	6.7	44.8	3200	840
UAE-64	Wadi Sahawat,well #5	N			-7.7	-3.56		5.5		1070	205
UAE-2	Wadi Sahawat,well #6	N	276	174	-8.2	-3.29		7.8		825	130
UAE-3	Wadi Sahawat,well #2	N	230	174	-9.1	-3.66				810	140
UAE-132	Wadi Sahawat,well #4	N				-2.89		3.8		15070	5400
UAE-47	Burairat,well #1	N	250	180	-11.0	-3.79		3.6		6300	1825
UAE-69	Burairat,well #10	N			-11.4	-3.66		2.8		7600	2215
UAE-49	Burairat,well #11	N	300	120	-10.6	-3.65				8450	2525
UAE-70	Burairat,well #2	N			-9.9	-3.71	-6.29	4.0	9.5	5400	1525
UAE-48	Burairat,well #21	N	501		-10.6	-3.58		4.2		4100	1100
UAE-11	Khatt,well #3	N	147	34	-9.0	-3.03				2500	540
UAE-10	Khatt,spring	N			-9.1	-3.10					
UAE-128	Khatt,spring(men)	N			-9.3	-3.00		2.1		2390	555
UAE-194	Khatt,spring(men)R	N			-7.8	-2.91		2.1		2350	560
UAE-129	Khatt,spring(women)	N			-8.0	-3.01		2.2		2330	535
UAE-193	Khatt,spring(women)R	N			-9.8	-3.01		2.6			
UAE-46	Wadi Bih,well #14	N	401	248	-10.8	-3.86		0.9		2700	625
UAE-73	Wadi Bih,well #18	N			-9.1	-3.95		1.6		2100	505
UAE-72	Wadi Bih,well #9	N			-10.4	-3.78		1.8		1840	440
UAE-71	Wadi Bih,well #10	N			-9.8	-3.84	-6.52	0.7	7.1	2900	735
UAE-45	Wadi Bih,well #2	N	300	265	-10.2	-3.86		1.3			
UAE-170	RK-6,Deep well	N			-10.0	-3.65	-7.67	1.5	18.5	820	100
UAE-9	Idhn,well #10	W	254	39	-3.1	-2.16				860	116
UAE-175	RK-16,Idhn	W			-9.4	-2.53		9.9		1590	295
UAE-178	RK-15,Idhn	W			-12.2	-2.52		0.5		5060	1320
UAE-8	Idhn,well #13	W	235	31	-4.3	-2.22				960	160
UAE-83	Idhn,(old well)	W			-3.3	-2.11	-11.95	12.1	86.2		
UAE-78	Dhaid,well #5	W			-3.2	-1.68	-11.47	7.6	82.4	2900	505
UAE-191	Al Dhaid,well #5R	W			-6.9	-1.52		5.9		3080	665
UAE-77	Dhaid,well #6	W			-3.3	-1.70		10.4		1200	210
UAE-169	Dhaid,pvt deep well	W	1500		-21.9	-2.45		0.1			
UAE-174	Dhaid,deep well	W			-3.6	-1.02		1.4		4760	665
UAE-79	Dhaid,well #3	W			-4.3	-1.71		10.2		2100	435
UAE-7	El Dhaid,well #4	W	160	48	-3.8	-1.82				1250	245
UAE-6	El Dhaid,well #2	W	160	47	-3.8	-1.70		12.4		1160	220
UAE-120	Dhaid,well #1	W				-1.49		3.8		3950	
UAE-192	Dhaid,well #1	W			-3.9	-1.45		3.4		4080	925
UAE-81	Manama,well 2	W				-1.45		9.9		890	165
UAE-80	Manama,well #5	W			3.1	-1.29	-11.82	6.4	56.0	2100	495
UAE-119	Hamraniya,	W				-2.40		0.0			
UAE-82	Manama,well #4	W			-0.6	-1.53		4.7		870	150
UAE-53	Manama,well #1	W			0.1	-1.42				820	141
UAE-68	Shunuf,well #11	W			-4.2	-1.60		0.0		4200	1055
UAE-67	Shunuf,well #3	W			-5.4	-1.55	-8.01	0.2	66.4	2700	565
UAE-20	Shunuf,well #6	W	150	126	-4.0	-1.74				2900	630
UAE-19	T.Rashid,well #18	W	190	131	-4.3	-1.79				2450	510
UAE-66	T.Rashid,well #24	W			-5.4	-1.85		0.7		2500	485
UAE-65	T.Rashid,well #12	W			-2.3	-1.65	-9.12	0.0	83.7	4900	1190
UAE-18	T.Rashid,well #1	W		120	-3.8	-1.68		0.3		3800	874
UAE-17	Falaj el-Moalla,well #2	W	200	60	-3.2	-1.30				2800	675
UAE-100	Falaj el-Moalla,well #8	W			-5.0	-1.49		0.4		3000	710
UAE-99	Falaj el-Moalla,well #3	W				-1.30	-10.66	0.0	77.9	4100	1000
UAE-92	Kwanij, pvt well	W			-1.3	-0.66	-10.30	1.2	99.7	9000	4176
UAE-15	Biyatha,well #4	W			-7.2	-2.37					
UAE-16	Biyatha,well #1	W			-7.6	-2.40					

N = North; W = West; E = East; A = Abu Dhabi ; S = Sand Dunes

TABLE I (Continued)

CODE	LOCATION	SITE	DEPTH m.	SWL m.	H-2 o/oo	O-18 o/oo	C-13 o/oo	TRITIUM T.U	C-14 pmc	COND. uS/cm	Cl ppm
UAE-98	Biyatha, pvt well	W			-9.4	-2.44	-7.00	1.4	83.0	4600	1170
UAE-41	Al Madam,new well	W			-3.0	-1.72		0.5			
UAE-127	Al Madam,spring	W			4.5	-0.23		0.1			
UAE-42	Al Madam, pvt well	W			-2.7	-1.60					
UAE-186	Al Madam,spring	W			7.0	0.62		0.5		3090	1015
UAE-188	Al Madam, deep well	W			-5.9	-2.20		0.4			
UAE-43	Awir, pvt well	W			-1.0	-0.76					
UAE-93	Al Awir, pvt well	W			-5.9	-0.92	-6.42	0.0	51.4	3900	825
UAE-97	Sirrah, pvt well	W			-5.6	-1.52				3800	840
UAE-14	Sirrah,well #2	W	170	56	-4.5	-1.55				3900	
UAE-44	Amrodi, pvt well	W			-1.6	-1.03					
UAE-52	Wahush, well	W			-3.6	-1.16				2500	555
UAE-50	Shaar Bill Hilli,well	W			-3.6	-0.80				7100	1675
UAE-172	GP-10,Ashwan,deep well	W			-7.6	-1.73	-11.30	0.7	48.3		
UAE-24	Quidra,well #1	E	315	53	-0.2	-0.80				1770	390
UAE-23	Quidra,well #4	E	302	67	-1.7	-1.32				1060	170
UAE-135	Quidra,well A	E				-1.17		6.5			
UAE-168	Quidra,well B	E				-1.55		9.8			
UAE-84	Fujairah,well #10	E			-7.6	-2.41	-10.57	1.2	69.6	2600	735
UAE-25	Fujairah,well #9	E	242	115	5.6	-2.16		3.4		2700	807
UAE-86	Fujairah,well #5	E			-1.5	-2.08		10.2		1740	445
UAE-26	Fujairah,well #12	E	176	96	-5.1	-2.23				2200	560
UAE-85	Fujairah,well #8	E			-6.1	-2.30		12.2		1060	225
UAE-76	Sur Kalba,well #7	E			-2.3	-2.68	-13.94	14.1	82.0	1250	265
UAE-75	Sur Kalba,well #5	E			-4.7	-2.33		20.3		1680	430
UAE-74	Sur Kalba,well #10	E			-5.5	-2.54	-12.53	11.7	91.3	1100	210
UAE-27	Sur Kalba,well #1	E	150	67	-7.2	-2.72				1140	220
UAE-28	Sur Kalba,well #4	E	131	67	-3.9	-2.46		13.9		720	85
UAE-189	Sur Kalba,well #4R	E			-3.2	-2.20		12.0		880	135
UAE-121	Sur Kalba,well #10R	E			-4.4	-2.42		12.4		970	
UAE-190	Sur Kalba,well #10R	E			-8.6	-2.42		11.8		1410	300
UAE-122	Sur Kalba,well #5R	E				-2.14		14.3		1545	
UAE-90	Dibba,well #2	E			-7.1	-2.68	-9.92	4.2	36.9	800	160
UAE-87	Dibba,well #4	E			-8.2	-2.81				410	70
UAE-89	Dibba,well #1	E			-8.1	-2.73		1.5		1030	150
UAE-88	Khorfakkhan,well #2	E			-2.9	-2.16		10.1		660	200
UAE-87	Khorfakkhan,well #1	E				-2.50	-11.32	11.3	92.6	600	75
UAE-54	Khorfakkhan,well #1R	E			-3.8	-2.34				590	78
UAE-21	Masafi, govt well	E			-4.6	-2.39		2.7		530	80
UAE-91	Masafi,well #1	E			-4.1	-2.11		9.8		450	75
UAE-22	Masafi,pvt well	E			-3.4	-2.24					
UAE-94	Masfut, pvt well	E			-1.9	-1.45	-11.37	11.3	93.4	1410	340
UAE-40	Masfut, pvt well	E			-2.7	-1.67					
UAE-51	Masfut,well #1	E			-3.0	-2.18				740	105
UAE-95	Munai pvt well	E			-5.3	-1.98	-13.66	13.5	109.6	970	112
UAE-37	Munai, well	E	74	12	-3.8	-1.91		16.0			
UAE-38	Al Hawailat,spring	E			-0.4	-0.78		10.1			
UAE-39	Hatta,pvt well	E			2.0	0.40					
UAE-56	Qidfa,well #5	E			-2.8	-2.15				1020	163
UAE-55	Haraij,well #6	E			-5.0	-2.30				460	90
UAE-126	Haraij,well #6R	E				-2.33		3.6		455	90
UAE-123	Kalba,well #7	E			-5.9	-2.22		10.2		9870	
UAE-124	Worsya,spring	E			-4.4	-2.15		3.0		510	74
UAE-187	Worsya,springR	E			-1.9	-0.30		3.0		460	84
UAE-106	Al Said, pvt well	A			-0.7	-0.70	-7.19	0.6	40.9	7100	1150
UAE-33	Sih-el-Miah,well #7	A			-6.4	-1.31				9800	
UAE-32	Sih-el-Miah,well #17	A			-6.1	-1.25				5156	1249
UAE-105	Sih-el-Miah,pvt well	A			-5.6	-1.41		0.0		5000	1280
UAE-167	Sih-el-Miah,well #5	A	1645		-6.5	-1.53	-3.97	0.0	30.6	4510	
UAE-148	Sheiba Khamis(deep)	A	1000		-7.3	-0.68	-4.65	0.0	17.6	9270	
UAE-104	Al Raoe, pvt well	A			-4.2	-0.70	-8.02	0.8	11.8	5900	1550
UAE-102	Al Ohwa,well #1	A			-3.7	-1.79		0.0		2300	475
UAE-103	Al Ohwa,well #2	A			-3.4	-1.68		0.7		3000	685
UAE-107	Al Hayar,pvt well	A			-2.1	-1.61		0.0		975	175
UAE-149	Al Hayar,-512	A				-1.43		0.0			

N = North; W = West; E = East; A = Abu Dhabi ; S = Sand Dunes

TABLE I (Continued)

CODE	LOCATION	SITE	DEPTH m.	SWL m.	H-2 o/oo	O-18 o/oo	C-13 o/oo	TRITIUM T.U	C-14 pmc	COND. mS/cm	Cl ppm
UAE-150	Al Hayar,Ab Hassan farm	A			-0.9	-0.68		0.3		5170	
UAE-101	Shbrah,pvt well	A			-8.0	-1.48		0.0		7300	2150
UAE-109	Margam,pvt well	A			-1.2	-0.78		0.4		3000	500
UAE-29	Al Khanza,well #71	A			-6.2	-0.82				7900	1207
UAE-30	Al Khanza,well #46	A			-5.6	-0.72				15468	
UAE-31	Al Khanza,well #40z	A			-9.1	-1.08				9330	
UAE-108	Al Faqaa pvt well	A			-1.0	-1.06		0.6		4100	925
UAE-34	Ain el Faidha,spring	A			-5.0	-1.74				10100	
UAE-96	Subegha,pvt well	A			-5.0	-0.30	-12.96	6.1	90.8	5800	
UAE-35	Al Showaib,well(farm)	A				-1.74		1.3			
UAE-36	Al Showaib,well(farm)	A				-1.78					
UAE-142	Al Khadar Nasasah #1	A				-0.05	-3.54	0.5	30.3	5900	
UAE-143	Al Khadar Nasasah #2	A				-0.80		0.5		3340	
UAE-144	Kashoona #2	A			-5.5	-1.50	-6.53	0.3	51.9	1085	
UAE-145	Kashoona #5	A				-1.50		0.0		1018	
UAE-146	Kashoona #8	A				-1.43		0.0		1047	
UAE-147	Al Khadrah,west	A			-1.6	-2.70		0.0		928	
UAE-165	Al Karra #108	A				-1.15	-9.85	0.4	68.0	625	
UAE-166	Bida Bint Saood #101	A			-3.0	-1.54	-10.34	0.0	85.4	1265	
UAE-113	Bujair, well #6	S			2.7	1.70	-2.47	0.0	3.5	2150	425
UAE-115	Bujair, well #7	S			4.7	2.22		0.0		1600	300
UAE-114	Bujair, well #1	S			3.6	1.95		0.0		1630	305
UAE-159	Bujair, well #6R	S				1.70		0.3		2070	402
UAE-160	Bujair, well #1R	S				1.94		0.0		1675	297
UAE-151	Suwaihan,S.Adq farm	S			0.4	0.50		0.0		9470	
UAE-110	Al Halew, well #1M	S			6.2	2.29	-1.72	0.0	14.0	1700	325
UAE-111	Al Halew, well #6D	S			2.7	2.10		0.0		1740	330
UAE-112	Al Halew, well #4M	S			6.0	1.93		0.3		4400	1015
UAE-155	Al Halew, well #6DR	S			1.1	1.76		0.0		1680	347
UAE-156	Al Halew, well #1MR	S			1.3	1.80		0.1		2120	373
UAE-116	Bida Rashid,well #6	S			4.5	1.93				2220	447
UAE-117	Bida Rashid,well #7	S			2.9	1.91	-2.18	0.0	9.8	2370	486
UAE-118	Bida Rashid,well #11	S			3.0	1.99	-2.28	0.0	24.9	2410	504
UAE-152	Jaw Alood-2,well #5	S				1.60		0.0		2950	636
UAE-153	Jaw Alood-1,well #4	S				1.52		0.0		2708	580
UAE-154	Jaw Alood-1, #6	S				1.50	-1.92	0.0		3090	658
UAE-162	Jaw Alood-1, #1 new	S				1.69		0.0		3800	786
UAE-157	Bida Khalfan-3	S				1.95	-1.97	0.0	15.3	1540	292
UAE-158	Bida Khalfan-10	S				2.05		0.0		1430	249
UAE-161	Muzairah (LIWA) new	S			3.8	2.38	-2.08	0.2		2000	372
UAE-163	Al Tarq (LIWA) new	S			4.0	2.10		0.0		2470	430
UAE-164	Huwailah, (LIWA)	S				1.85		0.0		8220	1984

N = North; W = West; E = East; A = Abu Dhabi ; S = Sand Dunes

Rus-Al-Jabal Peninsula.The stable isotope compositions of the groundwaters show depleted values with respect to all groundwaters in the Emirates The high mountains give rise to isotopic altitude effect. (Table 1).

The stable isotope contents of the groundwaters in this area are very homogeneous indicating a common origin of the recharging water.The high deuterium excess in the groundwaters is consistent with groundwaters that have been recharged by moisture originating from the Arabian Gulf (Table 2). The groundwaters have been shown to plot close to the Mediterranean Meteoric Water Line (Fig.3) which suggests that the recharge took place without evaporation of the rain drops.(Akiti et al.1988) Tritium values range from 0.9 to 7.8 TU (Table 1) and these are close to values in the present day precipitations suggesting that the aquifers are receiving modern (Fif.4) recharge. Carbon-14 contents of TDIC range from 7.1 to 44.8 pmc and carbon-13 values of TDIC range from -6.32 ‰ to -8.36‰ PDB.(Fig.5) These results show the effects of dissolution and exchange with rock carbonate which would cause dilution of carbon-14 and make the groundwaters appear old but the tritium results clearly indicate recent recharge.The joints and fractures in the limestones would permit rapid infiltration of rainfall.These depleted stable isotope contents are not found outside this area which suggests that circulation of groundwater with this isotopic composition is restricted to the Peninsula and would imply that such grounwaters would form a deep flow system which would discharge into the sea.Overpumping of these waters would therefore cause sea water intrusion problems (Akiti et al.1988, Gonfiantini 1992).

TABLE 2:Average Isotopic Compositions

Grounwater Regime	Number of Samples	δO-18‰ vs SMOW	δH-2‰ vs SMOW	d ‰
Rus-Al-Jabal	28	-3.39±0.45	-8.92±2.0	+19.8±1.7
Western Foreland	47	-1.48±0.58	-3.72±4.2	+8.8±3.4
Abu Dhabi	30	-1.25±0.55	-4.62±2.6	+6.6±3.2
Sand Dunes	23	+1.80±0.37	+3.30±1.7	-11.9±3.4
Batina Coast	40	-2.06±0.63	-3.95±2.9	+13.6±2.4

Western Foreland.Three different hydrogeological regimes can be recognised in this area.The west area which is immediately at the foothills of the Central Mountains,the Abu Dhabi Area and the sand dunes of the Liwa area.(Table 1)

The stable isotope contents of the groundwaters close to the Central Mountains are more enriched than those of the Rus-Al-Jubal area (Table 2) and as the groundwater moves towards Abu Dhabi and Liwa (Fig.3) the groundwaters become more enriched in heavy isotopes (Fig3).This enrichment in heavy isotopes is brought by the infiltration of wadi floods and evaporation in the thin alluvium.

High tritium values ranging from 0 to 12.4 TU (Table 1) are found in the wells in the Gravel plain Tritium contents are decreasing in the ground waters as the groundwaters move away from the Central Mountains (Fig.4).Carbon-14 contents of TDIC of the groundwaters vary from 48 to 99.7 pmc (Table 1) and also show effects of aging away from the Central Mountains.(Fig.5)

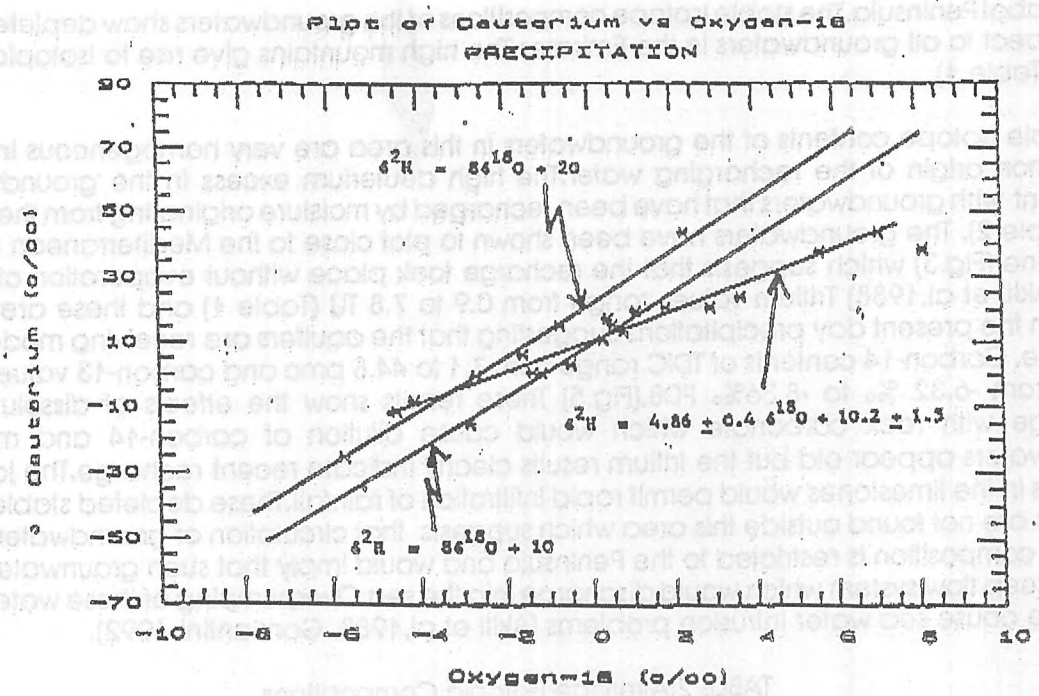


Figure 2

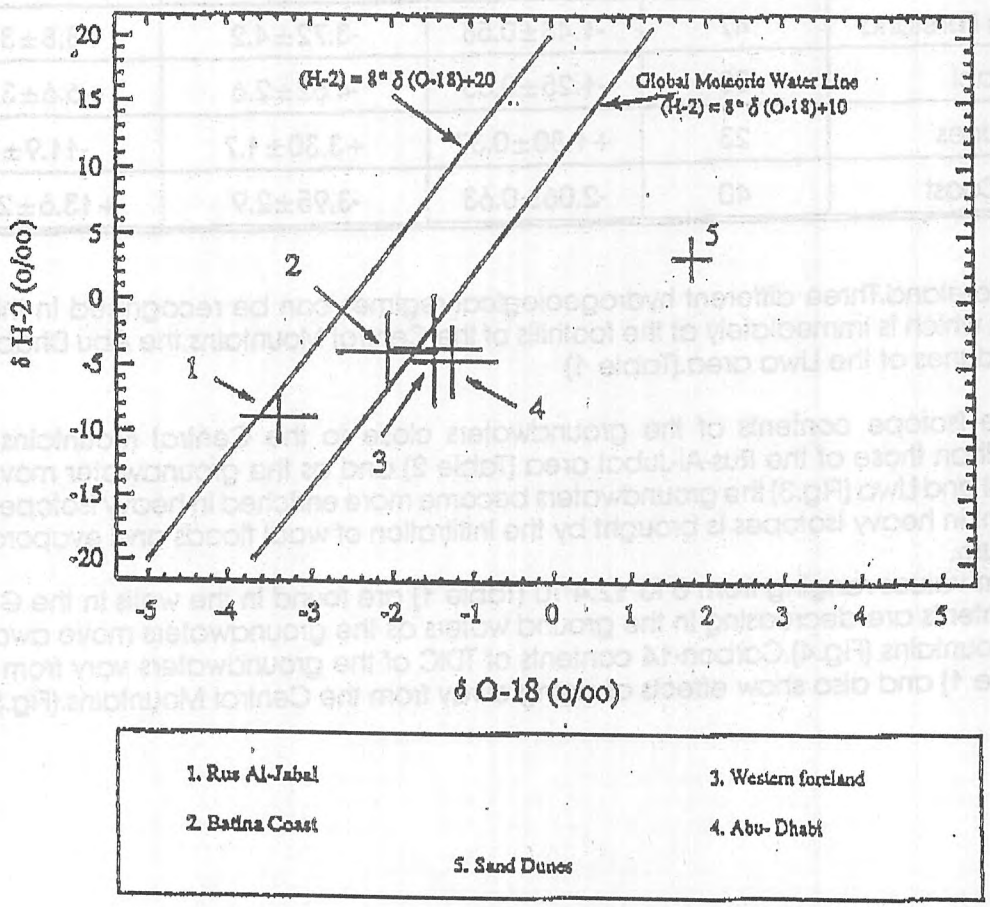


Figure 3

The relatively enriched stable isotopes in the groundwaters as they move away from the Central Mountains suggests that there is evaporation of the rainwaters before recharge or that the recharging water mixes with antecedent water in surface depressions in the alluvial fans or in the soil zone which will cause enrichment of stable isotopes. .

The wells in the Gravel plain,around El Dhaid, Idhn,and Manama contain groundwaters high in tritium which are comparable with tritium contents of present day rainfall values.The high tritium contents with the corresponding high carbon-14 contents in Gravel plain suggest that these aquifers are receiving contemporaneous recharge.Immediately after the gravel plains,the tritium contents are low as found in the wells at.Biyatha,Shunuf,T.Rashid and Awir.Carbon-14 contents of TDIC also indicate that older waters are occuring the aquifers beyond the gravels.(Fig.5)
The abrupt change in tritium and carbon-14 contents of TDIC in the adjacent groundwaters in the alluvium would suggest a change in the hydraulic conductivity of the aquifers which would not permit rapid flow of groundwater from the gravels to the alluvium.Deep wells drilled at Idhn through the gravels into Cretaceous limestones,conserve the stable isotope composition of the values characteristic of groundwaters recharged in the Gravel plain but the tritium contents are different.(Akiti et al,1988). One deep well contains 9 TU of tritium while another contains no tritium at all implying different epochs of recharge or that there is no communication between the aquifers.This would also suggest that communication between the gravel beds and the deep aquifers can be slow or fast depending on priviledge routes brought about by joints and fractures.Or,brought by local conditions like leakages caused by well construction methods.
Because of the differences in hydraulic conductivities between the gravels of the Gravel plain and the alluvium of the desert foreland,the Gravel plain would be a good location for storing water by means of artificial recharge.Further studies would have to be done to determine the size of the aquifer.

Sand dune.The origin and mechanism of recharge of the groundwaters in the sand dunes is not very clear.Two hypotheses could be advanced:

Recharge by way of surface floods.
Recharge by occasional rainfall in the desert.

The sand dunes are located in the lowest topography in the Arabian peninsula covering an area of about 600 km² and this makes it a perfect area for the collection of surface runoff. Such a surface runoff would have collected salts along its path from Sabkhahs and the resulting infiltration water would have higher salt contents.The dune waters have rather low conductivities indicating low salt accumulations. Chloride concetrations are relatively low, below 700 ppm. except two wells at Al-Halew and Huwallah .(Table 1) The stable isotope contents are enriched in heavy isotopes and homogeneous (Fig.3).Tritium conents of the groundwaters are zero.

Occasional rainfall in the desert is able to recharge groundwater in sand dune areas.These rainfall penetrate into the dunes where part of it is evaporated into the atmosphere causing enrichment in the residual water.The next rainfall event mixes with the residual water and this pushes the enriched water towards the groundwater.This process is repeated as long as these occasional rainfall events occur (Gat, 1987). This second hypothesis seems plausible because of of the relatively low salt contents of the groundwaters.Another possible mechanism will be the enrichment of the recharging water in the surface before recharge.It is probable that all these processes are taking place.

There is total absence of tritium in the sand dune groundwaters. This suggests that the phenomenon has been going on for a long time (at least over 35 years) in the past at the recharge area.This means that there is no significant modern recharge.

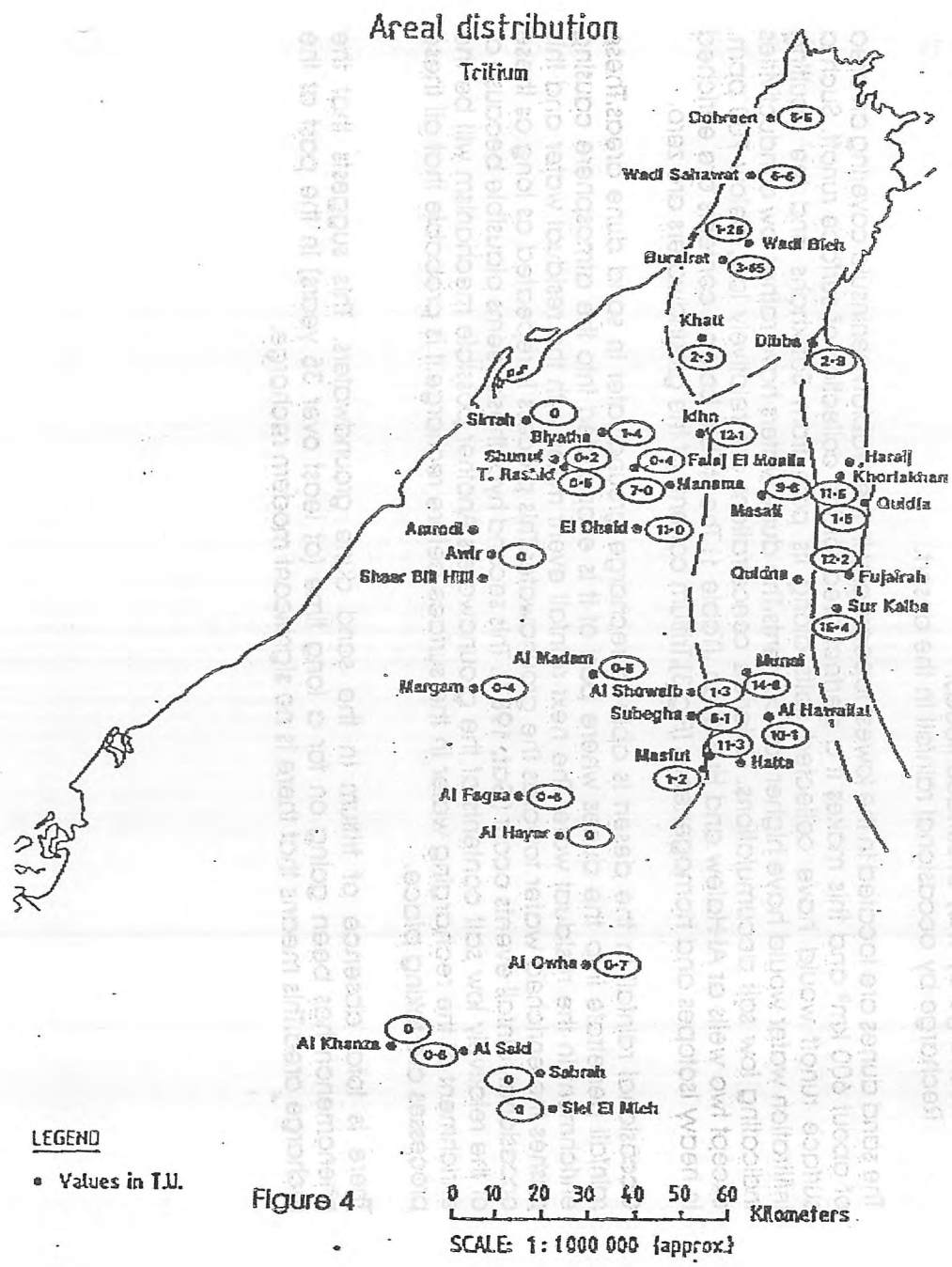


Figure 4

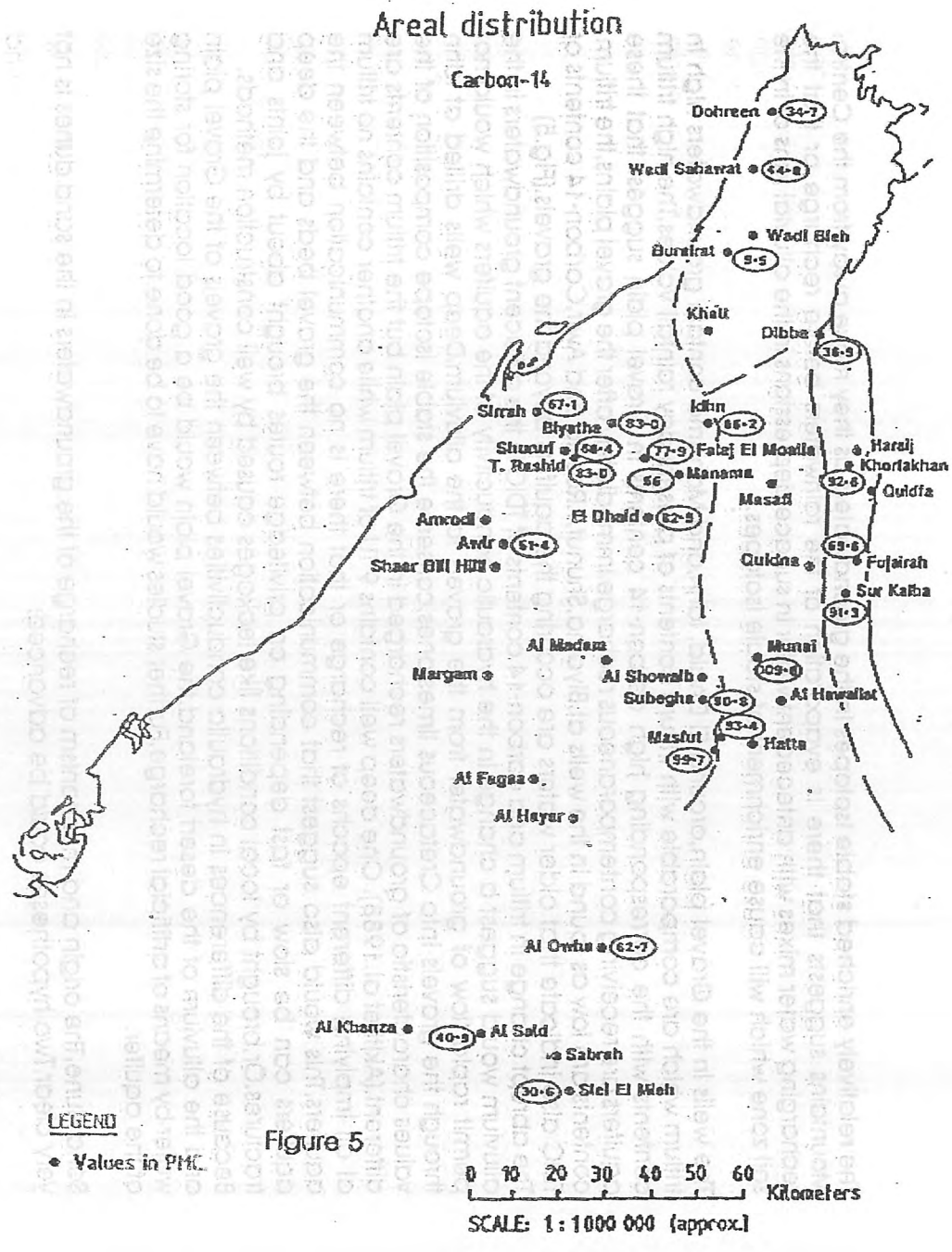


Figure 5

Batina(East) Coast. The stable isotope contents of the groundwaters in this area are slightly depleted compared to those in the Gravel plain (Fig.3).Tritium and carbon-14 conents (Figs 4 and 5) of the groundwaters are higher than any other hydrogeological regime in the country. (Table 1). Tritium contents can be as high as 20 TU as observed at Sur Kalba.This ,together with the high carbon-14 values suggest that these aquifers which are recharged with water coming from the adjacent mountains,receive and discharge contemporaneous waters.The aquifers must therefore be very permeable to permit the develpment of fast but rather short flow systems emptying into the Gulf of Oman.

ORIGIN OF GROUNDWATER SALINITY

The saninities of some wells have been increasing in recent years.The origin of the high salinities has been investigated during the present study by comparing chloride and oxygen-18 contents of some wells.as an example,two well were studied at Wadi Sahawat and Dohreen.

A plot of Chloride versus δO-18 (Fig.6) shows that in the well Wadi Sahawat #4,there is an increase in chloride concentration between 1985 and 1986 and it can be seen that the sample taken in 1986 plots in the band of mixing with sea water.In 1985 the value of the conductivity was 3200μS/cm and the oxygen-18 content was -3.54‰ vs SMOW. In 1986,however, the value of conductivity jumped to 15070μS/cm and the oxygen-18 was -2.89‰ vs SMOW. The corresponding values of chloride were 840 mg/l and 5400 mg/l showing the effects of mixing between sea water and groundwater.It is worthnoting that the tritium content of this well decreased from 6.7 to 3.7 TU thus confirming mixing with sea water.

On the other hand, well Dohreen #3 shows an increase in conductivity and chloride contents over the three year period but the oxygen-18 content remains the same.This suggests that the increase in salinity in Dohreen #3 is not due to salt water intrusion but possibly to the dissolution of soluble salts in the soil during groundwater infiltration.

These effects show that the two processes are at play to cause the deterioration of the ground water quality,however, overpumping of the groundwaters may also contribute to bring salt water into the groundwaters.Fractures in the subsurface would be responsible fot transmission of salt water due to overpumping.

CONCLUSIONS

The environmetal isotope techniques have shown that in spite of the area being arid,direct recharge by precipitation is taking place. The joints and fractures in the rocks permit rainfall to infiltrate.The Central Mountains is the main recharge area in the country. As the groundwater moves away from the Central Mountains,modifications in the isotopic composition is brought about by evaporation and mixing with antecedent water in the alluvium or local rainfall.

Local flow systems have developed in the Rus-al-Jubal mountains and the Batina coast.The flow of water is towards the Persian Gulf and the Gulf of Oman respectively.Because of the relatively high hydraulic conductivities in these aquifers,overpumping of the aquifers would cause salt water intrusion into the aquifers.

The Gravel plains,because they are surrounded by lower permeability rocks could be used as a storage for groundwater by means of artificial recharge.To do this, the volume covered by the gravels would have to be mapped geophysically ,geologically and hydrogeologically.Then injection wells would be constructed to inject water under pressure into the aquifer.The water for injection could be obtained from a dam constructed purposefully for injection.The same method could be made at Wadi Bieh.

Two hypotheses have been considered for the origin of the groundwaters of the sand dune aquifers.Whatever the origin of recharge,it is clear that there is no significant modern recharge and therefore the the reserves cannot be relied upon for long term exploitation.

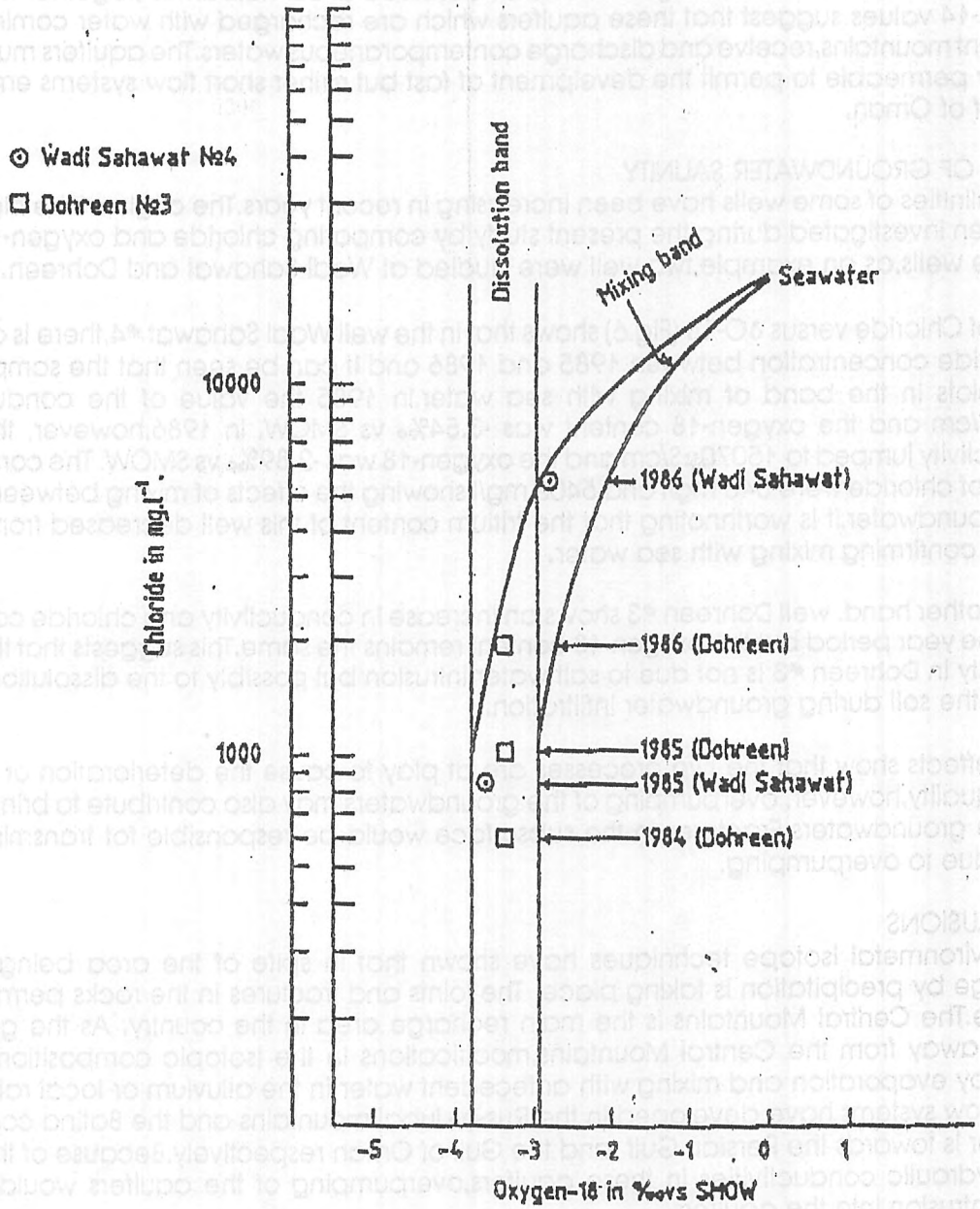

⊙ Wadi Sahawat №4
□ Dohreen №3
Chloride in mg.l⁻¹
10000
1000
Dissolution band
Mixing band
Seawater
1986 (Wadi Sahawat)
1986 (Dohreen)
1985 (Dohreen)
1985 (Wadi Sahawat)
1984 (Dohreen)
-5
-4
-3
-2
-1
0
1
Oxygen-18 in ‰vs SMOW

Figure 6

There is evidence of salt water intrusion in the Emirates.This occurs mainly as a result of groundwater abstraction.This suggests that even though recharge occurs in the Central Mountains,recharge rates are lower than abstraction rates.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank their colleagues at the Ministry of Electricity and Water, Dubai and Isotope Hydrology Section of the International Atomic Energy Agency for their valuable comments on the paper.The IAEA Isotope Hydrology Laboratory,the Isotope Hydrology Laboratory of the Water Authority of Jordan,and the Hydrochemical Laboratory of the Ministry of Electricity and Water,Dubai are acknowledged for performing the isotope and chemical analysis.

REFERENCES

Akiti.T,Gonfiantini,R and Mutawa.A (1988) Aspects of the Isotope Hydrology of the United Arab Emirates. Paper presented at the IAEA Advisory Group Meeting,Arid Zone Hydrology,IAEA,Vienna (In Press)

Conrad,G and Fontes,J-CH (1970) Hydrologie Isotopique du Sahara Nord-Occidental,Proceedings of a Symposium, IAEA,Vienna,pp 405-419.

Gat,J (1987) Variability (in time) of the isotopic composition of precipitation:Consequences regarding the isotopic compositions of hydrologic systems.Proceedings,IAEA Symposium,Vienna,pp 551-563.

Gonfiantini,R (1992) Investigation of Groundwater Resources of the United Arab Emirates by using Isotope Techniques.Report of an expert mission (16-21 May 1992).

Morton,D.M (1959) The Geology of Oman.Proc. 5th World Petroleum Congress.New York.Section 1,Paper 14.

Wilson, H.H (1969) Late Cretaceous eugeosynclinal sedimentation,gravity tectonics and ophiolite emplacement in the Oman Mountains, Southeast Arabia. Am. Assoc. Perol. Geol.Bull. Vol.53.No.3

تقنيات معالجة المياه

التطورات التاريخية والتحديات المعاصرة

الدكتور عبدالله محمود الرحيلي

تقنيات معالجة المياه
التطورات التاريخية والتحديات المعاصرة

د . عبد الله محمد الرحيلي
قسم الهندسة المدنية- كلية الهندسة
جامعة الملك سعود- الرياض

مؤتمر الخليج الأول للمياه - دبي ١٩٩٢م

تمت طباعة الغلاف بمؤسسة الصقر مكتب المهندس ت ٤٨٢٣١٥٧ فاكس ٤٨٢٣١٤٢

ملخص

من المعروف ان الانسان قد اهتم بنوعية الماء الذي يشربه منذ الاف السنين حيث نبعت فكرة معالجة المياه في العصور القديمة من الرغبة في الحصول على ماء حسن المظهر لا يحتوي على شوائب ظاهرة ، لا سيما عند اضطرار الانسان الى استخدام بعض مصادر المياه الغيرعادية . وكانت عملية الترشيح في اوائل العمليات التي استخدمت وفق نطاق ضيق ومحدود ، ثم توسع الانسان في استخدامها على مستوى المدن الكبيره حتى بداية القرن الحالي حيث كان الطابع العام لمعالجة المياه السطحية في الدول المتقدمة هو الترشيح باستخدام المرشحات الرملية البطيئة وضخ المياه الناتجة في شبكة التوزيع على المستهلكين . غير ان هذا التطور البطيء في تقنيات المعالجة خلال القرون الماضية قد أنعكس خلال القرن الحالي وتحول إلى تطور مذهل تنوعت خلاله اساليب المعالجة وتعددت اغراضها . ويمكن القول بأن التطور الحقيقي في مجال معالجة المياه قد تم خلال الخمسين سنة الماضية.

ومن العوامل الرئيسية التي ادت الى تنوع تقنيات المعالجة وتعدد اهدافها خلال الفترة الاخيرة نذكر ما يلي : التطور العلمي في مجال امراض المياه وعناصر انتقال الامراض ، معرفة التأثيرات الاقتصادية والصحية لبعض الملوثات المائية ، تطور تقنيات الكشف عن الملوثات العضوية وغير العضوية ، ازدياد الطلب على الماء والبحث عن مصادر اخرى غير المصادر التقليدية ، ازدياد حالات تلوث المياه نتيجة للمخلفات الصناعية والمبيدات الزراعية ، واكتشاف نواتج كيميائية ضارة لبعض عمليات المعالجة التقليدية.

يقوم البحث باستعراض شامل لمراحل تطور تقنيات معالجة الماء موضحاً مدى تأثر هذه التقنيات وتعددها نتيجة للعوامل سالفة الذكر مع مناقشة التحديات الحالية والمستقبلية لتقنيات المعالجة على المستوى العالمي ومدى تأثر دول الخليج العربي بهذه المتغيرات.

مقدمة

تشير المصادر التاريخية إلى أن إهتمام الأنسان بنوعية الماء الذي يشربه يرجع إلى أكثر من خمسة ألاف عام ، ونظراً للمعرفة المحدوده في تلك العصور بالأمراض ومسبباتها فقد كان الأهتمام منصباً على لون المياه وطعمها ورائحتها فقط . وقد سخرت لهذا الغرض بعض عمليات المعالجة ، حيث ذكر منها عمليات التقطير والغليان والترشيح والترسيب وإضافة بعض الإملاح في تطبيقات ضيقه وخلال فترات تاريخيه متباعده . وفي عام ٩٨م كتب أول تقرير هندسي عن مصادر المياه ومعالجتها ، حيث كتبه مدير دائرة المياه في مدينة روما ، موضحاً أن نظام المياه لتلك المدينة يتكون من حوض ترسيب يؤدي إلى قنوات للتوزيع .كما كتب الكيميائي العربي جابر بن حيان في القرن الثامن الميلادي تقريراً متخصصاً حول المياه وبعض السوائل الأخرى(١).

لقد شهد القرنين الثامن عشر والتاسع عشر الكثير من المحاولات الجاده في دول أوروبا وروسيا للنهوض بتقنية معالجة المياه وأنشأت لأول مرة في التاريخ محطات لمعالجة المياه على مستوى المدن . وكمثال على ذلك فإنه في عام ١٨٠٧م أقيمت محطة لمعالجة المياه في مدينة جلاسكو الأسكتلنديه تعتبر من أوائل المحطات في العالم حيث كانت تعالج فيها المياه بطريقة الترشيح ثم تنقل إلى المستهلكين عبر شبكة توزيع خاصة (٢). وعلى الرغم من أن هذه المساهمات تعد تطوراً تقنياً في تلك الفترة إلا أن الأهتمام كان لم يزل منصباً على نواحي اللون والطعم والرائحة ، أو ما يسمى بالقابلية ، وكانت المعالجة بإستخدام المرشحات الرمليه هي المظهر السائد حتى بداية القرن العشرين . ومع التطور الشامل للعلوم والتقنية منذ بداية القرن الحالي وإكتشاف العلاقة بين مياه الشرب وبعض الأمراض السائدة فقد حدث تطور سريع في مجال تقنيات المعالجة ، حيث أضيفت العديد من العمليات التي تهدف بشكل عام إلى الوصول بالمياه إلى درجة عاليه من النقاء ، بحيث تكون خالية من العكاره واللون والطعم والرائحة ، ومأمونه من الناحية الصحية.

لقد كان وباء الكوليرا من أوائل الأمراض التي أكتشف إرتباطها الوثيق بتلوث مياه الشرب العامه في المرحله السابقه لتطور تقنيات معالجة المياه . فعلى سبيل المثال أصيب حوالي ١٧,٠٠٠ شخص من سكان مدينة هامبرج الألمانية بهذا الوباء خلال صيف ١٨٢٩م وأنتهى بوفاة ما لا يقل عن نصف ذلك العدد ، كما ظهرت الكوليرا في لندن في كل من عام ١٨٤٨م وأدت إلى مقتل ١٤,٦٠٠ شخص ، وعام ١٨٥٤م وأدت إلى مقتل ١٠,٦٧٥ شخص . وقد ثبت أن المصدر الرئيسي للوباء هو تلوث مصادر المياه (١-٣).

يعتبر التطهير بإستخدام الكلور من أوائل العمليات التي أضيفت إلى معالجة المياه بعد عملية الترشيح وذلك للقضاء على بعض الكائنات الدقيقة من بكتيريا وفيروسات ، مما أدى إلى الحد من إنتشار العديد من أمراض المياه مثل الكوليرا وحمى التيفوئيد. وفي الوقت الحاضر تشتمل المعالجة التقليدية لمياه الشرب على العديد من العمليات الكيميائية والفيزيائية التي يتم الإختيار من بينها بحسب مصدر المياه والمواصفات الموضوعة للمياه المعالجة. ونظراً للتقدم الصناعي والتقني الذي يشهده هذه العصر وما تبعه من إزدياد سريع في معدلات إستهلاك المياه الطبيعيه ، النقيه نوعاً ما ، ونظراً لما يحدث من تلوث لبعض تلك المصادر نتيجة لإلقاء المخلفات الصناعية والزراعية ومياه الصرف ، وبعض الحوادث البيئيه الأخرى فإن عمليات المعالجة بدأت تأخذ مساراً جديداً يختلف في كثير من التطبيقات عن مسار المعالجة التقليدية ، بل أن مصادر المياه نفسها قد أختلفت في بعض مناطق العالم عن المصادر التقليدية.

في هذا البحث سنستعرض بإيجاز نوعية مياه الشرب وطرق المعالجة التقليدية، ثم نتبع ذلك عرضاً للإتجاهات والتحديات الحالية والمستقبلية لتقنيات المعالجة ومدى تأثر دول الخليج العربي بهذه المتغيرات.

نوعية مياه الشرب وآثارها الصحية

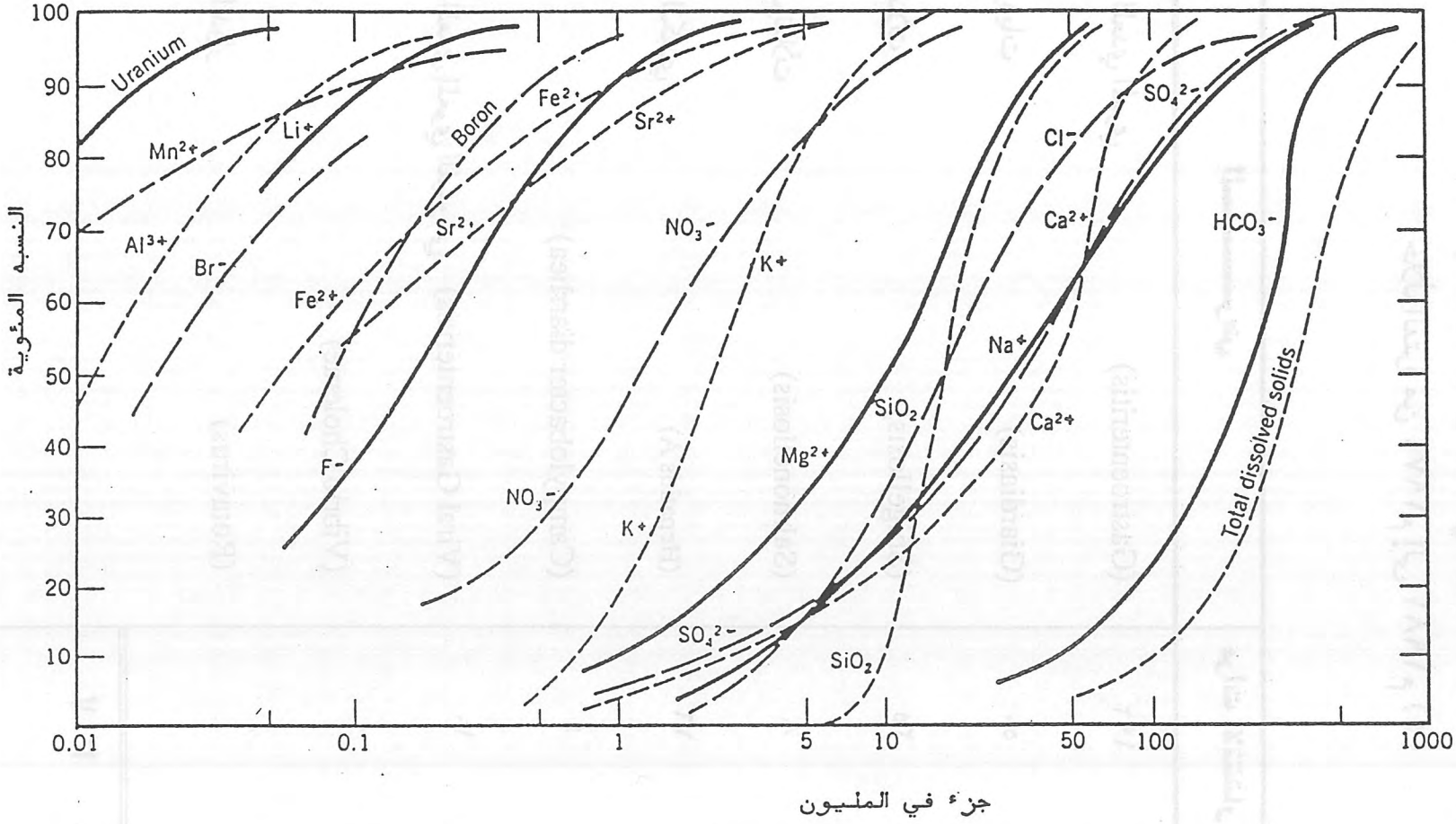
إن الإهتمام بنوعية مياه الشرب ينصب على توفير المياه المقبوله في مظهرها وطعمها ورائحتها ومأمونة من الناحية الصحية ، وترتكز مواصفات مياه الشرب وعمليات المعالجة على الوصول إلى هذا الهدف بالدرجة الأولى ، كما أن النواحي الإقتصادية تستدعي البحث عن مصادر للمياه تكون قريبه من مواقع الإستهلاك ولا تحتاج إلى معالجة مكثفه باهضة التكاليف . إلا أن هذه النوعية من المصادر لا تكون متوفره في كثير من الأحيان مما يضطرنا إلى بناء محطات للمعالجة تختلف مراحلها وتكلفتها باختلاف مصادر المياه ودرجة نقائها ، أو ما يسمى هنا نوعية المياه.والمياه قد تكون غير نقية بطبيعتها ، أو قد تتغير نوعيتها بسبب تلوثها بمواد خارجية . ومن العناصر الطبيعية في مياه الشرب والملوثات الخارجية التي تهمنا من النواحي الصحيه ما يلي : الكائنات الحيويه الدقيقه ، الحبيبات العالقة ، المعادن ، المواد العضويه ، والمواد المشعه . وفيما يلي نستعرض بإختصار شديد بعض العناصر المهمة وأثارها الصحيه.

- الكائنات الحيويه الدقيقه : تعتبر الجراثيم المسببه للأمراض من أهم العناصر التي تؤثر على مسار معالجة المياه ووضع المواصفات ، وهناك العديد من الأمراض التي تنتقل عن طريق مياه الشرب وتختلف بإختلاف الجراثيم المسببه لها. فهناك أمراض بكتيريه تسبب ألام معويه حاده نتيجة للتلوث ببكتيريا السلمونيلا والشيقيلا (Salmonellosis, shigellosis) ، وأمراض تسببها بعض البروتوزوا مثل الأميبا والجارديا (Amoebic Desintery، Giardiasis) وهناك أمراض فيروسيه مثل الكوليرا وشلل الأطفال (٤). الجدول ١ يوضح إحصائية لأمراض المياه في الولايات المتحدة الأمريكيه للفتره من عام ١٩٧١م حتى ١٩٨١م (٥) . ويتم التحكم في نوعية المياه من النواحي الحيويه بإستخدام عمليتي الترشيح والتطهير.

- المعادن : من المعروف أن المياه مهما أختلفت مصادرها فهي تحتوي على كميه من المعادن يختلف تركيزها وتنوعها من مصدر إلى آخر ، كما أن تركيزالمعادن في المياه قد يتأثر بتعرض المياه للتلوث. وتقاس المعادن مجتمعه في المياه

جدول (١) إنتشار أمراض المياه في الولايات المتحدة الامريكية
خلال الفترة من ١٩٧١م إلى ١٩٨١م (٥)

المـــــــرض		مرات الانتشار	حالات الإصابة
الإلتهاب المعدي المعوي	(Gastroenteritis)	١٩٢	٣٩,٨٤٥
داء الجيارديات	(Giardiasis)	٥٠	١٩,٨٦٣
داء الشيغلاّت	(Shigellosis)	٢٥	٥,٤٤٨
داء السلمونيلاّت	(Salmonellosis)	٨	١,١٥٠
الإلتهاب الكبدي	(Hepatitis A)	١٦	٤٦٣
الإسهال	(Campylobacter diarrhea)	٤	٣,٩٠٢
الإلتهاب المعدي المعوي الفيروسي	(Viral Gastroenteritis)	١٠	٣,١٤٧
الكوليرا	(Vibrio Cholerae)	١	١٧
الفيروس الدوار	(Rotavirus)	١	١,٧٦١
		٣٠٧	٧٥,٥٩٦



شكل ٠١ توزيع تركيز الايونات والمكونات المختلفة في مصادر المياه في العالم (٥)

بمحتواها من الأملاح الذائبة ، أو درجة الملوحة ، على أن هذا المقياس لا يدل على نوعية الأملاح الموجودة ، حيث أن بعض المعادن قد تكون موجوده بكميات ضئيله لكن أضرارها الصحيه قد تكون خطيره جداً كما هو الحال في المعادن الثقيله مثل الزئبق والرصاص والكروم والكادميوم والزرنيخ والفضه والسيلينيوم ، حيث من الضروري قياس كل منها على إنفراد والتأكد من مطابقته للحدود المسموح بها . ويوضح الشكل ١ متوسط توزيع العناصر والأيونات المعدنية في مصادر المياه على مستوى العالم (٥) . على سبيل المثال إن عنصر الكلوريد يكون تركيزه أقل من ٥٠ جزء في المليون في حوالي ٨٠٪ من عينات المياه في العالم . وتجدر الإشاره إلى أن وجود المعادن في مصادر المياه يأتي في الغالب كنتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تتم بين المياه والصخور أو التربه المحيطه بها خلال عمليات التعريه وإنتقال الرواسب ، كما أن التكوين المعدني قد يتأثر بالتفاعلات الحيويه ويتم تخفيفه أو تركيزه نتيجة لإنتقال المياه خلال الدوره الهيدرولوجيه.

ومن ناحية التأثيرات الصحية للعناصر والأيونات المعدنية في المياه فإن لكل منها حد تركيز معين يعتقد أن تجاوزه قد يؤدي إلى أثار سلبيه على الصحة العامه أو إلى أضرار إقتصادية، وتختلف هذه الأضرار والأثار بإختلاف المعادن وتركيزها ومقدار التعرض لها. كما أن وجود كمية من الأملاح في مياه الشرب يعتبر ضرورياً لصحة الإنسان وذلك لحاجة الجسم إلى مقادير معينة من بعض الأملاح . وكمثال على أهمية الأملاح في المياه فإن بعض الدراسات تشير إلى أن هناك علاقة إيجابية بين نقص العسر في مياه الشرب وبعض أمراض القلب ، إلا أن هذه العلاقة لم تكن واضحة في جميع الدراسات التي أجريت بهذا الصدد(٤). كما أن وجود العسر بتركيز عالي يؤدي إلى صعوبة في إستخدام المياه في الغسيل وإلى ترسيب أملاح العسر في الأنابيب والغلايات . وهناك ملوثات معدنية كثيره في مياه الشرب وضع لها مواصفات معينه تختلف بإختلاف درجة تأثيرها على الصحة وعلى إستخدامات المياه، من هذه الملوثات المعادن الثقيله والنترت والفلورايد والكبريتات.

- المواد العضوية : تتألف المواد العضوية في مياه الشرب من عدة أنواع ، بعضها يكون موجود أصلاً في المياه مثل المواد الهيوميه (Humic Subtances) والتي تتكون

نتيجة لتحليل بقايا النبات والحيوان ، والبعض الأخر يأتي نتيجة لتلوث المياه بالمخلفات الصناعية والزراعيه ومخلفات المدن. وللمواد الهيوميه دور رئيسي في التحكم بالتفاعلات الكيميائية ، حيث أن لها تركيب كيميائي معقد لا تعرف ملامحه بالتفصيل ولها دور فعال في تبادل وإنتقال بعض المركبات والعناصر المعدنية بين المياه وما تلامسه من صخور ورواسب . كما أن للمواد الهيوميه دور كبير في تكوين بعض المركبات الخطيره في مياه الشرب نتيجة لتفاعلها مع كيماويات التطهير ، مثل الكلور ، كما سيأتي ذكره لاحقاً في هذا البحث.

وتشكل المركبات العضويه المصنعه خطراً كبيراً على الصحة العامه ، وقد لوحظ ذلك بوضوح في تلوث بعض مصادر المياه في العديد من الدول الصناعيه.وتتألف هذه الملوثات من مركبات عضويه عديده بعضها لا تعرف أضرارها الصحية بدقة تكفي لوضع حد معين لتركيزها في المياه ، كما أن هناك مواد عضويه جديده تصنع بإستمرار بمعدلات تتجاوز معدلات دراسة هذه المواد ومعرفة أثارها الصحية ، وفي كثير من الأحوال لا توجد طرق تحليلية تكفي لقياس الملوثات وتحديد تركيزها بدقة في مياه الشرب . وتشمل هذه الفئة من المواد العضويه العديد من الكيماويات التي تستخدم في الصناعات المختلفة والمبيدات الزراعية والحشريه وأدوات التنظيف. وتجدر الإشاره إلى أن التقنيه الموجوده حالياً تكفي فقط لتحديد عدد قليل من المواد العضويه في المياه ، حيث أنه قد أمكن قياس حوالي ٥٠٠ فقط من المركبات العضويه البالغ عددها حوالي مليونين في مياه الشرب (٥).

- **العناصر المشعه** : تصل العناصر المشعه إلى مياه الشرب إما عن طريق التكوينات الصخريه والأشعة الكونيه ، أو تأتي نتيجة للتلوث بفعل الإنسان من خلال التفجيرات النوويه وفضلات الإستخدامات الطبيه ، والمختبرات ونواتج تجهيز وإستخدام الوقود في محطات الطاقه النوويه. ويوضح الجدول ٢ بعض الأمثلة عن العناصر المشعه في مياه الشرب ، وتعتبر العناصر المشعه ذات أهمية كبيره في مياه الشرب من النواحي الصحيه . وبصوره عامه فإن كمية المواد المشعه التي يستهلكها الإنسان في مياه الشرب تعتبر ضئيله جداً بمقارنتها بما يتعرض له الإنسان من أشعة كونيه ومصادر طبيعيه أخرى(٥).

جدول ٢ . بعض الأمثلة على العناصر المشعة في مياه الشرب (٥).

عناصر طبيعية	نواتج التلوث
تريتيوم (هيدروجين-٣)	سترونشيوم -٩٠
كربون -١٤	سيزيوم -١٣٧
يورانيوم -٢٣٥	تريتيوم (هيدروجين -٣)
يورانيوم -٢٣٨	كربون -١٤
ثوريوم -٢٣٢	يود - ١٢٥
راديوم -٢٢٣	يود - ١٢٩
راديوم ٢٢٤	يود - ١٣١
رادون -٢٢٠	بلوتونيوم -٢٣٩

بعد أن تعرفنا على أهم العناصر التي تتحكم في نوعية مياه الشرب وتأثيرها على الصحة العامه يتضح لنا أهمية وجود مواصفات للمياه لأكبر عدد ممكن من هذه العناصر ووجود تقنيات المعالجة اللازمة للوصول بالمياه إلى حدود المواصفات . إلا أننا يجب أن نوضح أن مواصفات المياه لا يمكن أن تشمل جميع الملوثات الممكنه ، كما أن الأرقام المذكوره في المواصفات قد لا توفر الحمايه الكافيه من بعض العناصر أو قد تكون أقل بكثير من الحد الاقصى الذي يمكن للإنسان أن يستهلكه بدون أن يتأثر صحياً. كل ذلك يمكن إدراكه عند التعرف على الأسس التي تبنى عليها المواصفات والتي تعتمد في الغالب على دراسات إحصائية وإحتمالات مبنيه على أمور عده منها:

- دراسات معمليه تجريبيه تجرى في الغالب على الحيوانات.
- حوادث إستهلاك سكان بعض المناطق لمياه ملوثه ببعض العناصر .
- مدى توفر التقنيه اللازمه لقياس الملوثات وتقنيات معالجة المياه.
- المقدره الإقتصادية على معالجة المياه (مشكلة الدول الفقيره).
- إقتراحات علميه مبنيه على خبرات سابقه.

المعالجة التقليدية لمياه الشرب

تختلف عمليات المعالجة باختلاف مصادر المياه (جوفية او سطحية) ونوعية المياه والمواصفات الموضوعه لمياه الشرب . ويجب الاشارة الى أن التغير المستمر لمواصفات المياه يؤدي ايضاً في بعض الاحيان الى تغيير في عمليات المعالجة . حيث أن المواصفات يتم تحديثها في الغالب بالاقلال من الحد الاعلى لتركيز بعض مكونات الماء واضافة مكونات جديدة الى قائمة المواصفات . كل ذلك يأتي نتيجة للعديد من العوامل، مثل التطور في تقنيات تحليل المياه وتقنيات المعالجة ، او اكتشاف مكونات جديدة لم تكن موجودة في المياه التقليدية او كانت موجودة ولكن لم يتنبه الى وجودها في السابق ، او معرفة جديدة ببعض المشكلات التي تسببها بعض المكونات الموجودة اصلا في الماء او التي نتجت عن بعض عمليات المعالجة التقليدية . وفيما يلي وصف موجز لعمليات المعالجة التقليدية المستخدمة للمياه السطحية والمياه الجوفيه.

- معالجة المياه السطحية :

تسخر عمليات معالجة المياه السطحية بصورة عامة نحو ازالة المواد العالقة التي تسبب ارتفاعاً في العكارة واللون والرائحة . والمواد العالقة تتكون من مواد عضوية وطينية وتحتوي ايضاً على بعض الكائنات الدقيقة مثل الطحالب والبكتيريا. ونظراً لصغر حجم الحبيبات العالقة ، حيث ان مساحتها السطحية تكون كبيرة بالمقارنة بوزنها ، فإنها تبقى معلقة في الماء ولا ترسب . واضافة الى ذلك فان الخواص السطحية والكيميائية لهذه الحبيبات تزيد من اتزانها في الماء ومقاومتها للترسيب. وتعتبر المعالجة الكيميائية باستخدام عملية التكتيل والترويب هي الطريقة الرئيسية لمعالجة المياه السطحية ، حيث تستخدم بعض المواد الكيميائية التي تقوم باخلال اتزان الحبيبات العالقة وتهيئة الظروف الملائمة لترسيبها وازالتها في احواض للترسيب . ويتبع عملية الترسيب عملية ترشيح باستخدام مرشحات رملية لازالة ما تبقى من الرواسب . من المروبات المشهورة كبريتات الالمنيوم وكلوريد الحديديك ، بالإضافة إلى بعض المروبات المساعده مثل البوليمرات العضويه والبنتونايت والسليكا المنشطة. كما يمكن استخدام الكربون المنشط لازالة العديد من المركبات العضوية التي تسبب تغيرا في طعم ورائحة المياه. وتأتي عملية التطهير بعد عملية الترشيح مباشره وذلك للقضاء على الكائنات الدقيقة التي تسبب الأمراض.

- معالجة المياه الجوفيه :

تعتبر مياه الابار من انقى مصادر المياه الطبيعيه والتي يعتمد عليها الكثير من سكان العالم . الا ان بعض مياه الابار ، وخصوصاً العميقة منها ، قد تحتاج الى عمليات معالجة متقدمة وباهضة التكاليف قد تخرج غن نطاق المعالجة التقليدية . وابسط صورة للمعالجة هي اضافة الكلور للتطهير ثم ضخ المياه الى شبكة التوزيع، اذ تعتبر عملية التطهير هي الحد الادنى للمعالجة في جميع الاحوال . ويستخدم التطهير كعملية وحيدة لمعالجة مياه بعض الابار النقية جدا والتي تفي بجميع مواصفات المياه ، الا ان هذه النوعية من المياه هي الاقل وجودا في الوقت الحاضر .

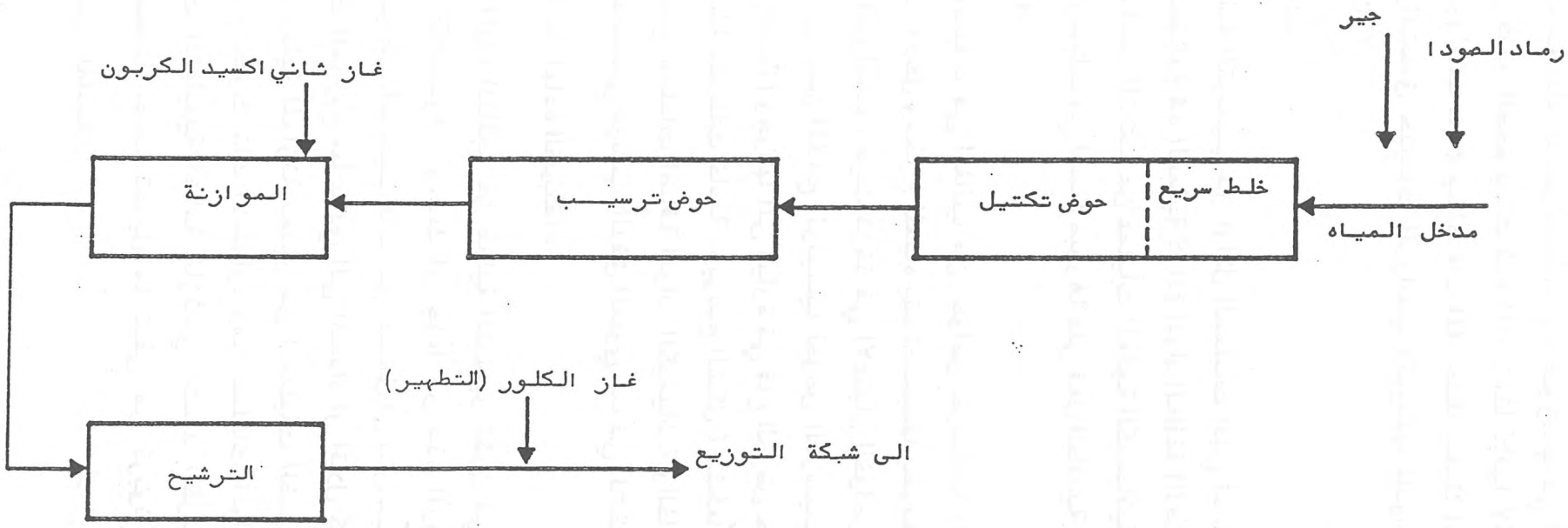
لذلك فان غالبية المياه الجوفية تحتاج الى معالجة فيزيائية وكيميائية (بالاضاف الى التطهير) اما لازالة بعض الغازات الذائبة مثل ثاني أكسد الكربون وكبريتيدالهيدروجين ، أو لإزالة بعض المعادن مثل الحديد والمنجنيز والمعادن المسببه لعسر الماء . وتتم ازالة الغازات الذائبة باستخدام عملية التهوية والتي تقوم ايضاً بازالة جزء من الحديد والمنجنيز عن طريق الاكسده ، وقد يكون الغرض من التهوية هو مجرد التبريد ، كما يحدث لبعض مياه الآبار العميقة التي تكون حرارتها عالية وتستدعي تبريدها حفاظا على كفاءة عمليات المعالجة الاخرى . ويمكن ازالة معادن الحديد والمنجنيزبكفاءة في عمليات الاكسدة الكيميائية باستخدام الكلور او برمنجنات البوتاسيوم.

ان الطابع العام لمعالجة المياه الجوفيه هو ازالة العسر بطريقة الترسيب . ويوضح الشكل ٢ تسلسل العمليات في محطة تقليدية تعالج مياه جوفية تحتوي على نسب عالية من عسر الماء.

وفيما يلي استعراضاً موجزاً للعمليات المختلفة في هذا النوع من المحطات.

أ - عملية التيسير (ازالة العسر) بالترسيب .

يتكون عسر الماء بصورة رئيسية من مركبات الكالسيوم والماغنسيوم. لذلك فان المعالجة تكون موجهه بشكل عام نحو ازالة هذين العنصرين عن طريق الترسيب الكيميائي . ويأتي الاهتمام بعسر الماء نتيجة لتأثيره السلبي على فعالية الصابون ومواد التنظيف الاخرى ، بالاضافة الى تكوين بعض الرواسب في الغلايات وانابيب نقل المياه . وتتم عملية التيسير في محطات المياه باضافة الجير المطفأ (هيدروكسيد الكالسيوم) الى الماء بكميات محددة حيث تحدث تفاعلات كيميائية معينة تتشكل عنها رواسب من كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الماغنيسيوم . وقد يلجأ في كثير من الاحيان الى اضافة رماد الصودا(كربونات الصوديوم) مع الجير للتعامل مع بعض صور العسر . وتتكون عملية التيسير من حوض صغير الحجم نسبياً يجري فيه اضافة الكيماويات ،



شكل ٢ ٠تسلسل عمليات المعالجة في محطة لازالة العسر من المياه الجوفية

حيث تخلط مع الماء الداخل خلطاً سريعاً لتوزيعها في الماء بانتظام ، ثم ينقل الماء الى حوض كبير الحجم يمكث فيه الماء زمنا كافيا لاكمال التفاعلات الكيماوية وتكوين الرواسب حيث يخلط فيه الماء خلطا بطيئا (عملية التكتيل) يكفي فقط لتجميع والتصاق حبيبات الرواسب وتهيئتها للترسيب في المرحلة التالية ، انظر الشكل ٣.

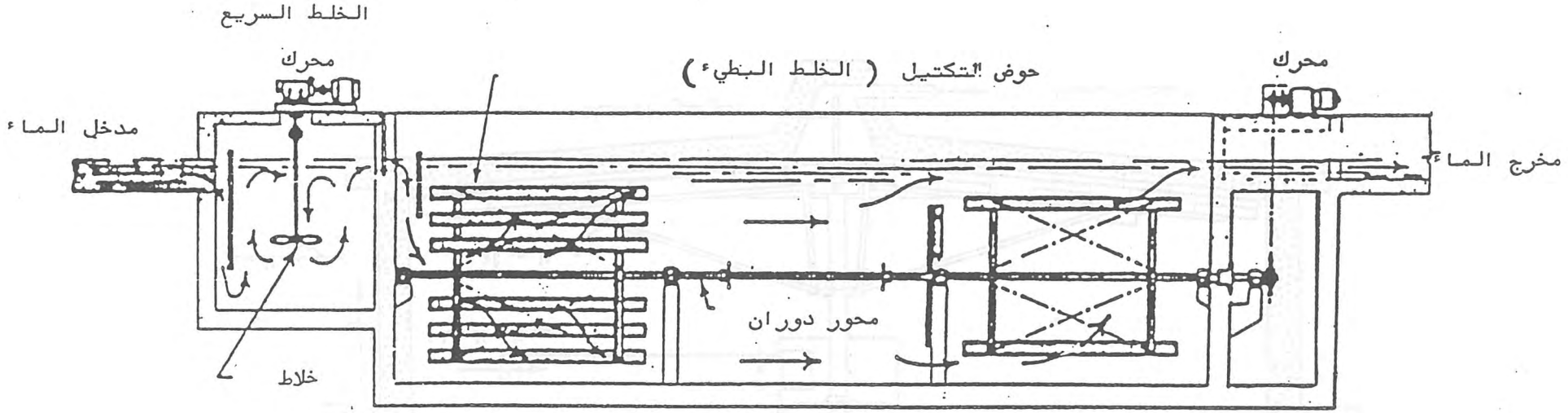
ب - عملية الترسيب :

تعتبر عملية الترسيب من اوائل العمليات التي استخدمها الانسان في معالجة المياه ، وتستخدم هذ العملية لازالة المواد العالقة (العكاره) والقابلة للترسيب او لازالة الرواسب الناتجة عن عمليات المعالجة الكيميائية مثل التيسير والترويب. وتعتمد المرسبات في ابسط صورها على فعل الجاذبية حيث تزال الرواسب تحت تأثير وزنها.

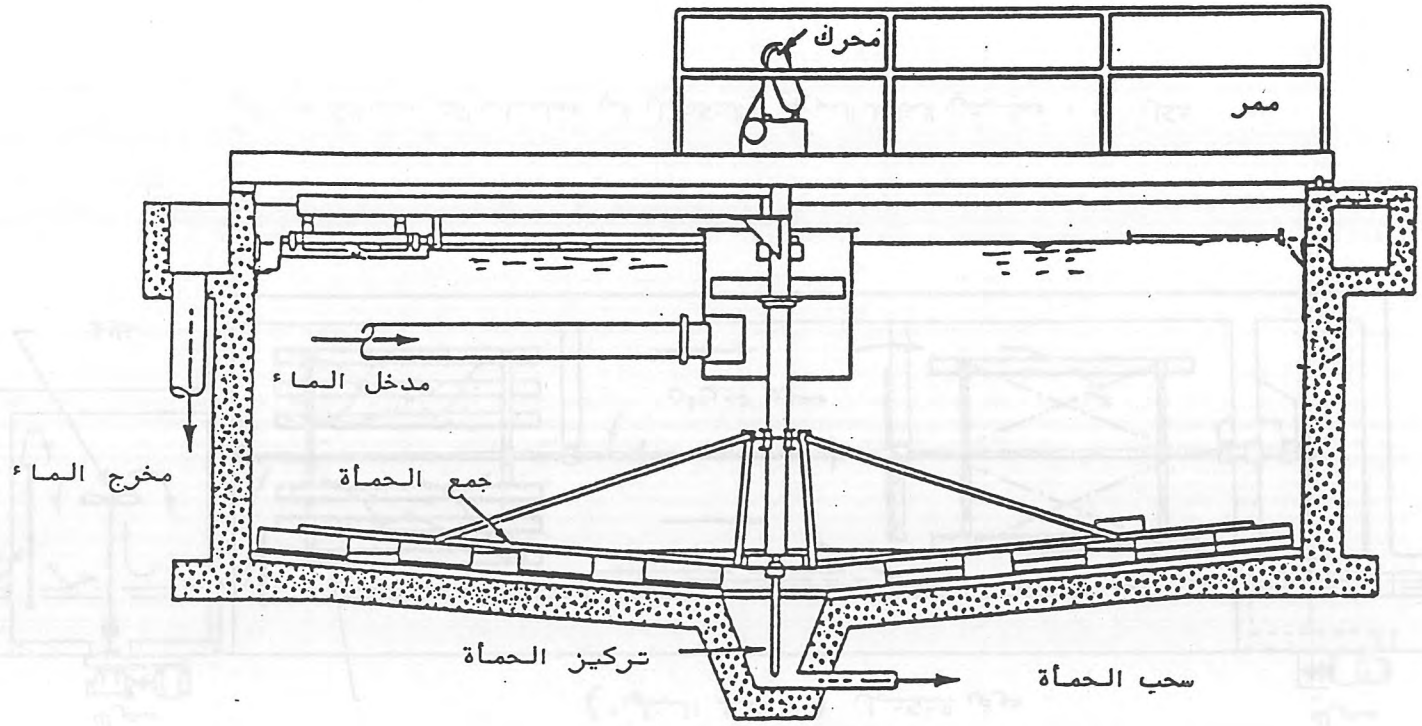
تتكون المرسبات في الغالب من احواض خرسانية دائرية او مستطيلة الشكل تحتوي على مدخل ومخرج للمياه يتم تصميمها بطريقة ملائمة لازالة اكبر كمية ممكنة من الرواسب ، حيث تؤخذ في الاعتبار الخواص الهيدروليكية لحركة الماء داخل الحوض. ومن الملامح الرئيسيه لحوض الترسيب احتواءه على نظام لجمع الرواسب (الحمأة) وجرفها الى بيارة في قاع الحوض حيث يتم سحبها والتخلص منها بواسطة مضخات خاصة . ويوضح الشكل ٤ مقطعاً في حوض ترسيب دائري، كما يمكن دمج عمليات اضافة المواد الكيميائية والخلط البطيء والترسيب في حوض واحد يسمى مرسب الدفق العلوي كما في الشكل ٥.

جـ - عملية الموازنة (اعادة الكربنة) :

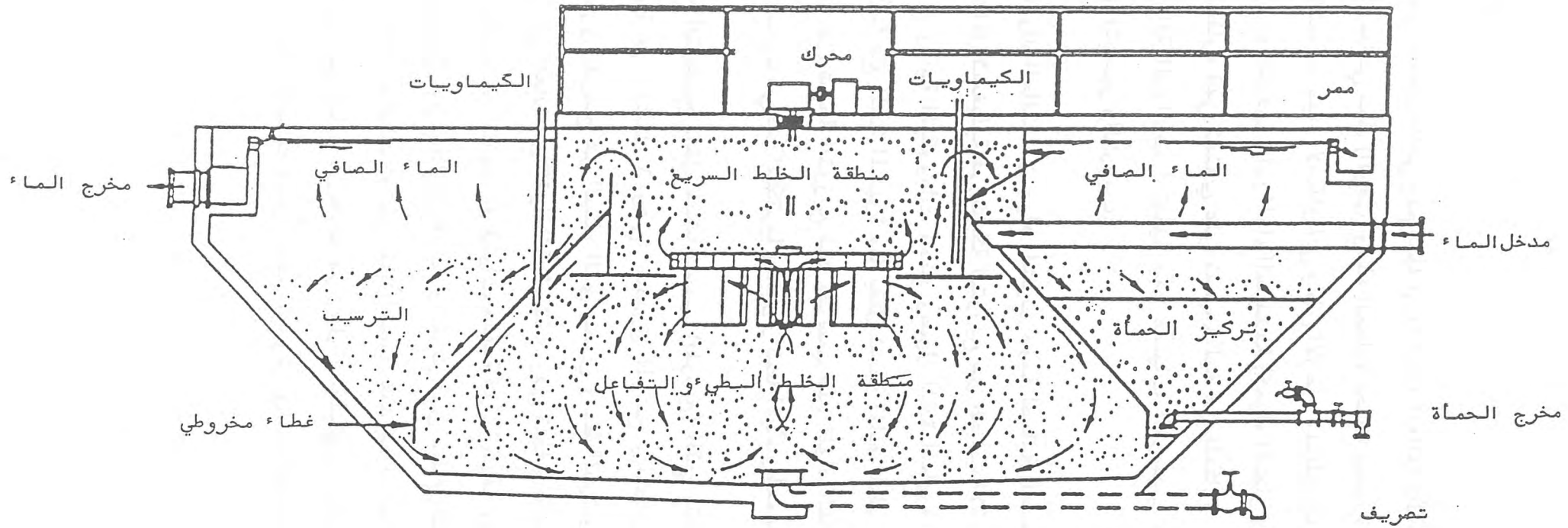
نظراً لان المياه الناتجة عن عملية التيسير تكون في الغالب مشبعة برواسب كربونات الكالسيوم ، وحيث ان جزءا من هذه الرواسب يبقى في الماء بعد مروره باحواض الترسيب فانه من المحتمل ان يترسب بعضها على المرشحات او في شبكات التوزيع مما يؤدي الى انسداد او اقلال كفاءة المرشحات والشبكة . لذلك فان عملية الموازنة تعتبر من العمليات الضرورية بعد عملية التيسير لضمان عدم حدوث تلك الاضرار. ومن عمليات الموازنة الاكثر استخداماً في التطبيقات التقليدية اضافة غازثاني اكسيد الكربون أو حمض الكبريتيك بكميات محددة بهدف تحويل ما تبقى من كربونات الكالسيوم الى صورة البيكروبنات الذائبة.



شكل ٣ • عمليتي الخلط السريع والتكتيل في عمليات الترسيب الكيميائي



شكل ٤، مقطع في حوض ترسيب دائري



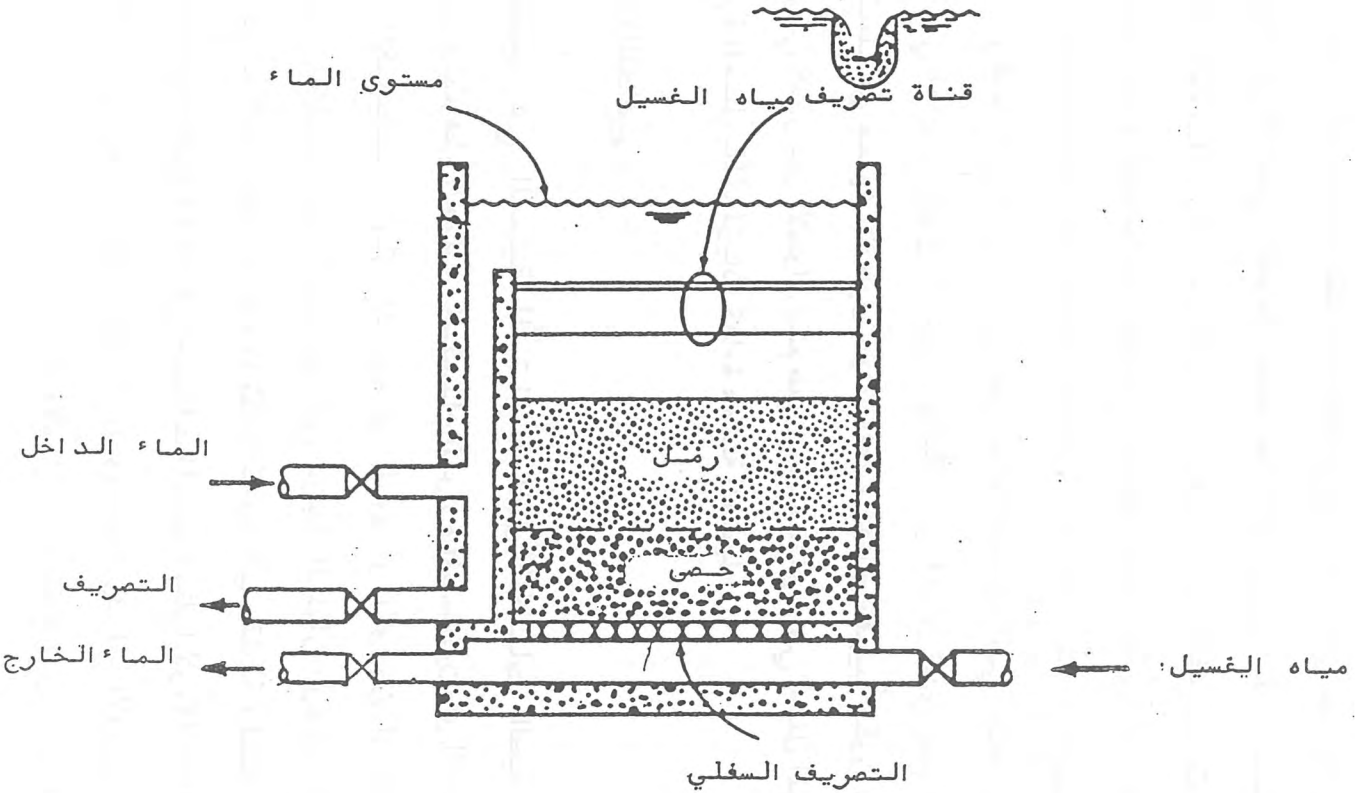
شكل ٥٠ مقطع في مرسب الدفق العلوي

د . عملية الترشيح:

الترشيح هي العملية التي يتم فيها ازالة المواد العالقة (العكارة) ، وذلك بامرار الماء خلال وسط مسامي مثل (الرمل) وهذه العملية تحدث بصورة طبيعية في طبقات الارض ، عندما تتسرب مياه الامطار الى باطن الارض، ولذلك تكون العكارة قليلة جداً او معدومة في المياه الجوفية ، اما المياه السطحية (كمياه الانهار والبحيرات واحواض تجميع مياه الامطار) فهي تحتوي على نسب عالية من العكارة. كما تستخدم عملية الترشيح في ازالة الرواسب المتبقية بعد عمليات الترسيب في عمليات المعالجة الكيميائية مثل التيسير والترويب.

ان ازالة المواد العالقة من مياه الشرب مهمة لحماية الصحة العامة من جانب ولمنع حدوث مشاكل تشغيلية في شبكة التوزيع من الجانب الاخر ، فقد تتسبب هذه المواد العالقة في وقاية الميكروبات ومنع وصول المادة المطهرة اليها ، كما انها قد تتفاعل (كيميائياً) مع المادة المطهرة مما يقلل نسبة المادة المطهرة التي تتعرض لها الميكروبات ، أما في شبكة التوزيع فقد تترسب هذه المواد العالقة في بعض اجزاء الشبكة مما قد يتسبب في نمو البكتريا وتغير رائحة المياه وطعمها ولونها.

تتم عملية الترشيح داخل منشأ يسمى (المرشح) الذي يتكون من ثلاثة اجزاء رئيسية موضحة في الشكل ٦ وهي: صندوق المرشح والتصريف السفلي ووسط الترشيح. وصندوق المرشح هو البناء الذي يحوي وسط الترشيح ونظام التصريف السفلي ، ويبنى في العادة من الخرسانة المسلحة. وفي قاعه يتم تمديد نظام التصريف السفلي ، الذي يتكون من انابيب أو قنوات مثقبة فوقها طبقة من الحصى المدرج لمنع خروج حبيبات الرمل من خلال الثقوب. والغرض من نظام التصريف السفلي هو تجميع المياه المرشحة ، وكذلك توزيع مياه الغسيل عند إجراء عملية الغسيل للمرشح. اما وسط الترشيح فهو عبارة عن طبقة من رمل السيليكون ، وفي التطبيقات الحديثة لعملية الترشيح امكن الاستفادة من الفحم المجروش ورمل الجارنت بالاضافة الى رمل السليكون.



شكل ٥٦ قطاع تفصيلي في مرشح يستخدم لمعالجة مياه الشرب

عندما تمر المياه خلال وسط الترشيح ، تلتصق المواد العالقة بجدران حبيبات الوسط ، ومع استمرار عملية الترشيح تضيق فجوات الوسط المسامي ، وتزداد المقاومة لمرور الماء نتيجة لفقد الضغط الى ان تصل الى حد يكون عنده عمل المرشح فيه صعوبة مع قلة في الكفاءة. فعند هذا الحد يجب ايقاف عملية الترشيح وغسل المرشح لتنظيف الفجوات من الرواسب.وفي عملية الغسيل يتم ضخ ماء من اسفل المرشح عبر نظام التصريف السفلي بضغط عالي يؤدي الى تمدد الوسط وتحرك الحبيبات واصطدامها مع بعضها البعض ، وبذلك يتم تنظيفها مما علق بها من الرواسب. وهذه الرواسب تندفع مع مياه الغسيل التي تتجمع في قنوات خاصة موضوعة في اعلى صندوق المرشح ، وتنقل الى المكان الذي يتم فيه معالجة مخلفات المحطة.وتستغرق عملية الغسيل حوالي ٥-١٠ دقائق تقريباً يكون بعدها المرشح جاهزا للعمل ، وفي كثير من الاحوال يتم ضخ هواء مضغوط في أسفل المرشح لمدة ٣-٥ دقائق قبل عملية الغسل بالماء لزيادة كفاءة عملية الغسيل.

هـ - عملية التطهير :

التطهير هي العملية المستخدمة لقتل الكائنات الحية المسببة للامراض (الجراثيم)، وتتم هذه العملية باستخدام الحرارة (التسخين) او الاشعة فوق البنفسجية او المواد الكيميائية ، مثل البروم او اليود او الاوزون او الكلور. واول طريقة استخدمت للتطهير هي التسخين الى درجة الغليان. وهذه لاتزال افضل طريقة للتطهير في حالات الطوارئ عندما تكون كمية المياه قليلة ، لكنها غير مناسبة عندما تكون كمية المياه كبيرة (كما في محطات المعالجة) نظرا لارتفاع تكلفتها. وتعتبر الاشعة فوق البنفسجية ايضا مكلفة ، وكذلك البروم واليود. اما الاوزون والكلور فقد انتشر استخدامهما في الولايات المتحدة الامريكية والكثيرمن دول العالم . وفي الاونة الاخيرة اتجهت كثير من المحطات في الولايات المتحدة الامريكية الى استخدام الاوزون، بالرغم من عدم ثباته وارتفاع تكلفته (مقارنة بالكلور) ، وذلك لظهور بعض الآثار الصحية السلبية لاستخدام الكلور في تطهير مياه الشرب.

وحينما يستخدم الكلور في عملية التطهير فان العملية تسمى (الكلورة)، وتعتبر عملية الكلورة الطابع السائد في محطات معالجة المياه في منطقة الخليج العربي.

عند إضافة الكلور إلى الماء فإنه يتفاعل سريعاً مكوناً حامض الهيبوكلوروز وايونات الهيبوكلورايت ويتبع ذلك تفاعل حامض الهيبوكلوروز مع الامونيا الموجودة في الماء مكونا امينات الكلور التي يطلق عليه (الكلور المتحد المتبقي) ، وماتبقى من حامض الهيبوكلوروز وايونات الهيبوكلورايت يطلق عليه (الكلور الحر المتبقي). وهذه المركبات (الكلور الحر والكلور المتحد) هي التي تقوم بتطهير الماء وقتل الجراثيم الموجودة فيه ، الا انها تختلف فيما بينها من حيث قوة فعاليتها ، فاكثرها فعالية هو حامض الهيبوكلوروز ، ولذلك يلجأ في كثير من محطات المعالجة الى اضافة الكلور بنسب تكفي للحصول على كلور حر متبقي يضمن تطهير الماء الخارج من المحطة بكفاءة عالية. بل في الغالب تكون كمية الكلور المضاف كافية لتأمين كمية محددة من الكلور الحر المتبقي في شبكة توزيع المياه ، وذلك لتطهير المياه من أي ميكروبات قد تدخل إلى الشبكة.

و - معالجة المخلفات:

هناك مصدرين رئيسين للمخلفات في محطات معالجة المياه ، الاول هو الحمأة المترسبة في احواض الترسيب ، والثاني هو مياه الغسيل الناتجة عن غسل المرشحات. وهذه المخلفات تحتاج الى معالجة لتسهيل عملية التخلص منها ولحماية البيئة من التلوث الناتج عنها. ويتم ذلك بضخ مياه الغسيل الى حوض للترويق ، حيث يضاف اليها مادة كيميائية مناسبة (بوليمر) تساعد على ترسيب المواد العالقة في مياه الغسيل ، وتعاد المياه الناتجة عن هذه العملية إلى بداية خط المعالجة في المحطة.أما الحمأة الناتجة من أحواض الترسيب والمواد المترسبة في حوض الترويق فيتم ارسالها الى حوض للتثخين ، وباضافة البوليمر المناسب يتم تثخين الحمأة ، وتعاد المياه الناتجة عن هذه العملية أيضاً الى مدخل المياه في المحطة. وبعد ذلك تتعرض الحمأة

المثخنة الى عملية نزع المياه منها بطرق ميكانيكية (الطرد المركزي او الترشيح الميكانيكي). وفي نهاية المطاف نحصل على مواد صلبة تحتوي على كميات قليلة من المياه ، وهذه المواد يمكن التخلص منها بوضعها في احواض للتجفيف أودفنها في باطن الارض. كما انه يمكن استخلاص بعض المواد الكيميائية من هذه المخلفات ليعاد استخدامها في عمليات المعالجة.

تحديات جديدة وتقنيات متطورة

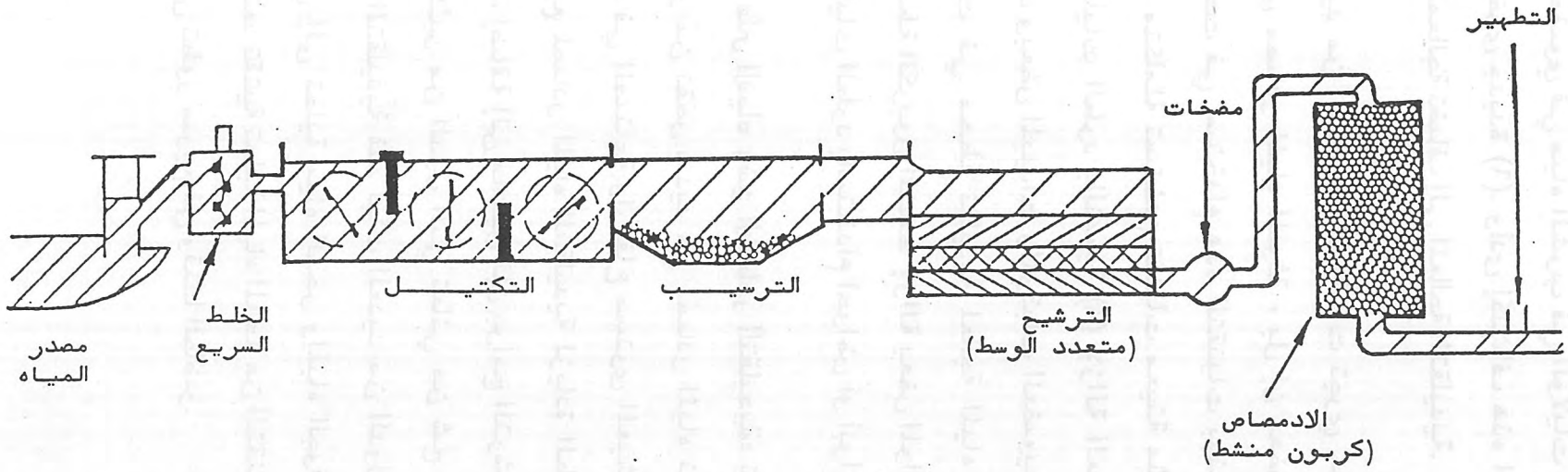
بالرغم من أن طرق المعالجة التقليدية السالفة الذكر لاتزال هي الطابع العام في كثير من دول العالم ، إلا أن السنوات الأخيرة قد شهدت تطوراً مذهلاً وتغيراً ملحوظاً في إتجاهات معالجة مياه الشرب في الدول الصناعية وبعض الدول النامية. وقد جاء هذا التحول كنتيجة حتمية للعديد من العوامل التي من أبرزها تلوث الكثير من مصادر المياه بالمخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن ، كما أن النقص في مصادر المياه الصالحة للشرب في العديد من الدول أدى إلى البحث عن مصادر مياه أخرى غير المصادر التقليدية مما أدى إلى استخدام تقنيات معالجة متقدمة باهظة التكاليف. في الجزء التالي من هذا البحث سنتحدث عن تأثير هذه العوامل وبعض العوامل الأخرى على مسار معالجة المياه في الحاضر والمستقبل.

- **تلوث مصادر المياه:** يعتبر تلوث الكثير من مصادر المياه بالمواد العضوية المصنعة السمة الرئيسية لحوادث التلوث في العالم ، وتصل هذه المواد إلى مياه الشرب في الغالب عن طريق المخلفات الصناعية والزراعية ومخلفات المدن. وقد كانت المخلفات في السابق تحتوي على مواد عضوية طبيعية يمكن إزالتها بواسطة الطرق الحيوية في محطات معالجة المخلفات ثم التخلص منها بأمان دونما تأثير على مصادر المياه. لكن التطور الصناعي السريع خلال نصف القرن الماضي كان من نتائجه تصنيع الملايين من المواد العضوية الغريبة على البيئة والتي يصعب على طرق المعالجة الحيوية لمياة الصرف والمعالجة التقليدية لمياه الشرب إزالتها ، في الواقع إن بعض هذه المواد العضوية المصنعة كان الهدف منها القضاء على الكائنات الحيوية الدقيقة في البيئة

(كما هو الحال في المبيدات). وعلى سبيل المثال فإنه قد تم في عام ١٩٨٣م إكتشاف أكثر من ٣٠٠ مركب عضوي في مياه الشرب في الولايات المتحدة الأمريكية ، وفي كل عام تكتشف مواد أخرى جديدة (٦). وأدى إكتشاف هذه المواد في المياه إلى التحول إلى تقنيات جديدة للمعالجة تضاف إلى المعالجة التقليدية.

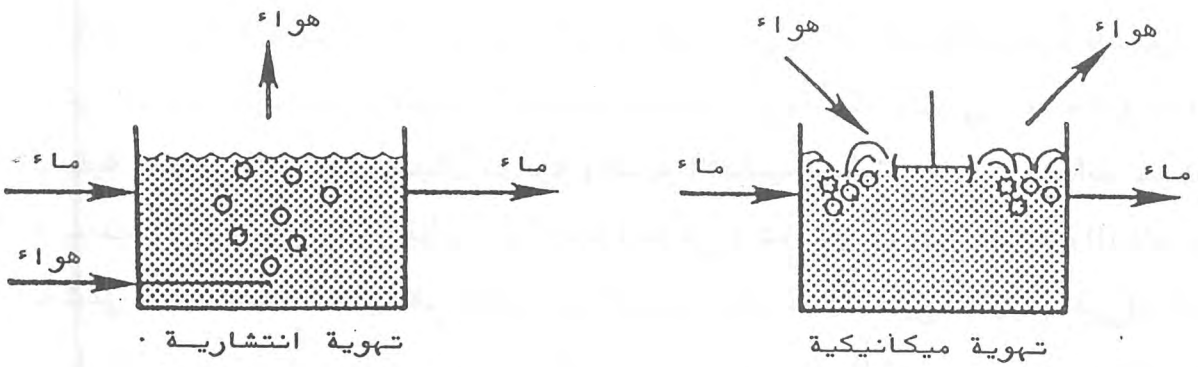
هناك العديد من البحوث والدراسات تجري حالياً لإستخدام تقنيات متطورة جداً لمعالجة بعض مصادر المياه الملوثة ، بل إن بعض المحطات في الولايات المتحدة وأوروبا قد شرعت في إستخدام هذه التقنيات ببناء محطات تجريبية وفي بعض الأحوال محطات متكاملة تستخدم تقنيات معينة مثل الإدمصاص بواسطة الكربون المنشط (٧) وعمليات الطرد بالتهوية (٨) لإزالة العديد من الملوثات العضوية مثل الهيدروكربونات وبعض المبيدات والمركبات العضوية الهالوجينية. ويوضح الشكل ٧ تسلسل العمليات في محطة تقليدية لمعالجة المياه السطحية أضيف إليها عملية الإدمصاص بواسطة الكربون المنشط لإزالة بعض المواد العضوية ، كما يوضح الشكل ٨ صور عديدة لعمليات الطرد باستخدام أحواض أو أبراج التهوية.

- **إزدياد الطلب على المياه وشح المصادر التقليدية:** تعاني الكثير من دول العالم في العصر الحاضر من نقص شديد في مصادر المياه نتيجة للجفاف وإزدياد السكان ، كما أن التقدم في الصناعة وإرتفاع مستوى المعيشة في بعض الدول النامية تبعه استهلاك سريع لمصادر المياه التقليدية لزيادة الطلب مع نقص في الموارد المائية الغير متجددة. إضافة إلى ماسبق فإن برامج الترشيد في إستهلاك المياه تكاد تكون معدومة في كثير من الدول التي تعاني من شح المياه. وكوسيلة لسد العجز في مصادر المياه التقليدية فقد لجأت العديد من الدول ، كما هو الحال في معظم دول الخليج العربي إلى تحلية مياه البحر والمياه الجوفية عالية الملوحة ، تلك المصادر المكلفة جداً. وتعد تقنية تحلية المياه المالحة من التقنيات الحديثة نوعاً ما وتخضع في بعض صورها إلى تطور سريع في وقتنا الحاضر.

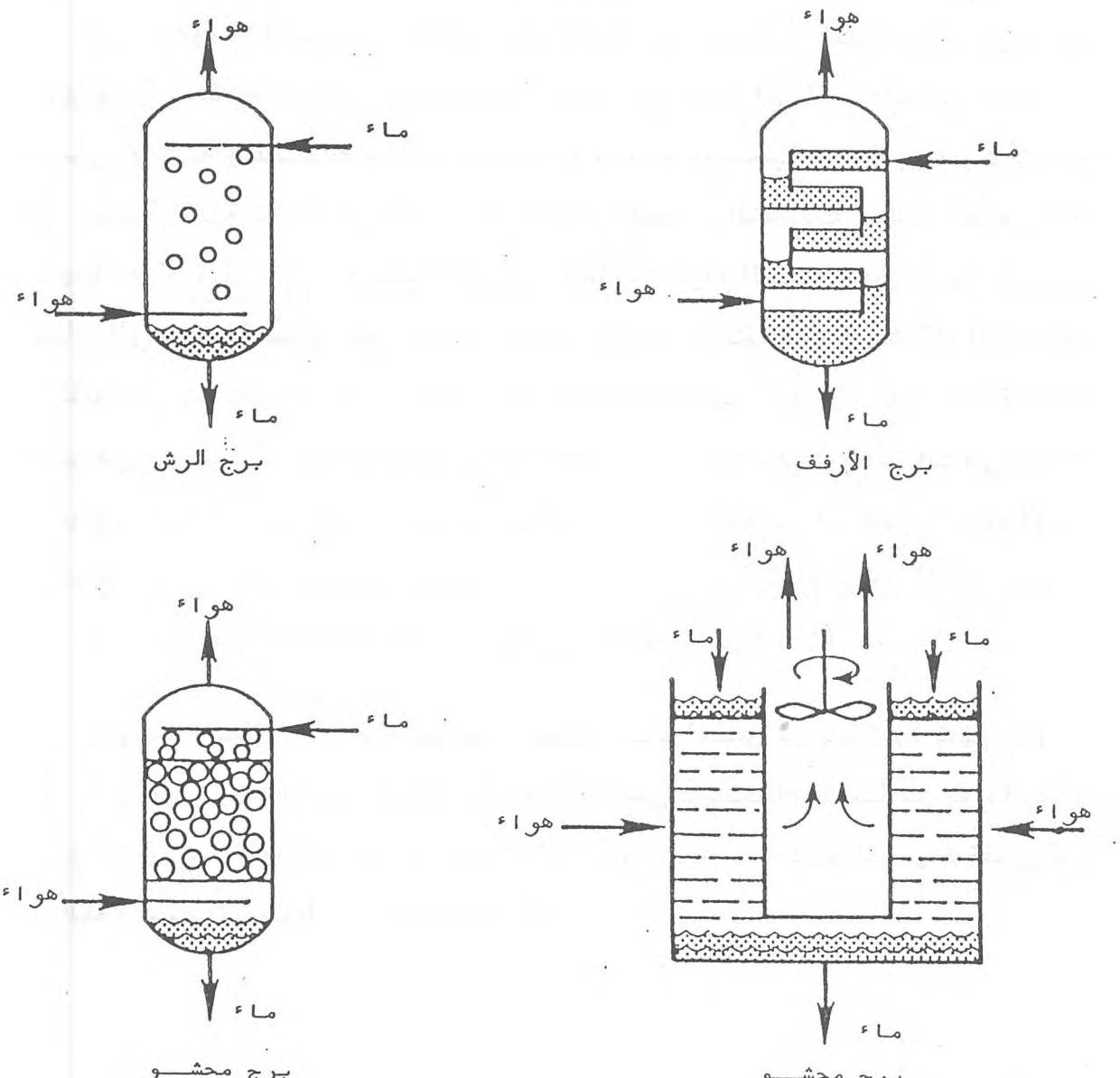


شكل ٠٧ تحديث محطة معالجة تقليدية لتشمل عملية الادمصاص باستخدام الكربون المنشط (٧)

أحواض التهوية



أبراج التهوية

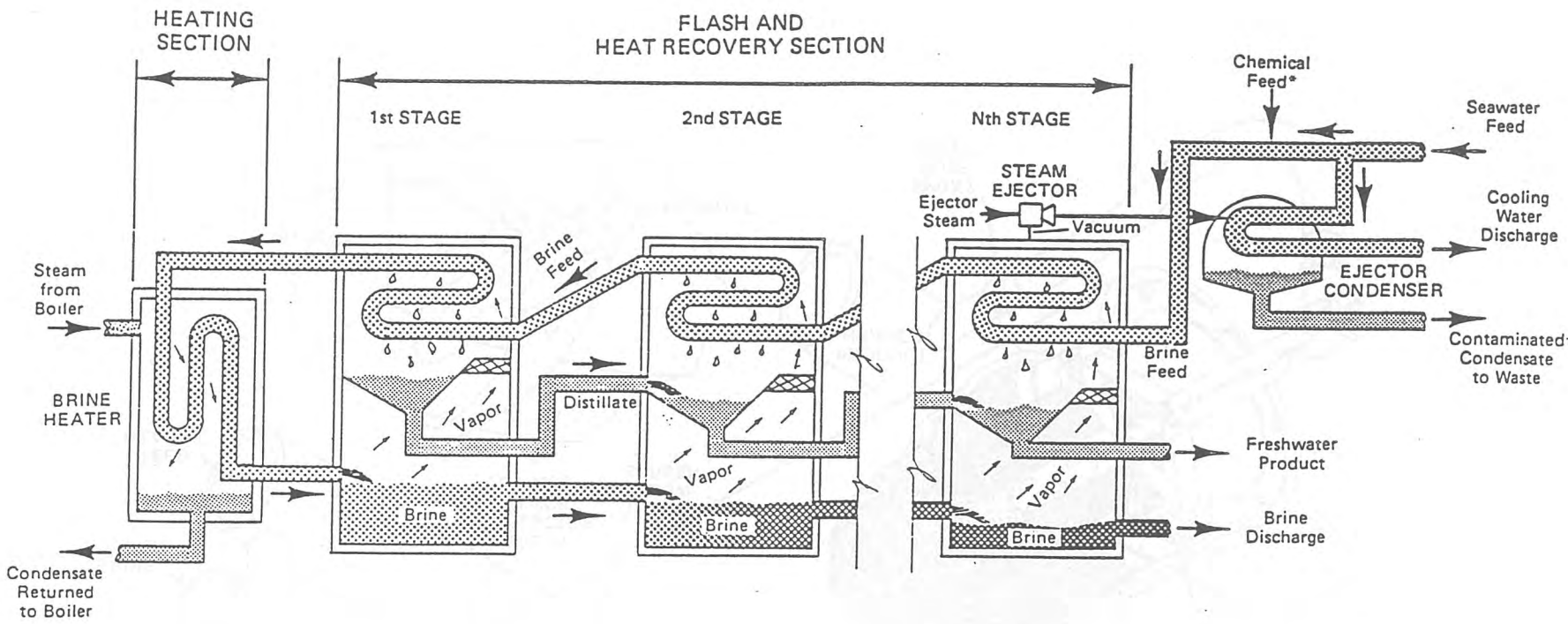


شكل ٠٨ صور عديدة لعمليات الطرد بالتهوية (٨)

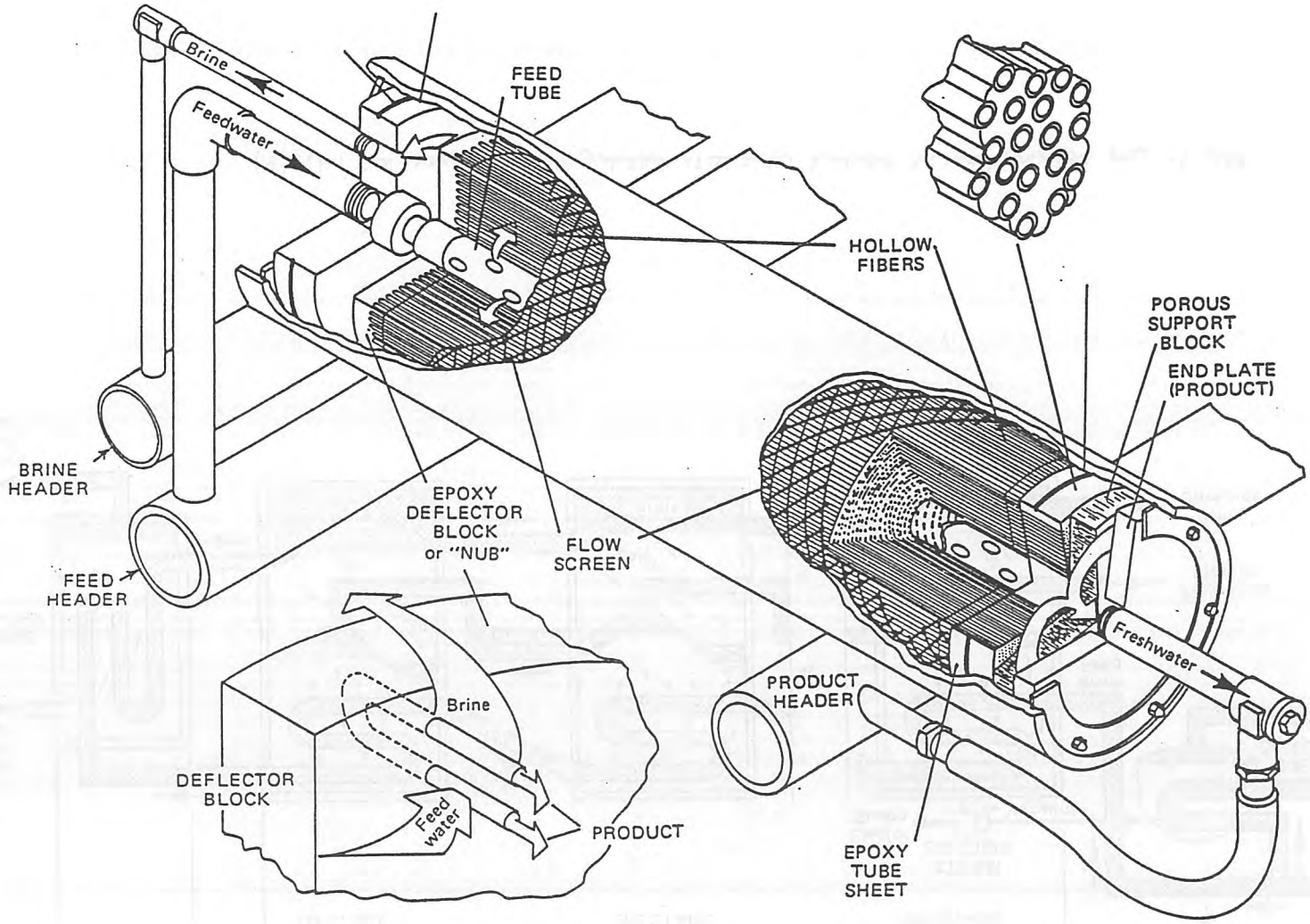
تعتبر عمليات التحلية بإستخدام التقطير الومضي من اوائل الطرق التي استخدمت لهذا الغرض ولاتزال تحتل المركز الأول من ناحية السعة العالمية للتحلية. وتأتي التحلية بإستخدام طريقة التناضح العكسي في المركز التالي ، وتخضع هذه العملية لتطور كبير في مجال نوعية وكفاءة الأغشية ومايتبعها من معدات حيث أصبحت تنافس عمليات التقطير ، ونلاحظ ذلك في إنشاء العديد من محطات التناضح العكسي ذات السعة العالية في كثير من الدول . وتقع دول الخليج العربي في أوائل الدول التي تستخدم عمليات التحلية كمصدر رئيسي لمياه الشرب. ويوضح الشكل ٩ رسماً مبسطاً لعملية التحلية بإستخدام التقطير الومضي متعدد المراحل ، كما يوضح الشكل ١٠ عنصر تناضح عكسي يستخدم أغشية من نوع الألياف الرقيقة الجوفاء (٩).

وتجدر الإشارة إلى أن محطات تحلية المياه من المنشآت المكلفة جداً ، حيث أنه بالإضافة إلى تكلفة عملية التحلية التي تتألف في حالة التناضح العكسي مثلاً من عناصر الأغشية والمضخات والمواد الكيماوية الخاصة بالتحلية .... ، فإن المياه تحتاج إلى معالجة أولية تشبه في كثير من الأحوال المحطات التقليدية لمعالجة المياه وذلك لتهيئة المياه قبل المرور بعملية التحلية. كما أن المياه الناتجة بعد عملية التحلية تحتاج إلى معالجة أخرى لكي تصبح صالحة للشرب وللتقليل من مشاكل الترسيب والتأكل في شبكات المياه ، وتشمل هذه المرحلة التطهير وعملية الموازنة (كإضافة الجير لمنع ترسيب كربونات الكالسيوم).الشكل ١١ يوضح تسلسل العمليات في محطة صلبوخ بمدينة الرياض التي تستخدم عملية التناضح العكسي في معالجة مياه الآبار العميقة التي تبلغ ملوحتها حوالي ١٥٠٠ملجم/لتر ، وتبلغ سعة المحطة حوالي ٣٨,٥٠٠م^{٣}/يوم وملوحة المياه الناتجة حوالي ٢٠٠ملجم/لتر(٩ ، ١٠).

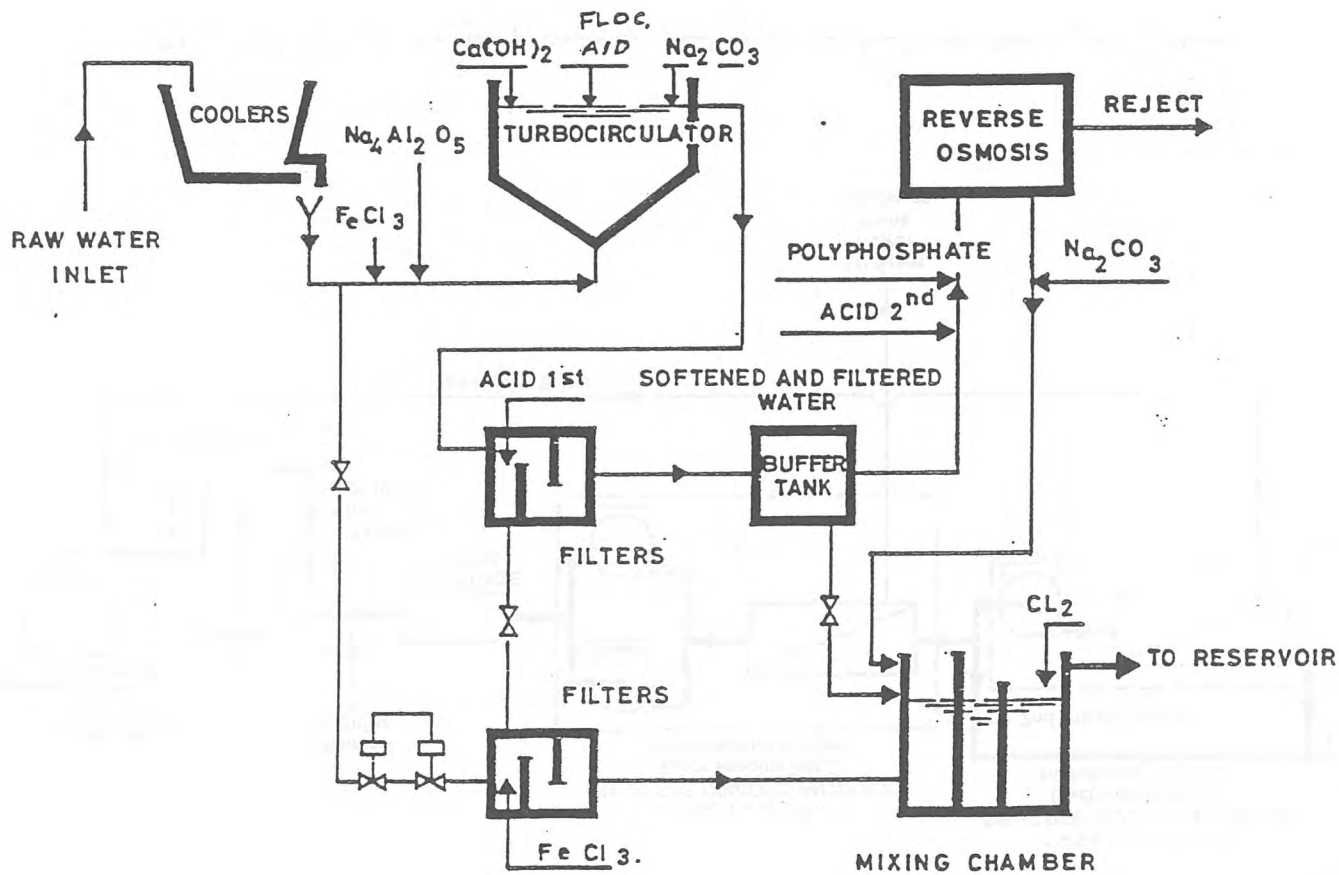
ويوضح الشكل ١٢ إحدى محطات تحلية مياه البحر بمدينة جدة تبلغ طاقتها ١٢,٠٠٠م٣/يوم وتعمل على طريقة التناضح العكسي بإستخدام أغشية من نوع البولي أمايد الجلزونية ، وتبلغ ملوحة مياه البحر حوال ٤١,٠٠٠ملجم/لتر وتنخفض بعد المعالجة والخلط إلى حوال ٥٠٠ملجم/لتر (٩).



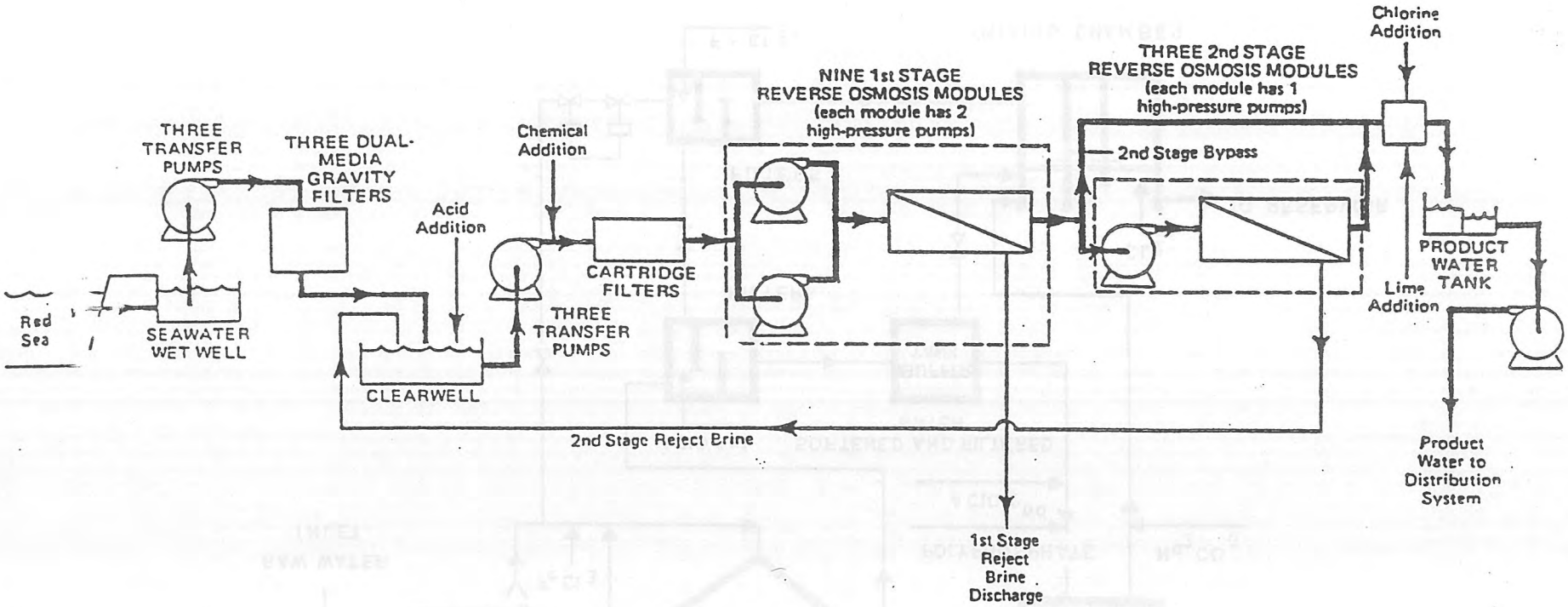
شكل ٠٩ رسم توضيحي لعملية التحلية باستخدام التقطير الومضي متعدد المراحل (٩)



شكل ١٠ ٠ عنصر تناضح عكسي يستخدم الألياف الدقيقة المفرغة (٩)



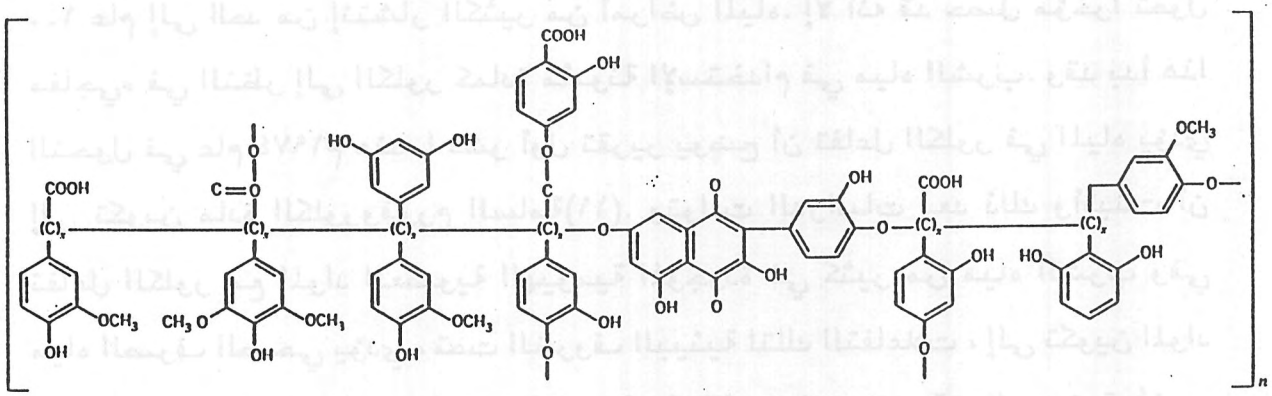
شكل ١١٠ تسلسل العمليات في محطة صلبوخ لتحلية المياه الجوفية باستخدام عملية التناضح العكسي (١٠)



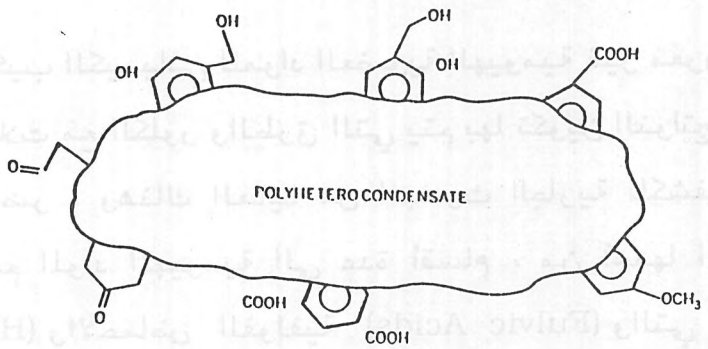
شكل ١٢. تسلسل العمليات في محطة جده لتحلية مياه البحر باستخدام عملية التناضح العكسي (٩)

- **الآثار الصحية لنواتج الكلورة:-** يعتبر الكلور أشهر المواد التي تستخدم في تطهير مياه الشرب ومياه الصرف ، حيث أدى إستخدام الكلور في تطهير المياه منذ حوالي ١٠٠ عام إلى الحد من إنتشار الكثير من أمراض المياه. إلا أنه قد حصل مؤخراً تحول مفاجيء في النظر إلى الكلور كمادة مأمونة الإستخدام في مياه الشرب. وقد بدأ هذا التحول في عام ١٩٧٤م عندما نشر أول تقرير يوضح أن تفاعل الكلور في المياه يؤدي إلى تكوين مادة الكلوروفورم السامة(١١). وتوالت الدراسات بعد ذلك وأثبتت أن تفاعل الكلور مع المواد العضوية الهيومية الموجودة في كثير من مياه الشرب وفي مياه الصرف الصحي يؤدي ، تحت الظروف البيئية لتلك التفاعلات ، إلى تكوين المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين (Trihalomethanes) ومواد عضوية هالوجينية أخرى كنتيجة لعملية الأكسدة (١٢-١٧). وتشمل المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين عدة مركبات من أهمها الكلوروفورم والبروموفورم والبرومودايكلور وميثان والدايبروموكلوروميثان. ويعتقد أن هذه المواد وغيرها من نواتج الكلورة قد تسبب السرطان ، ووضعت مصلحة حماية البيئة الأمريكية ومنظمة الصحة العالمية الحد الأعلى لتركيز مجموع المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين في مياه الشرب عند ٠,١ ملجم/لتر.

ولأن التركيب الكيميائي للمواد العضوية الهيومية غير معروف بالتفصيل فإن مسارات التفاعلات مع الكلور والطرق التي يتم بها تكوين النواتج غير واضحة تماماً في الوقت الحاضر ، وهناك العديد من البحوث الجارية للكشف عن أسرار هذه التفاعلات.وتقسم المواد الهيومية إلى عدة أقسام ، من أهمها الأحماض الهيومية (Humic Acids) والأحماض الفولفية (Fulvic Acids) والتي يختلف تركيبها الكيميائي من مصدر إلى آخر. ويوضح الشكل ١٣ نموذجين مقترحين للتركيب الكيميائي للأحماض الهيومية ، حيث أن العديد من الدراسات توحي بأن هذه المواد عبارة عن جزيئات كبيرة معقدة تتكون من كتلة وسطية تحتوي في أطرافها على مجموعات كيميائية تتحكم في خواصها التفاعلية ودورها في المياه ، من أهم هذه المجموعات كما هو واضح في الشكل مجموعات الهيدروكسيل والكربوكسيل الحامضية



نموذج (أ)



نموذج (ب)

شكل ٠١٣ نموذجين مقترحين للتركيب الكيميائي للأحماض الهيومية (١٩٠١٨)

وحلقات الفينول والميثوكسيل (١٨، ١٩). كما أن تفاعل الكلور مع المواد الهيومية لإنتاج المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين تتحكم فيه عدة عوامل ، من أهمها تركيز المواد العضوية والكلور ودرجة الحرارة وزمن التفاعل والرقم الهيدروجيني.

وقد أدى اكتشاف نواتج الكلورة في مياه الشرب إلى البحث عن أفضل السبل للحد من المشكلة وإلى تكثيف الدراسات حول نواتج تطهير المياه.وتتركز الحلول المقترحة للتخفيف من مشكلة نواتج الكلورة على النقاط التالية:

* إستخدام مطهرات أخرى بديلة عن الكلور.

* إزالة المواد الهيومية قبل وصولها إلى مرحلة الكلورة.

* إزالة المواد العضوية المكلورة بعد تكوينها.

جميع الحلول المذكورة تؤدي من الناحية النظرية إلى الإقلال من تركيز المواد العضوية المكلورة في المياه المعالجة ، إلا أن الدراسات التي أجريت ومازالت تجري تدل على أن المشكلة ليست بالسهلة وأن إمكانية إستخدام أي من الحلول ودرجة الإستفادة منه تختلف بإختلاف مصادر المياه وطبيعة المعالجة في المحطات القائمة. ومن بدائل الكلور المقترحة والتي تم دراستها : الأوزون والكلورامين وثاني اكسيد الكلور ، وقد ثبت أن هذه البدائل لاينتج عنها المواد العضوية المكلورة التي تنتج عن الكلور ، مثل المواد العضوية ثلاثية الهالوجين.غير أن الحماس لبدائل الكلور قد تباطأ مؤخراً لأنه أتضح أن بدائل الكلور تنتج أيضاً عنها مواد أخرى عضوية وغير عضوية تعتبر ضارة بالصحة ويجب إزالتها من المياه المعالجة.فمثلاً إستخدام ثاني أكسيد الكلور يؤدي إلى تكوين الكلورايت والكلوريت بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكلور المتبقي بعد المعالجة (٢٠). كما أن ثاني أكسيد الكلور يمكن أن يعاد تكوينه داخل شبكة التوزيع مما يؤدي إلي ظهور روائح تشبه رائحة الكيروسين أو المبيدات الحشرية في مياه الشرب (٢١).

وينتج عن إستخدام الأوزون مركبات عديدة مثل الفورمالدهايد والأسيتالدهايد، كما ينتج عن الكلورامين مركبات مثل كلوريد السيانوجين (٢٢).

تعتبر عملية الإدمصاص بإستخدام الكربون المنشط في أوائل العمليات التي درست لإزالة المواد العضوية الهيومية قبل مرحلة الكلورة كوسيلة للإقلال من نواتج الكلورة ، إلا أن هذه العملية تلاقي معارضة بسبب تكلفتها الكبيرة وضعف كفائتها (٧).ويعتقد أن تحسين كفاءة طرق المعالجة التقليدية ، مثل عمليات الترويب - الترسيب - الترشيح ، تؤدي في كثير من الأحوال إلى إزالة كمية كبيرة من المواد الهيومية قبل عملية الكلورة (٢٣).

ويمكن إزالة جزء كبير من نواتج عملية الكلورة بعد تكوينها بإستخدام عدة طرق، منها عملية الطرد بالتهوية لإزالة المواد المتطايرة (٨) وعملية الإدمصاص بإستخدام الكربون المنشط. وجميع هذه العمليات تضيف عبئاً مادياً كبيراً على محطات المعالجة، لذلك فإن إختيار الحل الأمثل للتحكم في نواتج الكلورة يجب بناءه على دراسة مفصلة لطبيعة المياه وطرق المعالجة القائمة أخذين في الإعتبار كفاءة العمليات المقترحة وتكلفتها.

- **تلوث المياه داخل شبكات التوزيع:** على الرغم من أن نوعية المياه عند مغادرة محطة المعالجة تكون مقبولة ، إلا أنها قد تتغير وتتلوث عند مرورها داخل شبكة التوزيع والشبكات المنزلية. وقد يحدث التغير نتيجة لعوامل كيميائية أو حيوية أو نتيجة للتلوث من خارج الشبكة. ويعتبر التآكل وتحلل مواد الشبكة من أهم مصادر التلوث داخل الشبكة ، حيث يؤدي إلى إذابة بعض العناصر من مواد الأنابيب والوصلات والطبقات الواقية التي توضع للحد من التآكل ، وألياف الأسبستوس وكلوريد الفينيل ومواد أخرى عديدة تنتج عن إستخدام بعض الأنابيب البلاستيكية ومواد اللحام. كما أن ترسب بعض المواد الكيماوية مثل أملاح الحديد والمنجنيز والكربونات قد يؤثر سلباً على نوعية المياه في الشبكة . وربما تؤدي بعض الكيماويات المستخدمة في المعالجة إلى تدهور نوعية المياه داخل الشبكة.

فمثلاً بقاء نسبة معينة من الكلور بعد المعالجة مع وجود نسبة من المواد الهيومية في المياه يؤدي إلى استمرار تكوين المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين داخل الشبكة والتي يزداد تركيزها بإزدياد زمن مكوث المياه في الشبكة ووجود الظروف الملائمة من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني. ومن الممكن أن تسوء نوعية المياه داخل الشبكة نتيجة للتلوث الحيوي ، حيث قد تصل الكائنات الدقيقة من بكتريا وفيروسات وغيرها إلى داخل الشبكة نتيجة لعدم كفاءة المعالجة أو بسبب تلوث خارجي للشبكة بواسطة مياه الصرف. وقد تتكاثر الكائنات الدقيقة في المياه أو على الأسطح الداخلية للأنابيب مما يؤدي إلى إنتشار بعض أمراض المياه ، كما تساهم بعض الكائنات الدقيقة في العديد من التفاعلات الحيوكيميائية في بعض عمليات التآكل.

وبالنظر إلى أنواع وأسباب التلوث داخل الشبكات يتضح أنه للتحكم فيه يجب العناية في إختيار مواد الشبكات وتصميمها وصيانتها أولاً ، كما أن العديد من صور التلوث تستدعي العناية بمعالجة المياه في المحطات والرفع من كفائتها. فمثلاً للتحكم في التآكل ومايُنتج عنه من معادن سامة يجب على المحطات أن تمارس برنامج معالجة معين يساعد على إزالة الظروف التي تؤدي إلى التآكل ، مثل التحكم في الرقم الهيدروجيني والقلوية وإضافة بعض المواد الكيماوية التي تمنع التآكل. ولمنع ترسب أكاسيد الحديد والمنجنيز فإنه يجب إزالة هذين العنصرين في محطة المعالجة بإستخدام عمليات الأكسدة والترسيب والترشيح. كما يمكن منع ترسب كربونات الكالسيوم في الشبكة بالحفاظ على الإتزان الكربوني للمياه عند مغادرة المحطة بإضافة الكيماويات اللازمة ، كما يحدث في عملية إعادة الكربنة مثلاً.

- **مشكلة الفلورايد:** من المعروف أن هناك علاقة وثيقة بين مايستهلكه الإنسان من الفلورايد وصحة الأسنان ، وقد وضعت مواصفات مياه الشرب حدوداً معينة لتركيز الفلورايد في المياه تتناسب مع كمية المياه التي يستهلكها الإنسان خلال فصول السنة المختلفة.

وفي السابق كان الجدل حول إضافة الفلورايد إلى مياه الشرب في حالة وجوده بنسب أقل من المواصفات ، حيث أن بعض المجتمعات تضيف الفلورايد إلى المياه في حالة نقصه والبعض الآخر يمتنع بدعوى أن الأنسان يمكن أن يحصل على الفلورايد من مصادر أخرى عدا مياه الشرب. وزاد في هذه المشكلة ظهور العديد من التقارير المتناقضة حول العلاقة بين نسبة الفلورايد في مياه الشرب وصحة الأسنان بناءاً على دراسات لمجتمعات تحتوي مياهها على النسبة اللازمة من الفلورايد ومجتمعات أخرى تقل نسبة الفلورايد في مياهها عن الحد المطلوب.

إلا أن ماورد في السابق حول موضوع الفلورايد كان أقل حساسية مما ورد مؤخراً في أحد التقارير الطبية الأمريكية عن إحتمال وجود علاقة بين نسبة الفلورايد في المياه والإصابة بالسرطان ، حيث سارعت الجهات المعنية هناك إلى التأكيد على أن هذه المعلومات مازالت تحت الدراسة ولم يتوصل فيها إلى قرار نهائي يؤكد ذلك الإدعاء(٢٢).

تعتبر العوامل التي ذكرناها سابقاً أهم المؤثرات على إتجاهات تقنيات معالجة المياه في دول العالم ، ويختلف تأثير تلك العوامل بإختلاف نوعية وكمية المياه الموجودة في كل منطقة ومدى التطور الصناعي والتقني ومايتبعه من إحتمالات تلوث مصادر المياه والنواحي الإقتصادية. ربما تكون المعالجة التقليدية هي الأساس في كثير من المناطق وتضاف إليها عمليات متقدمة عند الحاجة حسب نوعية المياه والمواصفات الموضوعة للمياه المعالجة.وهناك تقنيات أخرى للمعالجة بالإضافة لما ذكرنا تلاقي إهتماماً خاصاً في بعض مناطق العالم ، من أمثلة ذلك عمليات المعالجة الحيوية وتقنيات إزالة النظائر المشعة من مياه الشرب. من المعروف أن للمعالجة الحيوية دور كبير في معالجة مياه الصرف في جميع أنحاء العالم ولاتزال هي الطابع الرئيسي لمعالجة تلك المياه ، إلا أن إستخدامها في معالجة مياه الشرب لايزال في المراحل التجريبية والبحثية.

وتشير البحوث الجارية إلى فعالية المعالجة الحيوية في إزالة بعض الملوثات التي تعجز عنها المعالجة التقليدية مثل المواد العضوية القابلة للتحلل والمواد العضوية الصناعية والنشادر والنترات والحديد والمنجنيز ، إلا أن إستخدام العمليات الحيوية في معالجة مياه الشرب يستدعى دراسات مكثفة للنواحي الصحية والتشغيلية لتلك العمليات. ومن العوامل الهامة في هذا الشأن : عدم إستقرار العمليات الحيوية نتيجة للتغير في نوعية المياه الداخلة وحساسية الكائنات الدقيقة لهذه التغيرات ، طول الفترة الزمنية اللازمة من بدأ العمليات الحيوية حتى وصولها إلى مرحلة الإستقرار مع ضمان إستمرار العملية ، تأثير نواتج العمليات الحيوية على الصحة العامة ، وإحتمال وجود بعض الكائنات الدقيقة الضارة بالصحة في المياه المعالجة (٢٥).

وقد أدى إكتشاف بعض النظائر المشعة مثل الرادون والراديوم واليورانيوم في بعض مصادر المياه الجوفية إلى البحث الجاد عن أفضل السبل لإزالتها. ومن التقنيات التي تدرس حالياً لهذا الغرض بالإضافة إلى المعالجة التقليدية نذكر عمليات التبادل الأيوني والإدمصاص بإستخدام الألومينا المنشطة وعمليات التناضح العكسي (٢٦-٢٨).

تقنيات المعالجة في دول الخليج العربي

المياه الجوفية هي المصدر التقليدي لمياه الشرب في دول الخليج ، إلا أن هذا المصدر الغير متجدد في الغالب لم يعد يوفي بإحتياجات المنطقة من المياه نتيجة للتطور السريع في المجالات الصناعية والزراعية ونتيجة للزيادة في عدد السكان حول المناطق الحضرية ، بالإضافة إلى حالة الجفاف التي تعاني منها المنطقة منذ سنوات عدة ، وقد أدى ذلك إلى البحث عن مصادر أخرى للمياه غير المصادر التقليدية ، وتمثل ذلك في التركيز على تحلية مياه البحر بإستخدام تقنيات التحلية المشهورة مثل التقطير الومضي والتناضح العكس حتى كادت تكون مياه البحر هي المصدر الرئيسي لمياه الشرب في المنطقة. وقد بلغت الطاقة الإنتاجية لمحطات تحلية المياه العاملة بدول مجلس التعاون لدول الخليج العربي مايزيد عن ٥ ملايين م٣ /يوم ، أي بنسبة تصل إلى ٣٠٪ من المجموع الكلي للمياه المستهلكة في دول المجلس لجميع الأغراض والتي تبلغ مايقارب ١٨ مليون م٣/يوم (٢٩).

لاشك أن التحول إلى تحلية مياه البحر قد أدى إلى استخدام تقنيات متطورة جداً ومكلفة جداً في نفس الوقت تعمل جنباً إلى جنب مع التقنيات التقليدية لمعالجة المياه ، وفي بعض الأحوال تكون عمليات التحلية إمتداداً للمعالجة التقليدية في المحطات القائمة. غير أن تحلية المياه قد لاتكون الصورة الوحيدة للتحول في تقنيات المعالجة في المنطقة للمرحلة القادمة نظراً لأن النهضة الصناعية في تطور سريع قد يتبعه تلوث بعض مصادر المياه التقليدية ومياه البحر إذا لم تؤخذ في الإعتبار الإحتياطات اللازمة للتحكم في التلوث بمعالجة فائض المصانع والتعامل مع المواد الكيماوية الخطرة والمبيدات بطرق سليمة تحد من إمكانية تلوث البيئة ومصادر المياه.

وتجدر الإشارة إلى أن المعلومات المتاحة حول وضع المياه في منطقة الخليج قليلة جداً ولا توضح مدى تفاعل الجهات المسؤولة عن نوعية ومعالجة المياه مع المتغيرات التي تحدث في تقنيات المعالجة. حيث أن المياه في المنطقة هي كبقية المياه في دول العالم يمكن أن تحوي بعض مصادرها على مواد أو ملوثات يجب

إبرازها والتعامل معها. وربما يعزى عدم توفر المعلومات لدى الوسط العلمي والمتخصصين إلى أحد أمرين ، إما أن المعلومات والدراسات اللازمة غير متوفرة لدى الجهات المسؤولة عن المياه ، أو أنه لا توجد قنوات وأوعية معلومات (من مجلات أو تقارير دورية) متاحة للباحثين والمتخصصين في مجال المياه. ومن المؤسف جداً أن الباحث يجد قنوات عديدة من بحوث منشورة وتقارير متخصصة كثيرة تصدر عن الجهات المعنية بالمياه في العديد من دول العالم ، ولكن يواجه صعوبة شديدة في الحصول على مثل هذه المعلومات عن منطقة الخليج والمنطقة العربية بشكل عام. لذلك فإن مثل هذه المعلومات في حالة وجودها مع عدم إتاحتها للمتخصصين تصبح محدودة الفائدة ولاتسهم كما يجب في تفاعل الوسط العلمي مع إحتياجات المجتمع وصولاً إلى تطوير فعال لتقنيات معالجة المياه بالإستفادة من الخبرات المحلية المتخصصة. فمن إحتمالات التلوث الطبيعي أو الصناعي للمياه في المنطقة التي يجب إبرازها والتفاعل معها ومضاعفة الجهود لتقييمها ووضع الحلول لها نذكر مايلي:

- وضع الفلورايد في مياه الشرب والتوجهات الحالية والمستقبلية.

- التركيزات العالية للنترات والمواد المشعة (مثل اليورانيوم-الراديوم -الرادون) في بعض مصادر المياه الجوفية.

- الدراسات الخاصة بتركيزات المواد الميثانية ثلاثية الهالوجين وغيرها من المواد العضوية الناتجة عن كلورة بعض المياه السطحية ومياه البحر.

- تأثير إعادة إستخدام مياه الصرف في الأغراض المختلفة على مصادر مياه الشرب.

- إحتمالات وجود تركيزات عالية لبعض المعادن الثقيلة في مياه الشرب (مثل الرصاص ، الكادميوم ، النحاس ، الزنك .... الخ) نتيجة للتأكل في شبكات توزيع المياه والشبكات المنزلية.

الإستنتاجات

تم خلال هذا البحث إستعراض المسيرة التاريخية لتقنيات معالجة مياه الشرب ، مع التركيز على الملامح الهامة للتغيرات الحديثة في هذه التقنيات ومناقشة العناصر الرئيسية التي أدت إلى هذه التغيرات. كما تم اعطاء فكرة موجزة جداً عن وضع مصادر المياه وتقنيات المعالجة في منطقة الخليج العربي. وفيما يلي بعض الاستنتاجات التى تم التوصل اليها من خلال البحث:

أولاً: إن التطور الفعلي لتقنيات معالجة مياه الشرب حدث خلال القرن الحالي فقط ، حيث أن التطور الذي تم في كثير من العلوم وخصوصاً مايتعلق بجراثيم الأمراض وإنتقالها وتأثير السموم على الانسان ، قد أدى إلى تطوير طرق المعالجة بحيث توفر الحماية الصحية للإنسان بالإضافة إلى تأمين أهداف المعالجة السابقة لذلك والتي كانت تشمل تحسين منظر وطعم الماء فقط.

ثانياً: يُعتبر تطهير المياه بإستخدام الكلور من اوائل وأهم عمليات المعالجة التي أدت إلى التقليل الحاد من إنتشار الأمراض بواسطة مياه الشرب مع بداية القرن الحالي ، غير أن عملية الكلورة قد تعرضت مؤخراً للإنتقاد والمراجعة والبحث عن بدائل لها نتيجة لتكّون بعض النتائج الضارة عند تفاعل الكلور مع المواد الهيومية الموجودة في بعض مصادر المياه.

ثالثاً: هناك مجموعة من العوامل أدت إلى حدوث تغير ملحوظ في تقنيات المعالجة في كثير من دول العالم وابتعادها نوعاً ما عن المسار التقليدي للمعالجة ويختلف تأثير هذه العوامل على الدول باختلاف وضع المياه من الناحية الكمية والنوعية في كل دولة ، من هذه العوامل:

- التطور العلمي في مجال أمراض المياه وعناصر إنتقال الأمراض .

- المعرفة الدقيقة للتأثيرات الصحية للكثير من الملوثات المائية.

- تطور تقنيات الكشف عن الملوثات العضوية وغير العضوية في مياه الشرب.

- إزدياد الطلب على الماء والبحث عن مصادر أخرى غير المصادر التقليدية.

- إزدياد حالات تلوث المياه نتيجة للمخلفات الصناعية والمبيدات الزراعية.

- إكتشاف نواتج كيميائية ضارة لبعض عمليات المعالجة التقليدية.

رابعا: إن عمليات المعالجة التقليدية كانت في الغالب تشمل عمليات معينة مثل الترويب والترسيب في معالجة المياه السطحية ، وإزالة العسر من المياه الجوفية بإستخدام الجير المطفأ ورماد الصودا ، بينما تشتمل المعالجة لبعض مصادر المياه في الوقت الحاضر على عمليات وتقنيات جديدة متقدمة ومكلفة مثل عمليات الطرد بالتهوية ، الإدمصاص بواسطة الكربون المنشط ، وعمليات تحلية مياه البحر مثل التقطير أو التناضح العكسي.

خامسا: إن أوعية المعلومات المتاحة للمتخصصين في مجالات معالجة المياه تفتقر إلى المعلومات الخاصة بتفاوت نوعيات المياه ومدى تأثر تقنيات المعالجة في المنطقة العربية ومنطقة الخليج بالعديد من العوامل المذكورة سابقاً ، كما أن تفاعل الإدارات المعنية بنوعية المياه ومعالجتها مع المتغيرات في متطلبات المعالجة غير واضحة على الاقل فيما يتاح من معلومات.

المراجع

1. Baker, M. N., The Quest for Pure Water, American water works Association, New York, 1949, PP 1-11.

2. Viessman, W. and M. Hammer, Water Supply and Pollution Control, 4th ed., Harper & Row, 1985, PP 1-5.

3. "Drinking Water and Health", The National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, D. C., 1977, PP 1-8.

4. Hoadley, A. W. , "Public Health Aspects of Water Supplies", In Water Treatment Plant Design, R. L. Sanks, editor, Ann Arbor Science, 1978, PP 17-36.

5. Water Treatment Principles and Design, James M. Montgomery, Consulting Engineers, Inc., John Wiley & Sons, 1985, PP 10-13, 29-38, 237-373.

6. Koening, L., "Fundamental Considerations in the Removal of Organic Substances From Water - A General Overview", In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B.B. Bergers, editor, EPA - 600/8-83-011, 1983.

7. Digiano, F. A., "Adsorption of Organic Substances in Drinking Water", In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B.B. Berger, editor, EPA-600/8-83-011, 1983.

8. McCarty, P. L., "Removal of Organic Substances From Water by Air Stripping", In Control of Organic substances in Water and Wastewater, B.B. Berger, editor, EPA-600/8-83-011, 1983.

9. The U.S.A.I.D. Desalination Manual, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C., 1980.

10. Ghulaigha, A. and B. Ericsson, Desalination, 1979, 30, PP 301-314.

11. Rook, J., " Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters", Water Treatment Exam., 1974, 23, PP 234.

12. Rook, J. J., "Haloforms in Drinking Water", J. Amer. Water Works Assoc., 1976, 68, PP 168-172.

13. Rook, J. J., "Chlorination Reactions of Fulvic Acids in Natural Waters", Environ. Sci. Technol., 1977, 11, PP 478-482.

14. Stevens, A.A. and J.M. Symons, "Measurement of Trihalomethane and Precursor Concentration Changes", J. Amer. Water Works Assoc., 1977, 64, PP 546-554.

15. Trussell, R.R. and M.D. Umphres, " The Formation of Trihalomethanes, "J. Amer, water works Assoc. 1978b, 70, PP 604-612.

16. Babcock, D.B. and P. C. Singer, "Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acids", J. Amer, Water Works Assoc., 1979, 71, PP 149-152.

17. Stevens, A.A. et. al., " Formation and Control of Non-Trihalomethane Disinfection By-Products", J. Amer. Water works Assoc., 1989, Vol. 81, No. 8, PP 54-60.

18. Christman, R.F., and M. Ghassemi, "Chemical Nature of Organic Color in Water", J. Amer. water works Assoc., 1966, Vol. 58, PP. 723-741.

19. Perdue, E. M., "Solution Thermochemistry of Humic Substances I : Acid-Base Equiblibria of Humic Acid", proceedings ACS 175th National Meeting, 1978, PP. 375-378.

20. Gordon, G. et. al., "Minimizing Chlorite Ion and Chlorate Ion in Drinking Water Treated With Chlorine Dioxide", J. Amer. Water Works Assoc., 1990, Vol. 82, No. 4, PP 160-165.

21. Hoehn, R. C. et. al., "Household Odors Associated with the use of Chlorine Dioxide", J. Amer. Water Works Assoc., 1990, Vol. 82, No. 4, PP 166-172.

22. Krasner, S. W. et. al., "The Occurence of Disinfection By-products in U.S. Drinking Water", J. Amer. water works Assoc., 1989, Vol. 81, No. 8, PP 41-53.

23. Edzwald, J. K., "Coagulation - Sedimentation - Filtration Processes for Removing Organic Substances from

Drinking Water". In Control of Organic Substances in Water and Wastewater, B.B. Berger, editor, EPA - 600/8 - 83-011, 1983.

24. Main Stream, "Reports Linking Fluoride to Cancer are Premature", Amer. Water Works Assoc., 1990, Vol. 34, No. 2.

25. Bouwer, E. J. and P. B. Growe, "Biological Processes in Drinking Water Treatment", J. Amer. water works Assoc., 1988, Vol. 80, No. 9, PP 82-93.

26. Longtin, J. P., "Occurrence of Radon, Radium, and Uranium in Ground Water", J. Amer. water works Assoc., 1988, Vol. 80, No. 7, PP 84-93.

27. Clifford., D. et. al., "Evaluating Various Adsorbents and Membrancs for Removing Radium From Ground Water", J. Amer. water works Assoc., 1988, Vol. 80, No. 7, PP 94-104.

28. Sorg, T. J., "Methods for Removing Uranium From Drinking Water", J. Amer. water works Assoc., 1988, Vol. 80, No. 7, PP 104-111.

29. Akkad, A. A., "Conservation in the Arabian Gulf Countries", J. Amer. Water Works Assoc., 1990, Vol. 82, No. 5, pp. 40-50.

جَلسة رقمْ (٥)

A Hybrid FEM-BIEM Modeling Approach for the Dammam Aquifer System, Bahrain and Eastern Saudi Arabia

Waleed Khalil Zubari

A Hybrid FEM-BIEM Modeling Approach for the Dammam Aquifer System, Bahrain and Eastern Saudi Arabia

Waleed Khalil Zubari, M.Sc., Ph.D., Hydrogeology
Assistant Professor, Physical and Engineering Sciences Dept.
Program of Desert Sciences and Arid Lands
College of Applied Sciences, Arabian Gulf University
P.O. Box 26671, Manama, Bahrain

SYNOPSIS. A hybrid model coupling the FEM and BIEM was developed to simulate the Dammam Aquifer System at Bahrain and Eastern Saudi Arabia. The detailed FEM discretization was assigned to the heterogeneous, highly fractured aquifer parts located around the Bahrain anticline, and occupied about 15% of the total 9000 sq. Km modeled area. Fractured flow conditions are simulated using the Double-Porosity approach within the FEM. The BIEM general discretization was assigned to encompass the rest of the aquifer modeled area which exhibits relatively homogeneous hydraulic properties, and more importantly, to incorporate the distant boundary conditions located at Saudi Arabia for the FEM domain at Bahrain. The validation test of the developed model consisted of applying it to simulate the Dammam aquifer steady and transient conditions at Bahrain, and covered a span of 27 years of the aquifer's early development scheme. The validation test results indicated the model is capable of simulating the observed Dammam aquifer hydrological system adequately and efficiently making the developed model an ideal candidate for future representation of the Dammam aquifer at Bahrain in a comprehensive, detailed numerical modeling study.

INTRODUCTION

1. The Dammam Aquifer System, developed in the Tertiary limestone /dolomite members of the Dammam Formation, represents the only natural fresh water source available for the state of Bahrain. At Bahrain, this aquifer system is only a small part of the extensive aquifer system, termed the Eastern Arabian Aquifer, which extends from Central Saudi Arabia to the Arabian Gulf waters, including Bahrain (Fig. 1). It is this large aquifer that supplies the aquifer at Bahrain by lateral flow.

2. Good management of this limited resource at Bahrain requires the ability to forecast the aquifer system response to proposed development alternatives. This can be achieved effectively through the use of numerical simulation models. A properly constructed model to represent the aquifer system can provide valuable information about its future performance against those proposed management schemes, which could greatly aid in selecting an optimum set of operating conditions without endangering the aquifer.

3. However, the reliability of predictions from groundwater models depends on how well the model approximates the real physical system. This can be achieved by the process of calibration/history matching of the numerical model against past observed performances, which requires that past and present hydrological data (potentiometry/salinity maps, sinks/sources, etc..) be available. The quality of these data directly affects the reliability of the model's results.

4. Inadequate or insufficient data are frequently identified as an important limiting factor in the use of models for groundwater resources management(1). This problem is exacerbated in the case of shared water resources, as is the case here, for even if the data are available, but due to the lack of protocols or laws that organize aquifer sharing and data exchange, the detailed hydrological data needed for the construction of the numerical model in one country are rarely available to the other country. This problem becomes even more complicated in the prediction stage when the country in need of data is located down-gradient, for its proposed development schemes become greatly affected by the future development plans of the up-gradient country (2,3,4).

5. In constructing a numerical model to represent the aquifer in Bahrain adequately, and then to use it in evaluating detailed future management strategies, two aspects have to be taken into consideration: 1) the model should allow detailed local modeling of the aquifer at Bahrain; and 2) the model should incorporate the hydrological effects and changes of the regional aquifer at Eastern Saudi Arabia with limited data available.

6. In numerical modeling practice, when a detailed work is required to be performed on a special local area like Bahrain, and the rest of the area is large, relatively homogeneous, and its hydrological effects on the local area are of great importance in the numerical model, the normal approach is to create a grid that includes the whole domain of the aquifer and

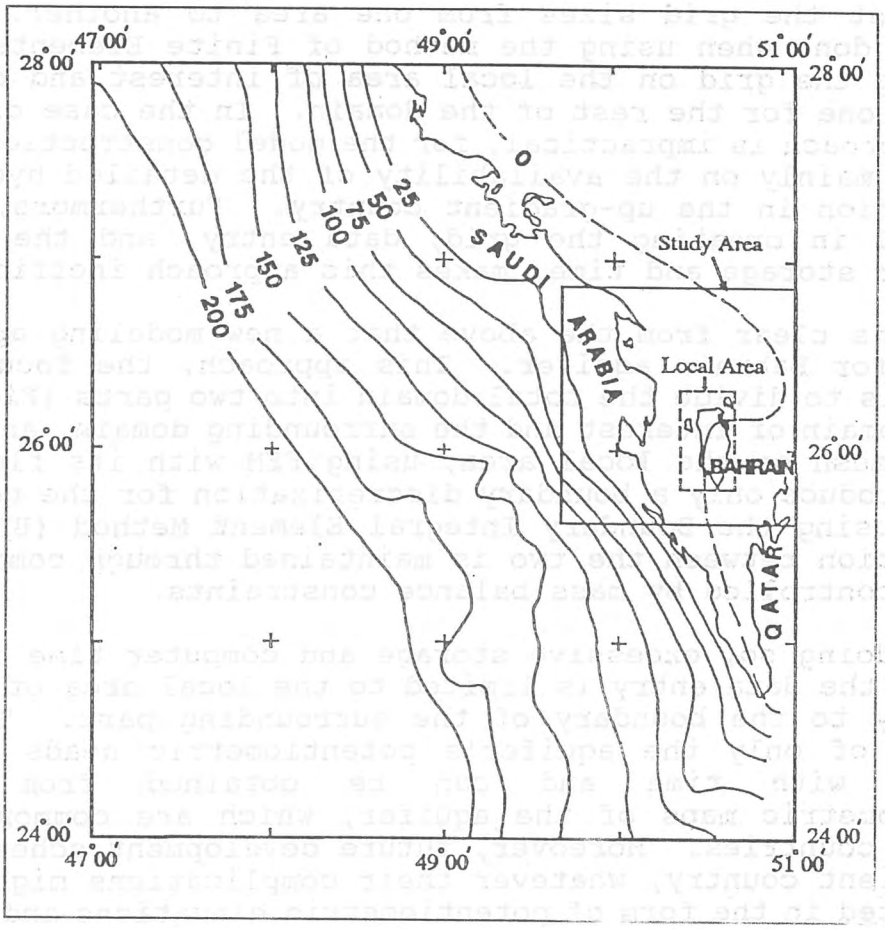


Fig. 1: Regional potentiometric map for the Dammam aquifer , 1964, in meters.

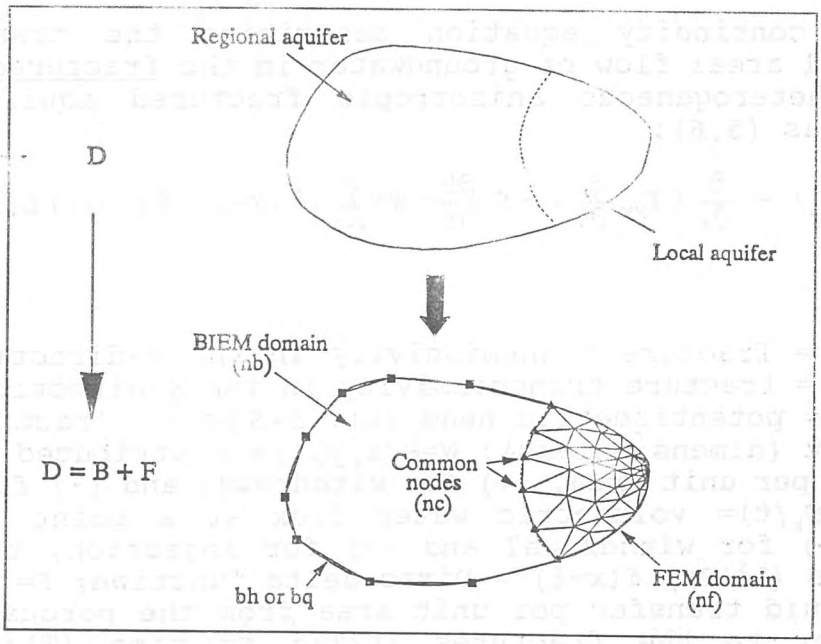


Fig. 2: Typical combination of the FEM with BIEM.

to adjust the grid sizes from one area to another. This is usually done when using the method of Finite Elements (FEM) by refining the grid on the local area of interest and creating a coarser one for the rest of the domain. In the case of Bahrain, this approach is impractical, for the model construction progress depends mainly on the availability of the detailed hydrological information in the up-gradient country. Furthermore, the work involved in creating the grid, data entry, and the excessive computer storage and time, makes this approach inefficient.

7. It is clear from the above that a new modeling approach is needed for Bahrain aquifer. This approach, the focus of this paper, is to divide the total domain into two parts (Fig. 2), the local domain of interest and the surrounding domain, and to place a fine mesh on the local area, using FEM with its flexibility, and introduce only a boundary discretization for the rest of the domain using the Boundary Integral Element Method (BIEM). The interaction between the two is maintained through common nodes, and is controlled by mass balance constraints.

8. By doing so, excessive storage and computer time is reduced because the data entry is limited to the local area of interest, and only to the boundary of the surrounding part. These data consist of only the aquifer's potentiometric heads and their changes with time and can be obtained from regional potentiometric maps of the aquifer, which are commonly shared between countries. Moreover, future development schemes in the up-gradient country, whatever their complications might be, are abstracted in the form of potentiometric elevations and are input in the model as boundary conditions for the local domain.

NUMERICAL MODEL DEVELOPMENT

FEM Domain Numerical Formulation

9. The continuity equation describing the transient two dimensional areal flow of groundwater in the <u>fractured</u> part in a confined heterogeneous anisotropic fractured aquifer can be expressed as (5,6):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)=S\frac{\partial h}{\partial t}+W+\sum_{k-1}^{m}\left(\delta(x-x_k)\,\delta(y-y_k)\,Q_k\right)-\Gamma \qquad (1)$$

where:
$T_{xx}=T_{xx}(x,y)$= fracture transmissivity in the x-direction (L^2/T); $T_{yy}=T_{yy}(x,y)$= fracture transmissivity in the y-direction (L^2/T); $h=h(x,y,t)$= potentiometric head (L); $S=S(x,y)$= fracture storage coefficient (dimensionless); $W=W(x,y,t)$= distributed volumetric water flux per unit area, (+) for withdrawal and (-) for recharge (L/T); $Q_k=Q_k(t)$= volumetric water flux at a point located at (x_k,y_k), (+) for withdrawal and (-) for injection, there are m such points (L^3/T); $\delta(x-\xi)$ = Dirac delta function; Γ= volumetric rate of fluid transfer per unit area from the porous matrix of the aquifer to the fractures (L/T); t= time (T); and x,y= cartesian coordinates in the principal direction of transmissivity (L).

10. Similarly, the porous block continuum can be expressed as

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(T'_{xx}\frac{\partial h'}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(T'_{yy}\frac{\partial h'}{\partial y}\right)-S'\frac{\partial h'}{\partial t}+W'+\sum_{k-1}^{m}\left(\delta\left(x-x_k\right)\delta\left(y-y_k\right)Q'_k\right)+\Gamma \qquad (2)$$

with the prime notation signifying the porous matrix block.

11. The basic assumptions used in deriving the two equations are: 1) the fractured aquifer medium is represented by two completely overlapping continua, one representing the porous matrix and the other representing the fractures; and 2) the porous matrix blocks act like sources which feed the fractures with water.

12. Γ, the rate of fluid mass transfer from porous matrix blocks to fractures can be written as (7):

$$\Gamma = \xi\left(h'-h\right) \qquad (3)$$

where ξ is the fracture-porous matrix fluid transfer coefficient for the aquifer (1/T).

13. Eq. (2) is simplified by assuming that the transmissivity of the porous matrix blocks in the aquifer is small and negligible if compared to the transmissivity of the fractures. This assumption implies that the net fluid movement towards a sink or from a source occurs entirely in the fractures. Eq. (2) becomes:

$$S'\frac{\partial h'}{\partial t} = -\Gamma = -\xi\left(h'-h\right) \qquad (4)$$

14. Applying the Galerkin Finite Element procedures on the fractures equation (using linear shape functions (N(x,y)) and linearized approximations), approximating the time derivatives using a first order fully implicit finite difference scheme, and rearranging for knowns and unknowns, equation (1) becomes:

$$\left[\left[A_{ij}\right]+\frac{\left[B_{ij}\right]}{\Delta t}\right]\left\{h_j\right\}^{t+\Delta t}+\frac{\left[B'_{ij}\right]}{\Delta t}\left\{h'_j\right\}^{t+\Delta t}=\frac{\left[B_{ij}\right]}{\Delta t}\left\{h_j\right\}^{t}+\frac{\left[B'_{ij}\right]}{\Delta t}\left\{h'_j\right\}^{t} \qquad (5)$$

$$-\left[D_i\right]-\left[E_i\right]$$

where

$$\left[A_{ij}\right]=\iint\left\{\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial N_j}{\partial x}+\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial N_j}{\partial y}\right\}dxdy, \qquad (6)$$

$$\left[B_{ij}\right]=-\iint\left\{S\,N_i\,N_j\right\}dxdy, \qquad (7)$$

$$[D_i] = -\iint \{W N_i\}\, dx dy, \tag{8}$$

$$[E_i] = -\iint \{N_i \left(\sum_{k=1}^{m} (\delta(x-x_k)\, \delta(y-y_k)\, Q_k)\right)\}\, dx dy, \text{ and} \tag{9}$$

$$[B'_{ij}] = -\iint \{S' N_i N_j\}\, dx dy. \tag{10}$$

15. Applying an implicit finite difference formulation to eq. (4) for the porous part of the aquifer and substituting for Γ and rearranging yields:

$$\{h'_j\}^{t+\Delta t} = \left(\frac{\Delta t\, \xi_j}{S'_j + \Delta t\, \xi_j}\right) \{h_j\}^{t+\Delta t} + \left(\frac{S'_J}{S'_j + \Delta t\, \xi_j}\right) \{h'_j\}^{t} \tag{11}$$

as the final matrix equation for the porous matrix part of the aquifer.

16. Substituting eq. (11) into eq. (5) for the porous matrix potentiometric head vector $\{h'_j\}^{t+\Delta t}$, and rearranging for knowns and unknowns:

$$\left[[A] + \frac{[B]}{\Delta t} + \frac{\gamma}{\Delta t}[B']\right]\{h\}^{t+\Delta t} = \frac{[B]}{\Delta t}\{h\}^{t} + \frac{\gamma}{\Delta t}[B']\{h'\}^{t} - [D] - [E] \tag{12}$$

the subscripts are dropped for simplicity, and where

$$\gamma_j = \frac{\xi_j \Delta t}{S'_j + \Delta t\, \xi_j} \tag{13}$$

17. The solution procedure is made by first solving eq. (12) at a given time level for the nodal values of the potentiometric head in the fractures $h_j^{t+\Delta t}$ using the known values at the previous time level of h_j^t and $h_j'^t$. Once the solution is obtained, the nodal values of the potentiometric head in the porous matrix, $h'^{t+\Delta t}_j$, is computed from eq. (11). The solution algorithm is repeated until the final time level is reached.

BIEM DOMAIN NUMERICAL FORMULATION

18. The steady state equation describing the groundwater flow in two dimensions in a confined homogeneous aquifer can be written as (8):

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0, \qquad \text{in } D \tag{14}$$

subject to the boundary conditions

$$h = h_s \qquad \text{on } S_1, \text{ and}$$
$$\frac{\partial h}{\partial n} = -\frac{q_s}{K} \qquad \text{on } S_2. \tag{15}$$

where
q_s = specified flux (L/T); h_s = specified potentiometric head (L); S_1, S_2 = segments of the boundary S enclosing the region D; n = unit outward normal to D on S; and K = domain hydraulic conductivity (L/T).

19. Applying Green's second identity (choosing the fundamental solution as $G = ln(r)$), and using linear shape functions, the discretization procedures yields the BIEM general matrix equation:

$$[R_{ij}]\{h_j\} = [L_{ij}]\left\{\frac{\partial h}{\partial n}\right\} \tag{16}$$

where the coefficient matrices $[R_{i,j}]$ and $[L_{i,j}]$ are the summation of the contribution from all boundary segments by using P_i (i= 1, 2,...,n) successively at each node.

20. In a well-posed problem either h_j or $(\partial h_j/\partial n)$ is known at all nodal points of the boundary. Therefore, the BIEM domain set of equations are utilized to compute the unknown values at the nodes. i.e. for a given node, i, if h is prescribed as constant head, the solution of these equations will yield the flux across that node and vise versa in the case of the Neumann boundary condition.

FEM AND BIEM COUPLING PROCEDURES

21. Figure (2) illustrates a typical grid design for the use of the BIEM in conjunction with the FEM. Domain D is divided into two sub-domains, B, denoting the BIEM region, and F, denoting the FEM region. Eq. (16) of the final formulation of the BIEM is partitioned into knowns and unknowns as follows:

$$\begin{bmatrix} -L_h & R_q & -L_c & R_c \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} (\frac{\partial h}{\partial n})_{bh} \\ h_{bq} \\ (\frac{\partial h}{\partial n})_{bq} \\ h_{bc} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_h & L_q \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} h_{bh} \\ (\frac{\partial h}{\partial n})_{bq} \end{Bmatrix} \tag{17}$$

where $(\partial h/\partial n)_{bq}$ and h_{bh} are the prescribed boundary conditions for B sub-domain, $(\partial h/\partial n)_{bc}$ and h_{bc} are the common boundary unknown values.

22. The FEM and BIEM are connected together using the continuity of the potentiometric head and the normal flux across the interface of the two adjacent sub-domains using the following two

equations:

$$\{h_{bc}\} - \{h_{fc}\} - \{h_c\}$$
$$\{Q_{fc}\} - -T[L]\left\{\left(\frac{\partial h}{\partial n}\right)\right\}_{bc} \qquad (18)$$

where $[L]$ is a diagonal matrix of the average length of the two line segments joining a common boundary, T is the uniform domain transmissivity.

23. Eq. (12) of the final formulation of the FEM can be written as:

$$[X]\{h_{nf+nc}\}^{t+\Delta t} - \{Y\} \qquad (19)$$

where

$$[X] - \left[[A] + \frac{[B]}{\Delta t} + \frac{\gamma}{\Delta t}[B']\right], \quad \text{and}$$
$$[Y] - \left\{\frac{[B]}{\Delta t}\{h\}^t + \frac{\gamma}{\Delta t}[B']\{h'\}^t - [D] - [E]\right\} \qquad (20)$$

and eq. (19) can be partitioned into

$$[X_{fc} \quad X_f]\begin{Bmatrix} h_{fc} \\ h_f \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} Y_c \\ Y_f \end{Bmatrix} \qquad (21)$$

24. Combining the matrix equations (17), (18), and (21) yields

$$\begin{bmatrix} -L_h & R_q & -L_c & R_c & 0 \\ 0 & 0 & -TL & X_{fc} & X_f \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \left(\frac{\partial h}{\partial n}\right)_{bh} \\ h_{bq} \\ \left(\frac{\partial h}{\partial n}\right)_c \\ h_c \\ h_f \end{Bmatrix} - [-R_h \quad L_q]\begin{Bmatrix} h_{bh} \\ \left(\frac{\partial h}{\partial n}\right)_{bq} \end{Bmatrix} - \begin{Bmatrix} Y_c \\ Y_f \end{Bmatrix} \qquad (22)$$

as the final FEM-BIEM matrix equation (for computer code details, code verification and efficiency testing refer to (9)).

NUMERICAL MODEL APPLICATION

25. The Dammam aquifer at Bahrain and Eastern Saudi Arabia was modeled using the developed numerical model to validate and demonstrate its applicability. The numerical simulation was chosen to cover a span of 27 years (1925-1952) of the aquifer

early development schemes, and included steady and transient flow conditions. The natural and artificial discharge history was reconstructed to reproduce, by calibration, two observed potentiometric maps and their corresponding mass balances.

AQUIFER BOUNDARIES AND HYDRAULIC PROPERTIES

26. The Dammam aquifer is developed in the limestone/dolomite members of the Dammam Formation. These are the Khobar and Alat members of the Middle Eocene age. For most of the study area, the aquifer is bounded vertically by two confining layers. Its lower confining layer is formed by the Rus Formation (Lower Eocene) anhydrites and shales, and its upper confining layer is formed by the Neogene Formation (Lower Neogene) claystones. The aquifer system at the study area forms only a small part of the extensive aquifer system, termed the Eastern arabian Aquifer, which extends from the catchment area located at Central Saudi Arabia, where the Eocene rocks crop out, to its discharge area at the Arabian Gulf water, including Bahrain (Fig. 1).

27. The Dammam aquifer rocks are composed of hard, very fine grained resistant dolomitic limestone and are extensively fractured near and at the crest of Bahrain anticline. In drilling operations, the aquifer interval usually causes extreme loss of circulation. Microlaterolog, Neutron and Sonic geophysical logs indicate the presence of this extremely fractured interval. Due to the fractured nature of the aquifer, reported transmissivities show a wide range in value, from 73,000 to 1,350 m^2/d, with the higher values located mainly at the northern and north-eastern parts of Bahrain anticline and where most of the natural springs exists. Also, due to that the reported storage coefficient, widely ranging between 0.015 and .000002 (dimensionless) displays the same pattern. The lower values are associated with high transmissivities, indicating fractured flow conditions, while the higher values are associated with low transmissivities indicating porous flow conditions.

28. At the crest of the Bahrain anticlinal structure, the Dammam aquifer rocks are absent due to erosion. The saturated thickness of the aquifer around the anticline ranges from 0 to 80 meters. As the aquifer rocks dip away from the axial crest of the structure they show a thickening towards the basinal area between Bahrain and Saudi Arabia, reaching about 160 meters. On the northeast side of Bahrain, the aquifer units decrease in thickness to about 60 meters.

POTENTIOMETRIC SURFACE AND DISCHARGE HISTORY

29. It is believed that prior 1925 the Dammam aquifer flow regime constituted a steady state flow conditions (10). Figure (3) is a water level contour map for the Dammam aquifer, presented by GDC in 1980 to represent the unstressed (pre-development) conditions that existed before 1925 and before the beginning of the artificial abstraction in the area.

30. The Dammam aquifer transient conditions started in 1925 when mechanized well drilling and abstraction was introduced in

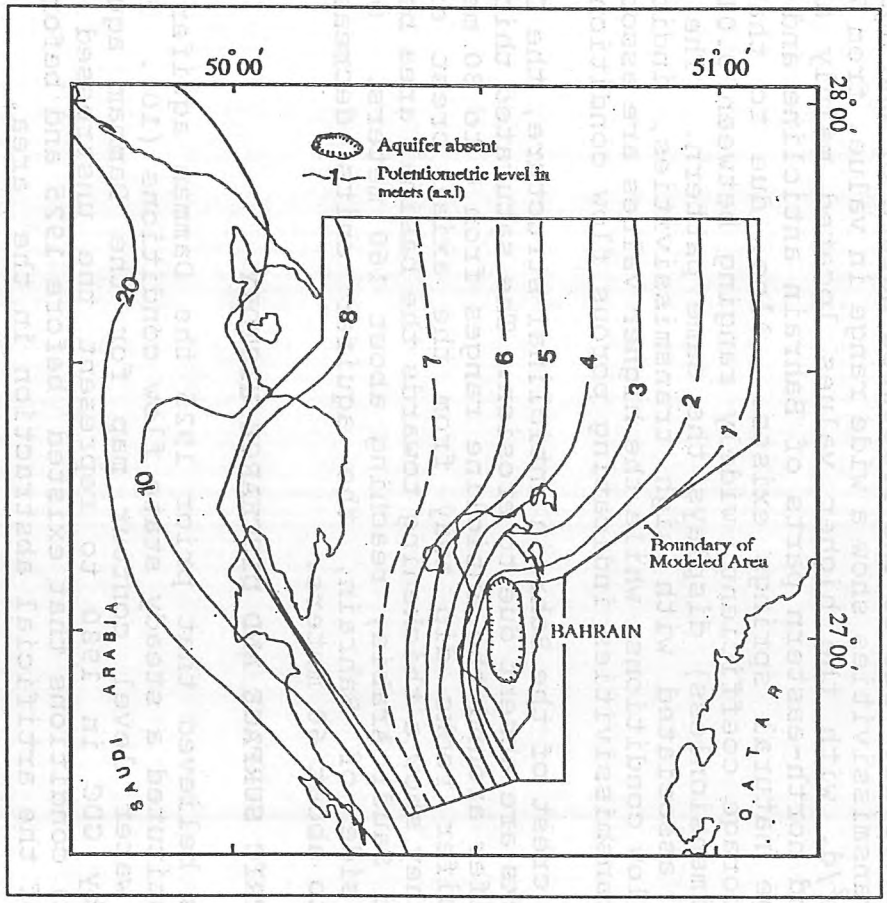


Fig. 3: Observed potentiometry for the Dammam aquifer prior to 1952, steady state conditions (4).

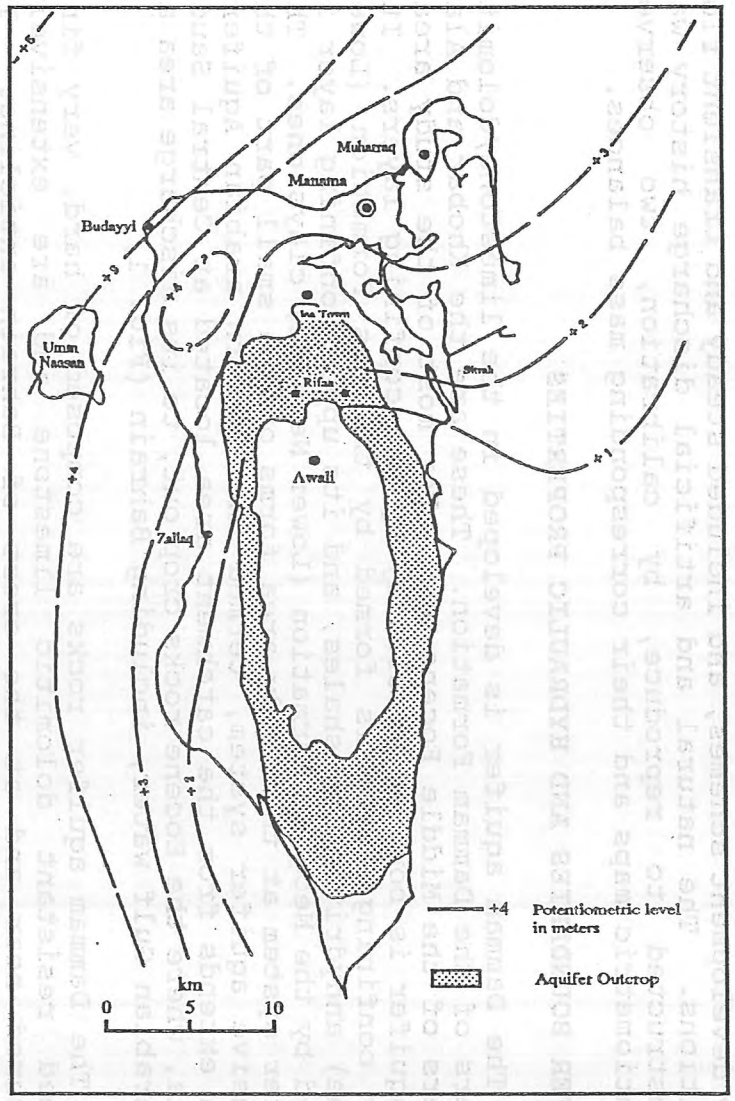


Fig. 4: Observed potentiometry for the Dammam aquifer in 1952, transient conditons (4).

Bahrain (11) along with the oil discovery at Bahrain. Due to the rapid growth in the population at the islands, about 3% annually (12), the agricultural and municipal demands have increased tremendously and were met mainly by well development in the aquifer. The total aquifer abstraction increased substantially from about 63 Mm^3/y in 1952 (13) to about 180 Mm^3/y in 1990 (14). Due to that, a sharp and continuous decline in the aquifer potentiometric levels has occurred at Bahrain, which indicates that the aquifer water is being taken from its storage.

31. As a result of the decline in the aquifer's potentiometric surface, presently about 5 meters, a significant reduction in the flow of the springs has occurred with most of the springs ceasing flow at the present time, and more dangerously, the contamination of the aquifer waters by sea water encroachment.

32. By comparing the potentiometric levels observed in 1952 (Fig. 4), the time at which this numerical study ends, with that reported for the steady state conditions (Fig. 3), it can be seen that the aquifer potentiometric surface at Bahrain islands has dropped, on the average, by about one meter. This is due to that the total discharge rate in 1952, estimated at 116.4 Mm^3/y (wells and springs) is in excess of the natural unstressed recharge rate, delivered to Bahrain by lateral flow from mainland Saudi Arabia during the steady state conditions, by about 13.4 Mm^3/y.

DAMMAM AQUIFER CONCEPTUAL MODEL

33. Figure (5) describes and illustrates the conceptual model used in the numerical simulation. Based on this model the two computational domains of the BIEM and FEM-Double Porosity were assigned.

NUMERICAL MODEL CONSTRUCTION

34. Figure (6) illustrates the BIEM and FEM grid designs used in the numerical simulation. The FEM grid consisted of 128 triangular elements and 94 nodes located at and around Bahrain anticline where the aquifer exhibits fractured flow. The BIEM grid was constructed to include the rest of the aquifer parts which exhibit a more or less uniform hydrological properties. The BIEM grid consisted of 15 line elements and 14 nodes. The two grids were connected by 17 common nodes. The total aquifer modeled area was about 9,000 km^2 with 1,280 km^2 assigned to the FEM grid.

35. The model calibration methodology consisted of two types of simulations, steady state and transient which were run interactively. The computed hydrological parameters in one calibration were constantly evaluated and tested in the other until satisfactory results were achieved.

RESULTS AND DISCUSSION

36. The resulting potentiometric surface of the Dammam aquifer at the end of the steady state simulation is compared in figure (7) to the reported potentiometric surface for that conditions.

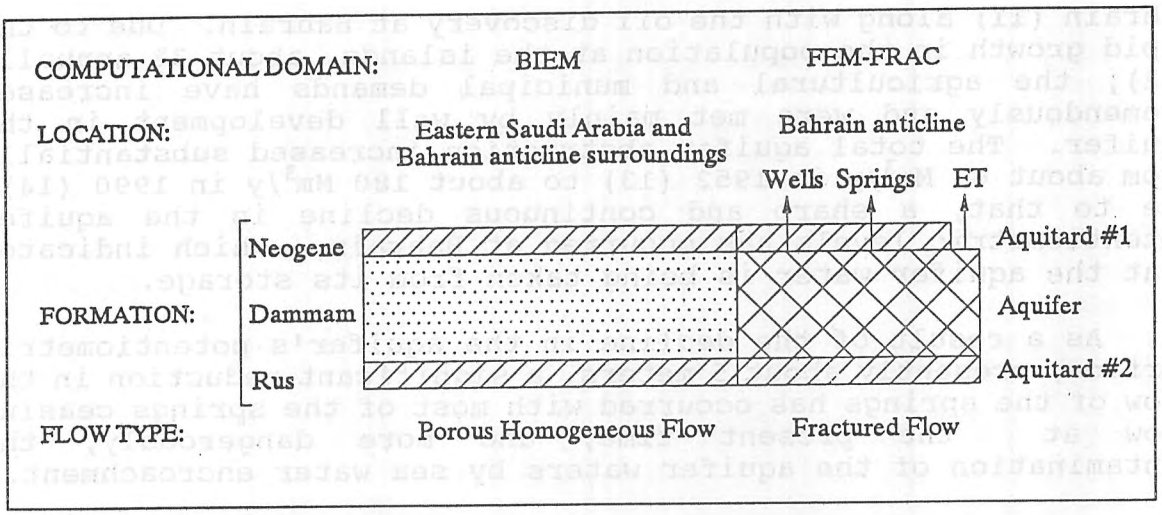


Fig. 5: Conceptual model of the modeled Dammam aquifer.

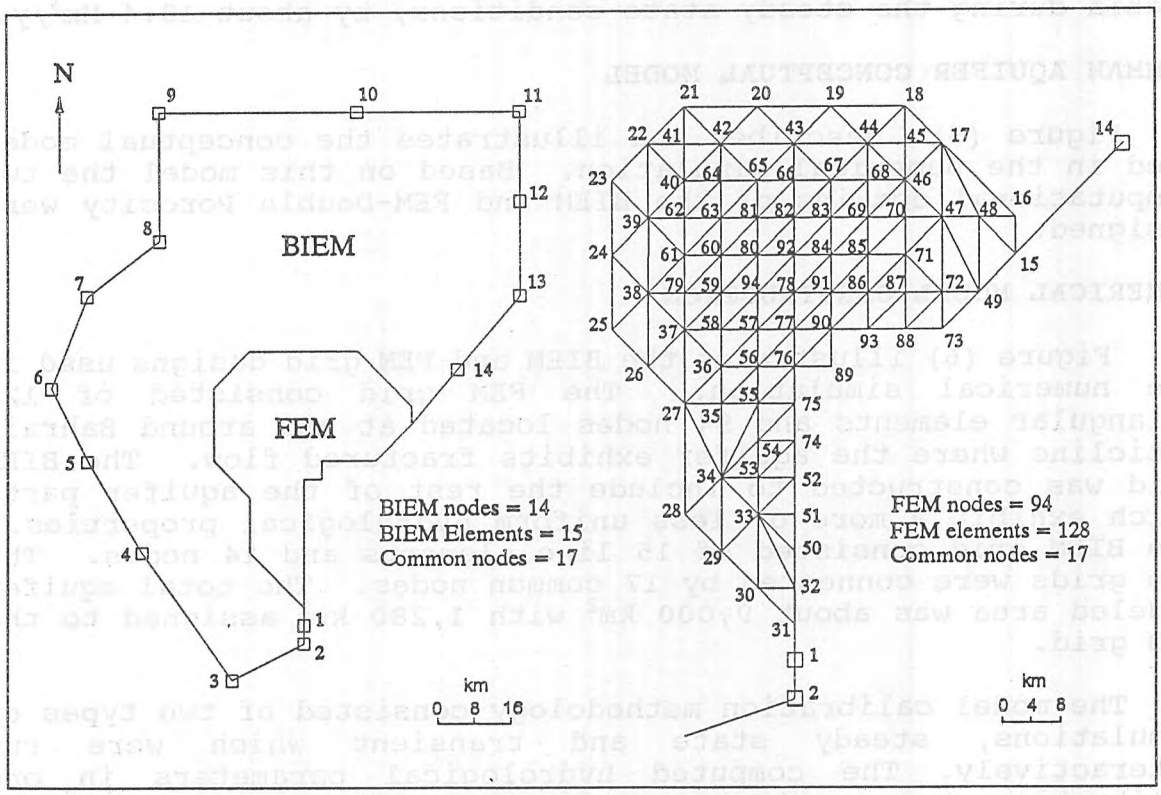


Fig. 6: BIEM and FEM grid designs.

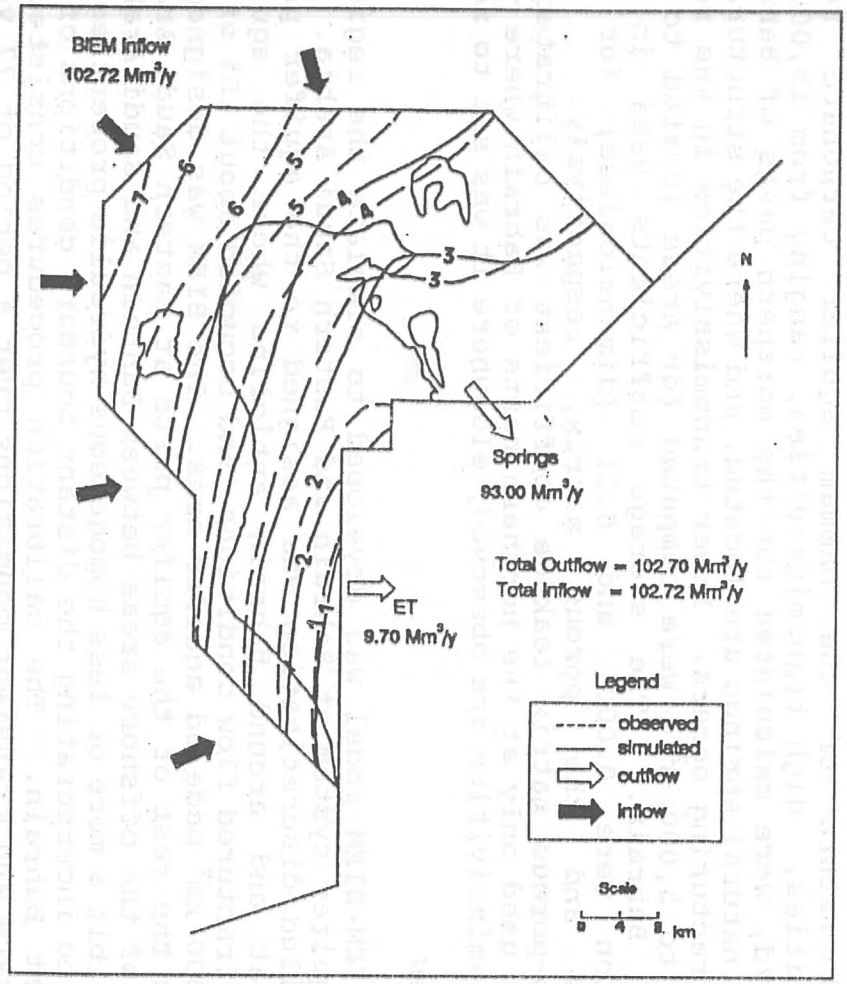


Fig. 7: Simulated vs observed potentiometry at the end of the steady state calibration, in meters.

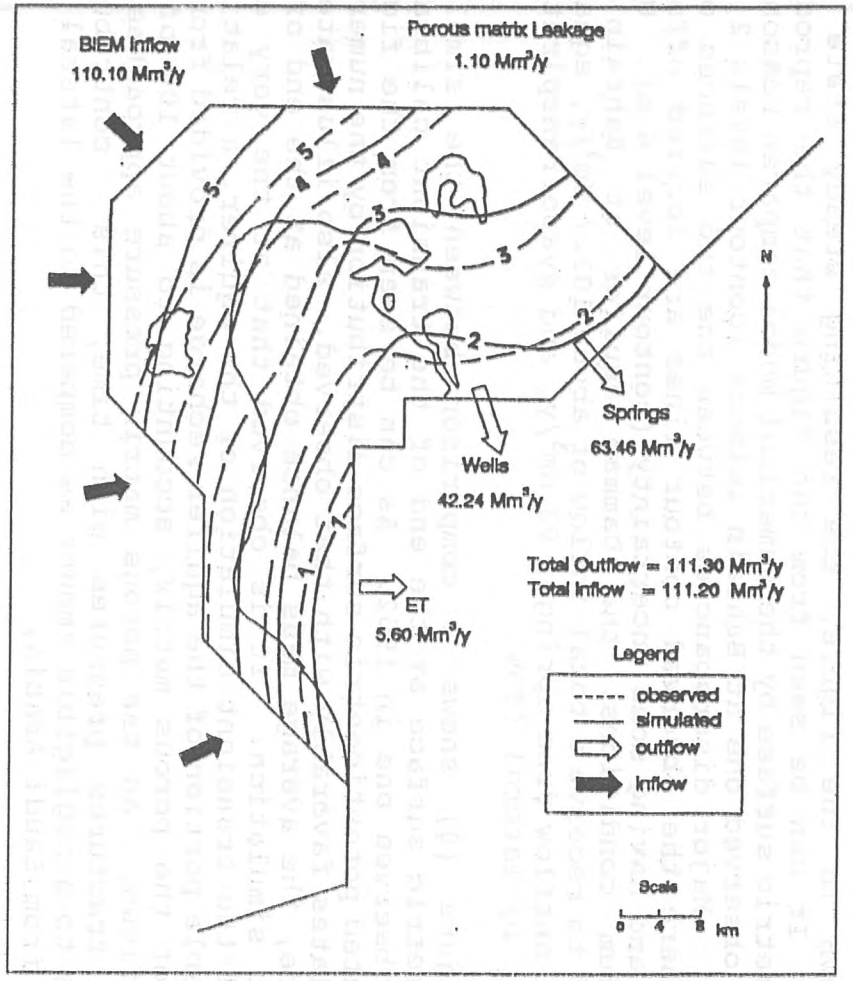


Fig. 8: Simulated vs observed potentiometry at the end of the transient conditions calibration, in meters.

Also shown in the figure, the resulting steady state mass balance. It can be seen from the figure that the reproduced potentiometric surface by the numerical model compares reasonably with the observed one at Bahrain islands (contour levels 2,3,4, and 5 m). Major discrepancies between the two surfaces occur mainly where the observed contour lines are located offshore Bahrain, and having some uncertainty (contour level 6 m). Under equilibrium conditions, the Dammam aquifer at Bahrain was simulated to receive a total inflow of about 102.7 Mm^3/y, equating the total outflow from springs, 93 Mm^3/y, and evapotranspiration, 9.7 Mm^3/y, by lateral flow.

37. Figure (8) shows a comparison between the simulated potentiometric surface at the end of the transient calibration and the observed one in 1952. As can be seen from the figure, the computed potentiometric surface distribution by the numerical model relates favorably with that observed. Also illustrated on the figure, the average mass balance obtained at the end of the transient simulation. It is observed that at the very early stages of the transient simulation of the aquifer, a relatively considerable portion of the aquifer recharge is provided from the storage of the porous matrix, accounting to about 10% of the total inflows. As the porous matrix pressure approaches the stressed fractures pressures with time, this contribution decreases to a negligible amount as compared to the lateral flow recharge from Saudi Arabia.

38. The calibrated transmissivities at the end of the numerical calibration exhibit a great range of variation reflecting the fractured nature of the Dammam aquifer carbonate rocks permeabilities. High transmissivities, ranging from 15,000 to 60,000 m^2/d, were calculated for the northern parts of Bahrain where the natural springs are located, and where the structurally induced fracturing occurs. Lower transmissivities in the range of 2,000 to 5,000 m^2/d were computed for areas located to the south of Bahrain. The storage coefficients used in the calibration were 0.0001 and 0.01 (dimensionless) for the fractures and the porous matrix, respectively. The fractures-porous matrix leakage coefficient was calibrated at 0.05 1/d, used only at the northern parts of Bahrain where very high transmissivities are observed, elsewhere it was set to zero.

CONCLUSION

39. An FEM-BIEM model was developed to simulate the regional Dammam Aquifer system at Bahrain and Eastern Saudi Arabia. The FEM detailed discretization was assigned to the aquifer parts located at and around Bahrain anticline where the aquifer exhibits fractured flow conditions, and occupied about 15% of the total 9,000 km^2 modeled aquifer area. The BIEM was designed to encompass the rest of the aquifer parts at Eastern Saudi Arabia and most of the offshore areas between Bahrain and Saudi Arabia, which exhibit a more or less homogeneous hydraulic properties, in addition to incorporating the distant boundary conditions of the aquifer at Bahrain. The calibration procedures consisted of steady state and transient conditions over a period of 27 years of the aquifer early development scheme.

40. The model validation test results indicate that the developed numerical model is capable of modeling the observed Dammam aquifer hydrological system adequately. The major advantage in using this model over others, is in discretizing in details, only the fractured Dammam aquifer parts around Bahrain by the FEM, and incorporating large portions of the aquifer into the modeling process by utilizing the BIEM. The validation results obtained from the numerical simulation make the developed model an ideal candidate for further detailed, comprehensive, and may be even larger in area, studies of the Dammam aquifer system.

REFERENCES

(1) Heijde, P.,Bachmat, Y., Bredehoeft, J., Andrews, B., Holtz, D., and Sebastian, S., 1985, Groundwater Management: The Use of Numerical Models, 2nd ed., Water Resources Monograph 5, Amer. Geoph. U., 180 p.

(2) Groundwater Development Consultants (GDC), 1983, Project 25\18: Reverse Osmosis Desalination. Unpub., Ministry of Works, Power and Water, State of Bahrain.

(3) Zubari, W.K., 1987, A Numerical Three-Dimensional Flow Model for the Dammam Aquifer System, Bahrain and Eastern Saudi Arabia. Unpublished M.S. Thesis, Ohio University, Athens, Ohio, 409 p.

(4) GDC, 1980, Umm Er Rhaduma Study, Bahrain Assignment. Unpub., Ministry of Commerce and Agriculture file report, State of Bahrain.

(5) Warner, J.W., 1987, Mathematical Development of the Colorado State University Finite Element 2-Dimensional Groundwater Flow Model, CSU-GWFLOW, version 2D3.1. CSU Groundwater Technical Report # 2. Groundwater Program, Department of Civil Eng., Colorado State University, Colorado, 92 p.

(6) Huyakorn, P.S., and Pinder, G.F., 1983, Computational Methods in Subsurface Flow. Academic Press, Florida, 473 p.

(7) Huyakorn, P.S., and Pinder, G.F.: op. cit. (6).

(8) Wang, H.F., and Anderson, M.P., 1982, Introduction to Groundwater Modeling, Finite Difference and Finite Element Methods, W.H. Freeman and Company, USA, 237 p.

(9) Zubari, W.K., Warner, J.W., Smith, F.M., 1990, Mathematical Development and Documentation of a Combined Finite Element - Boundary Integral Element Groundwater Flow Model, CSU\ FEMBIEM.1, Groundwater Technical report #7, Groundwater Program, Dep. of Civil Engineering, Colorado State U., Fort Collins, Colorado.

(10) GDC: op. cit. (4).

(11) Hamilton, N.J., 1965, Water Resources of Bahrain Island, 1965. Unpub., Bapco File report, Bahrain.

(12) Directorate of Statistics, 1989, State of Bahrain Statistical Abstract-1988. #22-4\1500\1989, State of Bahrain.

(13) Bahrain Petroleum Company (Bapco), 1952, Report on Natural Springs Flow Survey, Bahrain Islands. Unpub., Bapco file report.

(14) Al-Junaid, S. S., 1990, Groundwater Situation in Bahrain, 1979-1989. Unpub. M.Sc. Thesis, Arabian Gulf University, Bahrain, 181 p.

Hydrogeologic Exploration in Eastern Abu Dhabi Emirate Using Uphole Data from Petroleum Seismic Surveys

Dennis g. Woodward, Chris M. Mengs, Mohamed A. Khalifa

HYDROGEOLOGIC EXPLORATION IN EASTERN ABU DHABI EMIRATE USING UPHOLE DATA FROM PETROLEUM SEISMIC SURVEYS

BY

Dennis G. Woodward, Hydrologist, U.S. Geological Survey, Tacoma, WA, USA;
Chris M. Menges, Geologist, U.S. Geological Survey, Al Ain, UAE; and
Mohamed A. Khalifa, Hydrologist, National Drilling Co., Al Ain, UAE.

Uphole surveys conducted for petroleum seismic exploration can provide useful data for shallow ground-water studies. Approximately 1,300 uphole surveys were conducted in the eastern region of the Emirate of Abu Dhabi near Al Ain between March 1981 and June 1983. Reinterpretation of the velocity profiles derived from the uphole surveys provided data for determining the hydrogeologic significance of the shallow (generally less that 70 meters) subsurface layers. Stratigraphic control used in the reinterpretation was provided by geologic logs from wells drilled for independent studies. A map of the water table for the 2,500 km^2 concession area was prepared using these uphole data. Water-table contours suggest a buried paleodrainage network trending away from the Oman Mountains.

INTRODUCTION

1. In January 1989, the United States Geological Survey (USGS), in cooperation with the National Drilling Company of Abu Dhabi (NDC), began a 4-year study of the fresh and slightly saline ground-water resources of the Abu Dhabi Emirate. The study is focused primarily on

the Al Ain area in the eastern region and secondarily on the Liwa area in the western region (fig.1), because essentially all of the fresh and slightly saline ground water in the Emirate occurs in these two areas.

2. A ground-water flow model of the Al Ain area will be constructed during the study in order to evaluate the extent of the shallow aquifer system and to understand the effects of ground-water withdrawals on the aquifer system. The top boundary of the shallow aquifer system is the water table, and a contour map of this boundary is required for the development and calibration of the flow model. A particularly good source of consistent data for constructing this map comes from a regional set of uphole data collected between 1981 and 1983 as part of a seismic reflection survey conducted in the Al Ain area for petroleum exploration. These uphole data include direct measurements of the seismic velocity and thickness of near-surface materials penetrated by shallow boreholes (less than 70 meters). This report describes how the uphole data were used to map the water table in an area near Al Ain.

HYDROGEOLOGIC SETTING

3. The largest reserves of fresh ground water in the Abu Dhabi Emirate are generally thought to occur in the alluvial deposits of the piedmont plain in the Al Ain area. The hydrogeologic setting of the area covering this report is shown on a satellite image collected during 1989 (fig. 2). Most of the alluvium was derived from the ophiolitic Oman Mountains, which rise about 1,200 to 1,600 m above sea level to the east. In the northern and western parts of the Al Ain area, the piedmont plain is covered by a system of elongate northeast-southwest

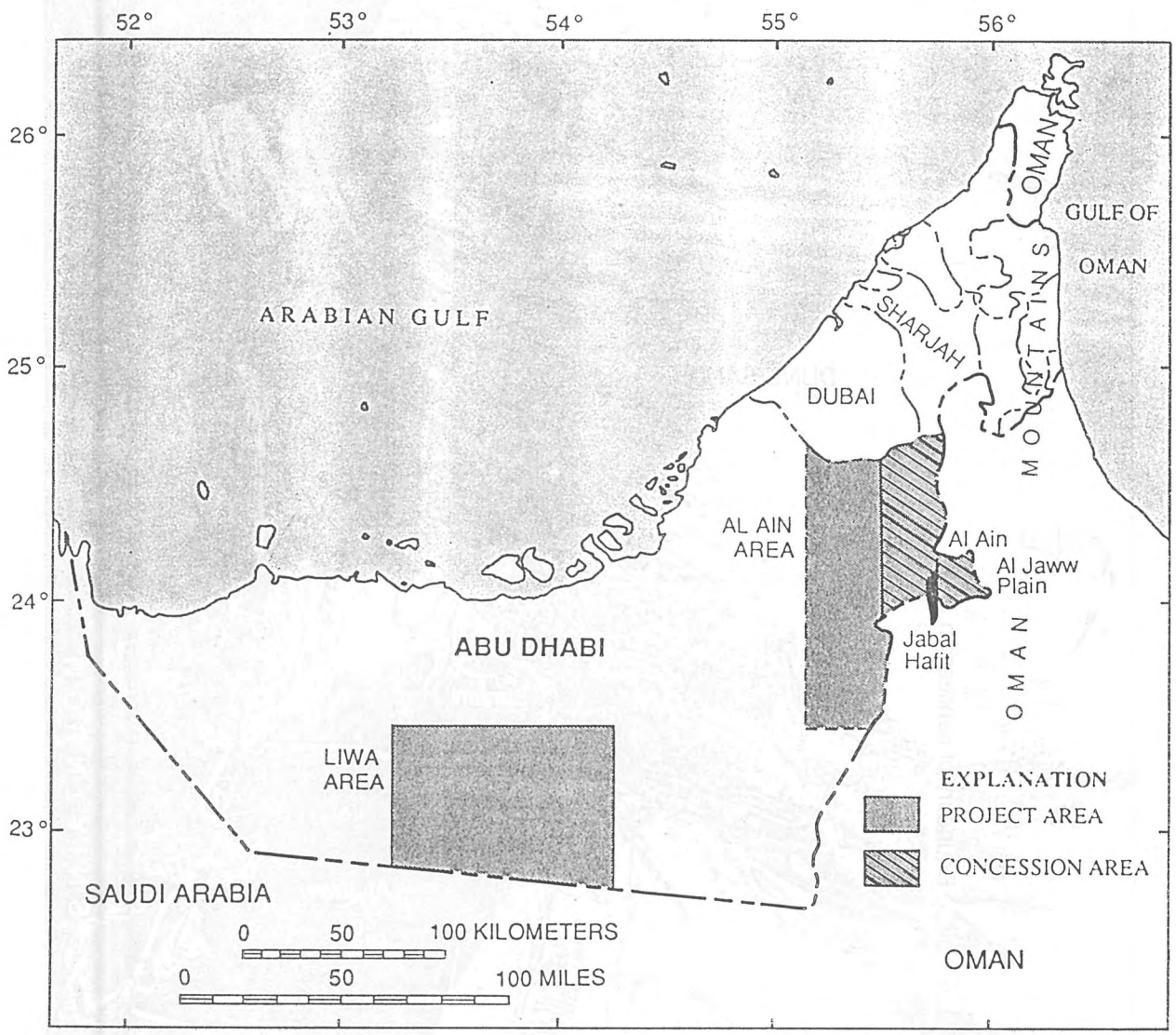


Figure 1.--Location of project areas and concession area in Abu Dhabi Emirate.

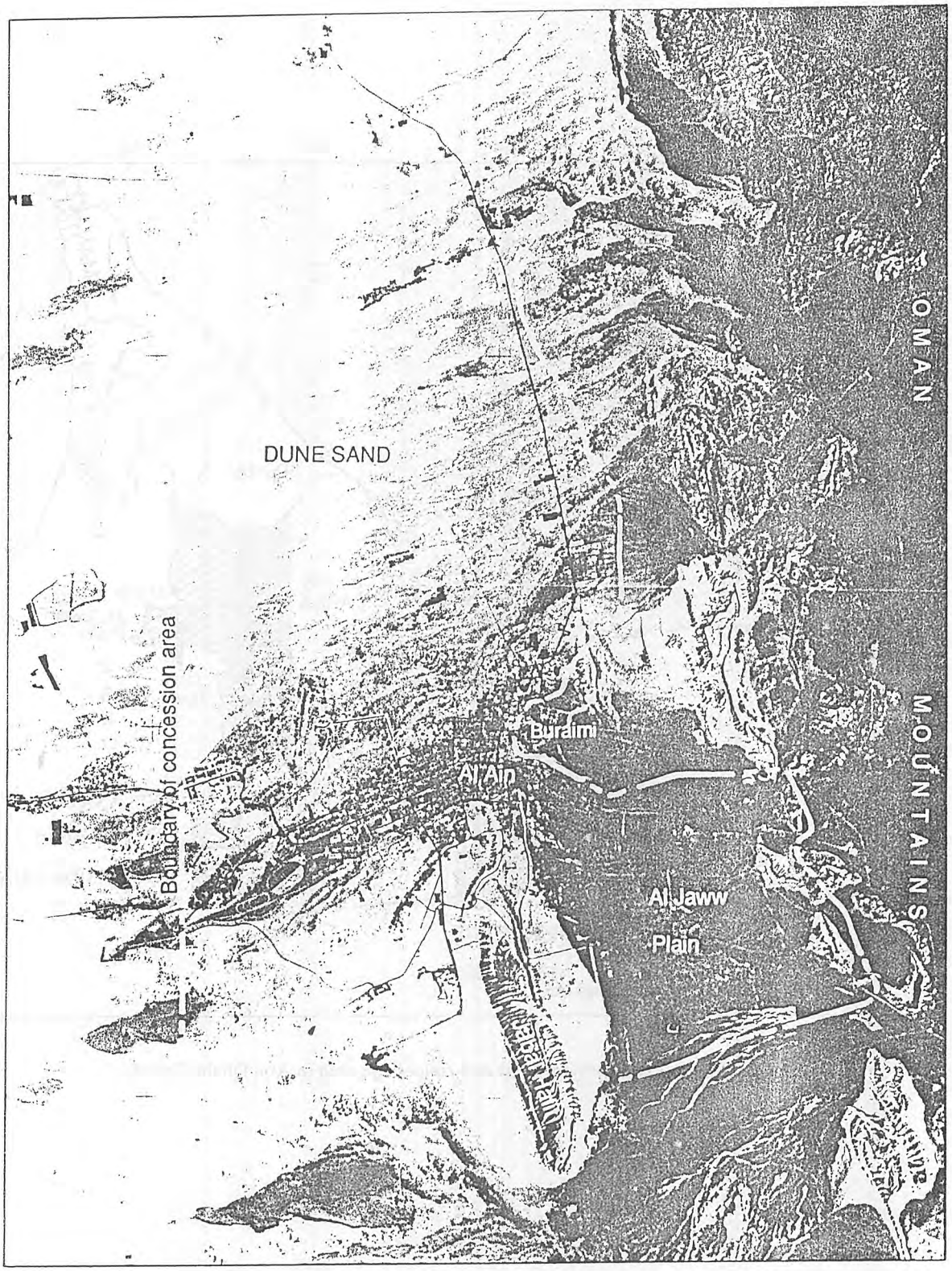


Figure 2.--Satellite image of concession area near Al Ain, Abu Dhabi Emirate.

trending, compound (longitudinal and transverse) sand dunes as much as 45 m high; relatively flat, elongated interdunal areas exist between most of the dunal ridges (fig. 2). Present-day wadis are located in these interdunal areas, particularly near the mountains. The dunes encroached onto the area from the west, and Jabal Hafit (a doubly plunging anticline rising about 930 m above the adjacent piedmont) has effectively blocked the eolian sand from advancing onto the Al Jaww Plain located on the leeward side of the jabal.

4. Most studies postulate that recharge to the generally unconfined aquifer, under present climatic conditions, consists primarily from rain that falls on the western flank of the Oman Mountains. Many wadis in the mountains maintain a perennial flow; however, as those wadis exit the mountains to the piedmont plain, the streamflow quickly dissipates by infiltrating into the permeable channel bed. Most of the natural recharge from the mountain catchment areas reaches the piedmont plain as ground-water underflow in the alluvium, and a small part probably moves westward from the subjacent pre-Quaternary strata. Cementation of the alluvium by calcium carbonate is widespread in some wadis and tends to increase irregularly with depth; permeability is much reduced in these cemented strata.

5. The position of the water table, and consequently the direction of ground-water flow, has been determined only during the past 20 years for portions of the Al Ain area. Sir Alexander Gibb and Partners [1] prepared a water-table map of the Al Jaww Plain using water-level measurements in wells during 1969; Hydroconsult [2] constructed water-table maps of the Al Jaww Plain and an area north of Al Ain town using

water-level measurements in wells during 1978; and German Water Engineering [3] prepared a water-table map of the Um Ghafa area using water-level measurements in wells during 1982. Prior to this study, a water-table map of the entire Al Ain area did not exist.

UPHOLE DATA FROM PETROLEUM SEISMIC SURVEYS

6. In 1980, Amoco Abu Dhabi Exploration Company was awarded a petroleum concession covering approximately 2,500 km^2 in the eastern region of Abu Dhabi near Al Ain (fig. 1). Between March 1981 and July 1983, a Western Geophysical Company seismic crew collected about 2,780 km of Vibroseis data along 94 lines in the concession area; in addition, the crew collected data from about 1,300 uphole surveys that were conducted at approximately 2-km intervals along each seismic line (fig. 3). The results from these uphole surveys provide data required to calculate the "weathering" corrections needed for subsequent processing of the seismic field records (Threadgold and Price, [4]).

7. Uphole surveys use seismic geophysics to provide a direct measurement of the velocity, thickness, and depth of shallow, subsurface materials (Cline, [5]. The uphole data used in this study were collected in the field by the following manner (Threadgold and Price, [4]). At each uphole site, a borehole was drilled with a mud-rotary rig to a depth considered to be below the weathering layer--generally from 50 to 70 m, depending on the land surface topography. Hydrophones were attached at 5-m intervals to an uphole cable, and the cable was inserted to the bottom of the mud-filled borehole (fig. 4a). Drilling mud provided a good acoustical coupling between the hydrophones and the subsurface

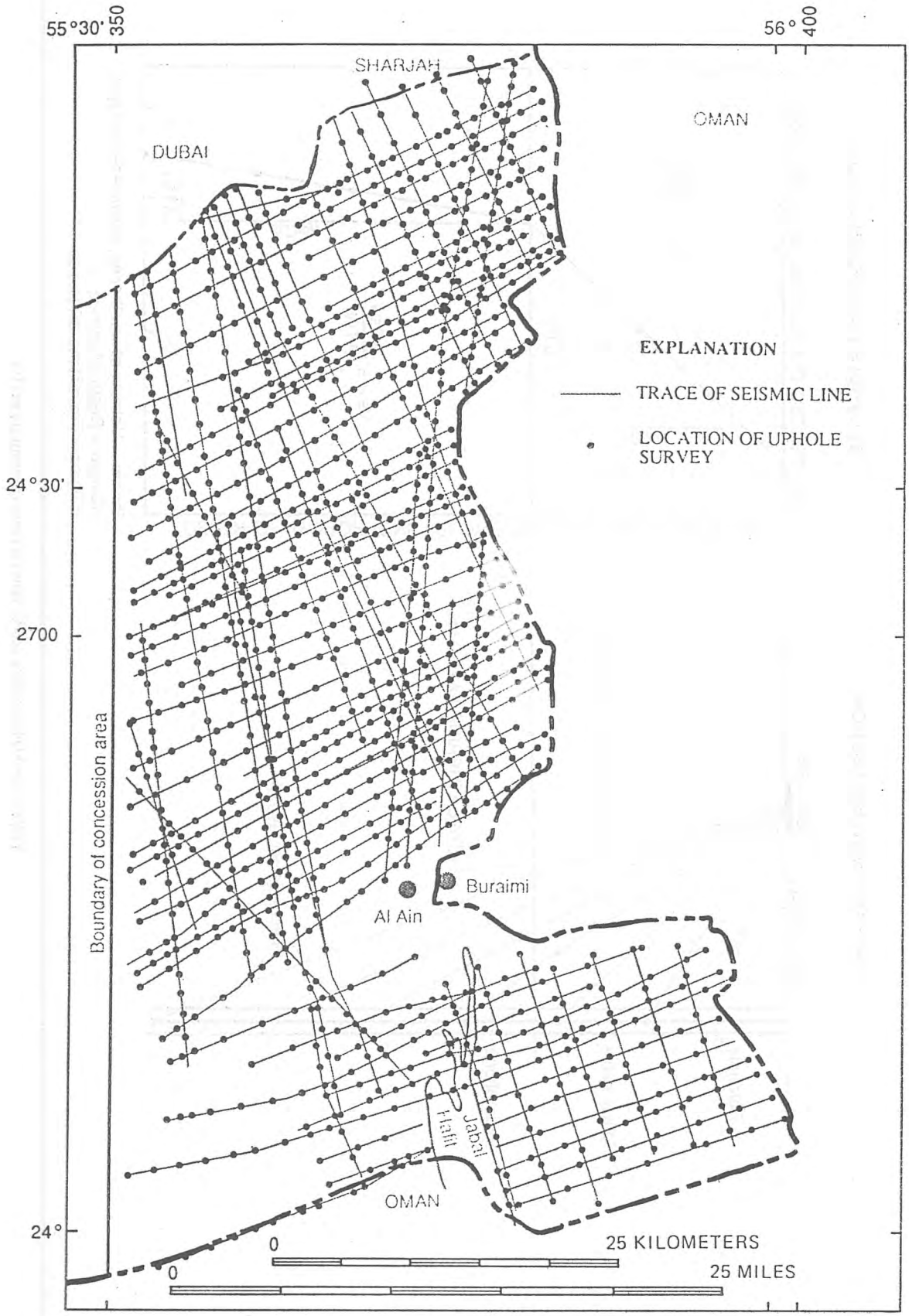


Figure 3.--Location of seismic lines and uphole surveys completed during 1981-83 in concession area.

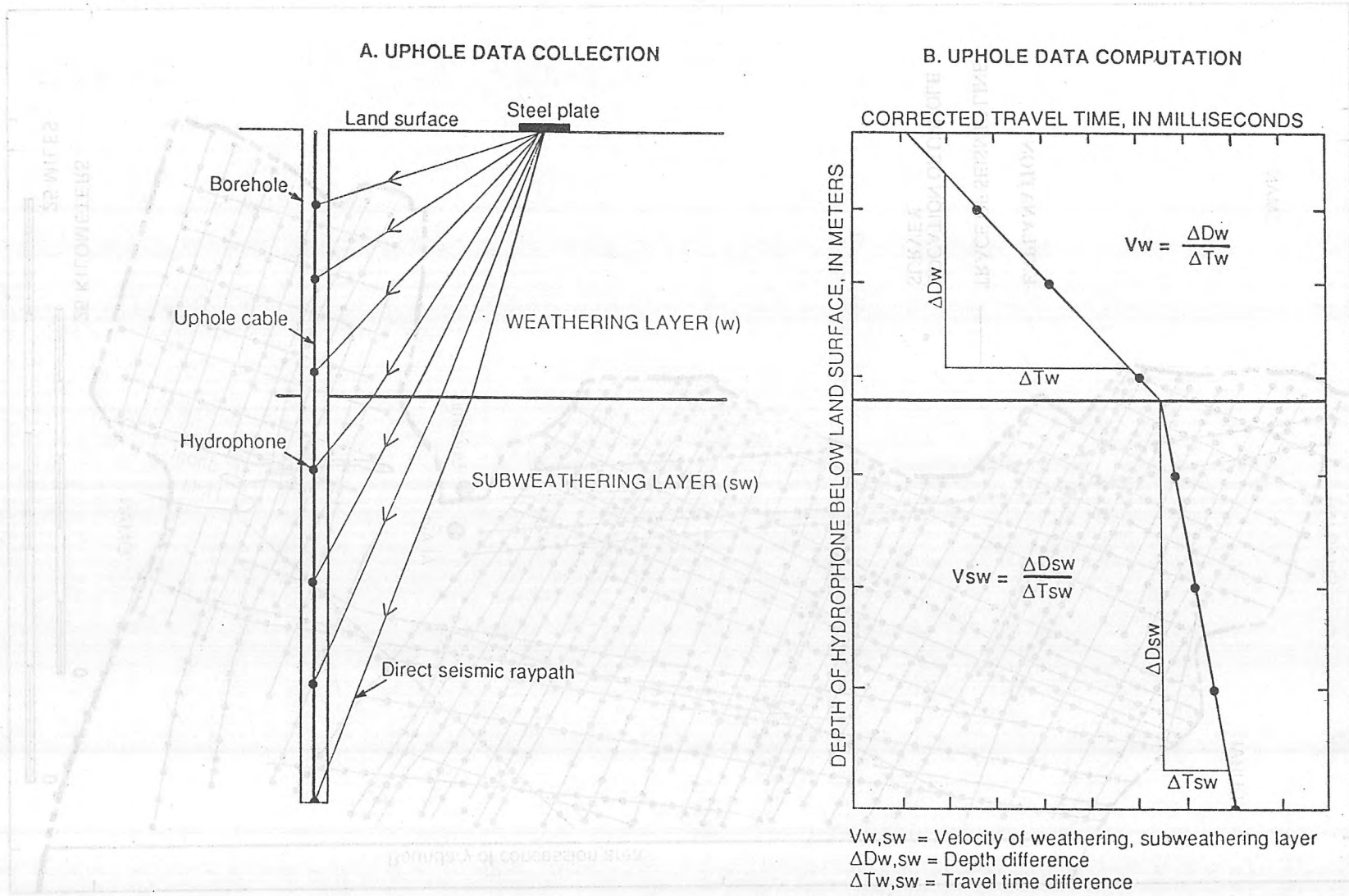


Figure 4.--Uphole data collection (A) and computation (B).

material adjacent to the borehole. The uphole cable was attached to a portable recording seismograph. The drill kelly was then lifted and dropped onto a steel plate to initiate the seismic energy (the plate was located on the ground surface 3 m from the borehole), and the travel times for the direct seismic waves from the energy source to each of the hydrophones were recorded by the seismograph. The cable was then pulled up 2.5 m, and the procedures were repeated until sufficient records to compute weathering corrections were obtained.

8. Preparation of the field uphole data for interpretation was quite simple. Each of the original travel-time records was corrected to the vertical by multiplying the direct travel time by the cosine of the angle between the vertical and the direction from the source to the hydrophone (fig. 4a). These corrected travel times then were plotted on a graph against the corresponding hydrophone depth (fig. 4b). Subsurface materials that have a uniform seismic velocity are defined on the graph by time-depth points that can be connected by a straight line; the velocity of the layer is the inverse of the slope of the straight line (fig. 4b). The boundaries of those uniform velocity layers are represented on the graphs by "breaks" in the straight-line plots.

9. A typical velocity profile collected in the concession area indicates that several velocity layers were present (fig. 5). This velocity profile was used to determine velocities, thicknesses, and depths of the shallow subsurface layers to be used for weathering corrections.

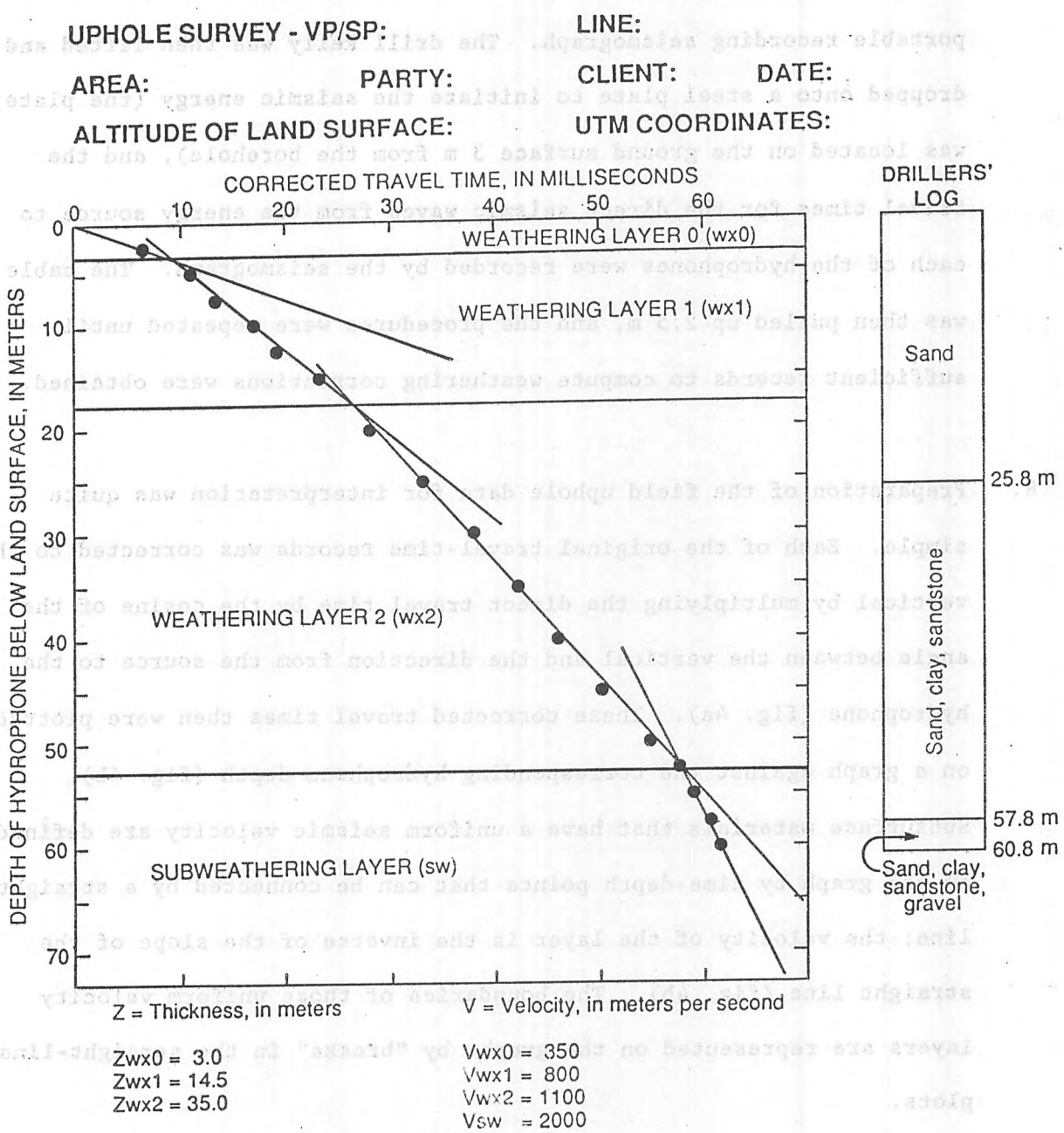


Figure 5.--Velocity profile from uphole survey for petroleum exploration.

For petroleum exploration purposes, plotting the time-depth points was stopped once a velocity of about 2,000 m/s (the subweathering velocity) was reached.

APPLICATION OF UPHOLE DATA TO GROUND-WATER STUDIES

10. Analysis of the velocity profile data from uphole surveys in order to determine the geologic or hydrogeologic significance of the weathering layers is not commonly done for petroleum exploration. Although a few exploration geophysicists have noted that, in some instances, the base of the weathering layer coincided with the water table (Dobrin, [6]; Dohr, [7]; Rogers, [8]; Sengbush, [9]; and Coffeen, [10]), the velocity profiles produced from uphole surveys commonly must be reinterpreted in order to determine important hydrogeologic boundaries.

11. Most of the approximately 1,300 velocity profiles developed from uphole surveys in the concession area have either three or four clearly defined velocity layers (fig. 5). Stratigraphic control used in the reinterpretation of the velocity profiles was provided by geologic logs from wells drilled for the Sir Alexander Gibb and Partners [1] study, for the Um Ghafa study (German Water Engineering, [3]), and for the present NDC-USGS study. The following hydrogeologic layers have been correlated to the above-mentioned velocity layers (fig. 6), and are listed in descending order: (1) a surficial, uncompacted weathering layer with a velocity from 300 to 450 m/s; (2) a layer of surficial, unsaturated, and uncompacted eolian sand, or of unsaturated, poorly cemented alluvium with a velocity of 750 to 900 m/s; (3) a layer of unsaturated, compacted (cemented?) eolian sand, or of unsaturated

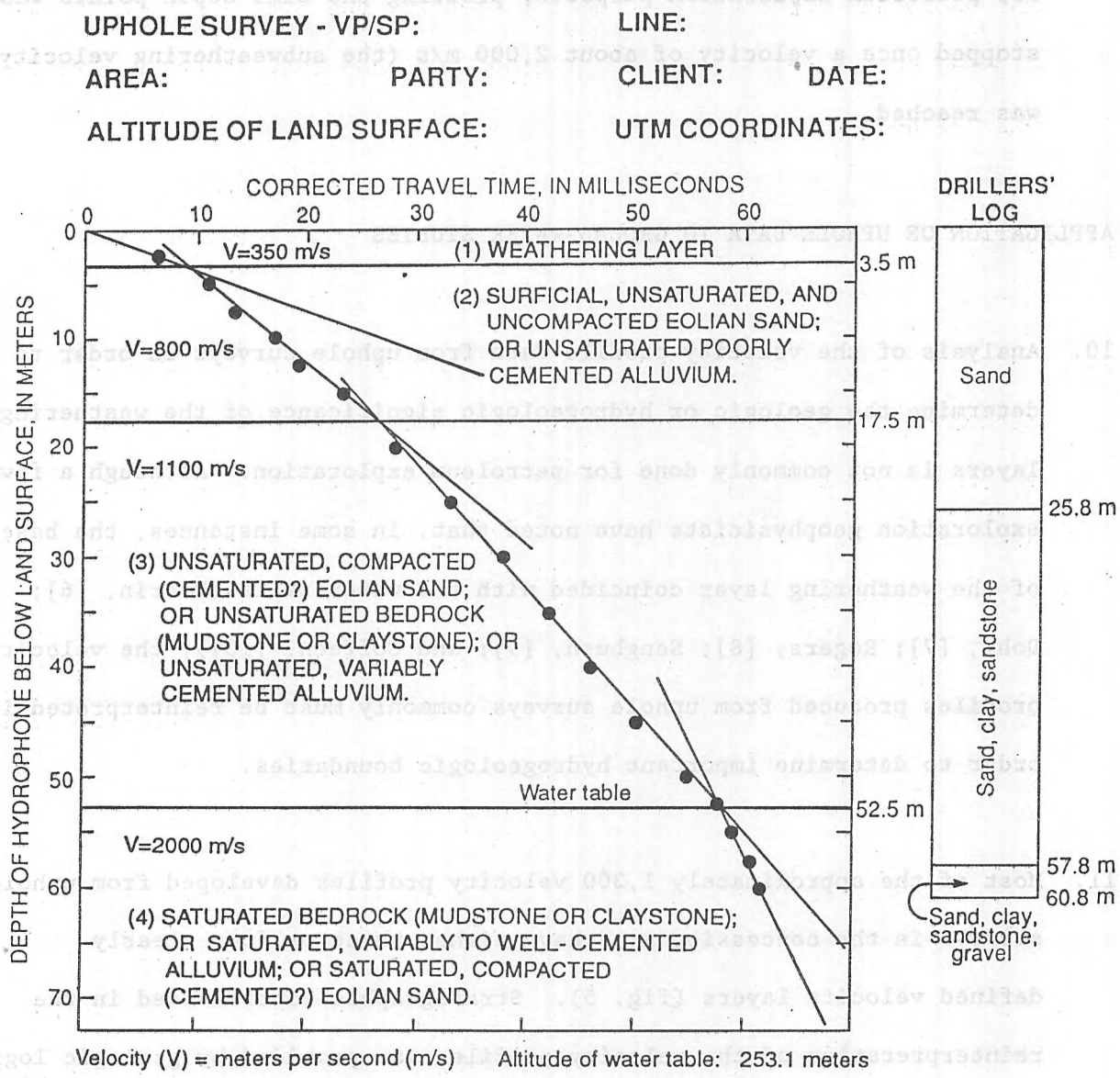
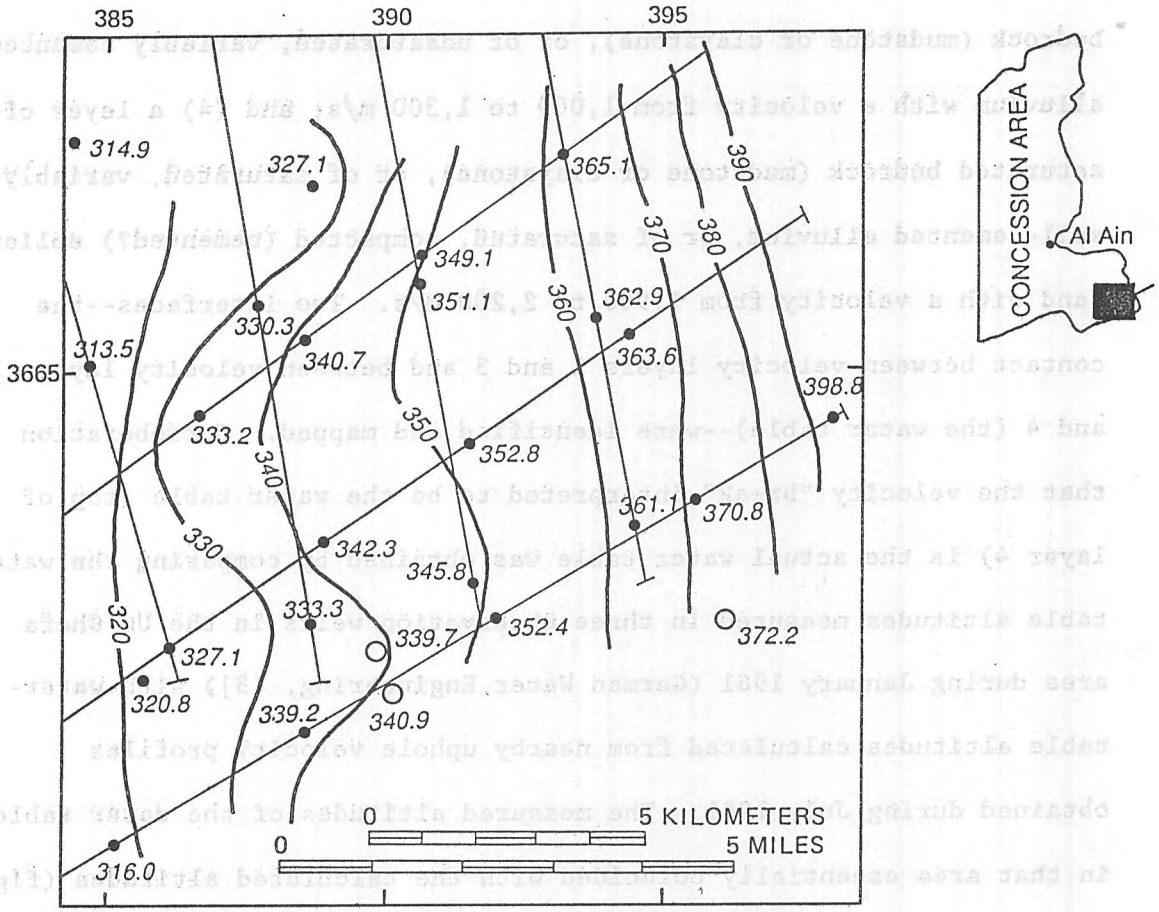


Figure 6.--Velocity profile from uphole survey reinterpreted for ground-water investigation.

bedrock (mudstone or claystone), or of unsaturated, variably cemented alluvium with a velocity from 1,000 to 1,300 m/s; and (4) a layer of saturated bedrock (mudstone or claystone), or of saturated, variably to well-cemented alluvium, or of saturated, compacted (cemented?) eolian sand with a velocity from 1,900 to 2,200 m/s. Two interfaces--the contact between velocity layers 2 and 3 and between velocity layers 3 and 4 (the water table)--were identified and mapped. Corroboration that the velocity "break" interpreted to be the water table (top of layer 4) is the actual water table was obtained by comparing the water-table altitudes measured in three observation wells in the Um Ghafa area during January 1981 (German Water Engineering, [3]) with water-table altitudes calculated from nearby uphole velocity profiles obtained during July 1981. The measured altitudes of the water table in that area essentially coincided with the calculated altitudes (fig. 7).

12. Although the regional water table can fluctuate naturally as much as 2 m/yr in the Al Ain area and the water-table calculations from the uphole data span a 27-month period, an extremely consistent and interpretable water-table map was derived from the uphole data throughout the entire concession area (fig. 8). During the 1981-1983 period, the depth to the water table throughout the concession area varied from about 1 to 60 m and averaged about 27 m; the altitude of the water table ranged from about 400 m above sea level near the Oman Mountains in the Al Jaww Plain to about 170 m in the northwestern part of the concession area. On a regional scale, the water-table contours indicate that in the northern part of the Al Ain area, unconfined ground water moves northward and northwestward toward the Arabian Gulf,



EXPLANATION

330 — POTENTIOMETRIC CONTOUR--
Shows altitude of water table.
Contour interval 10 meters.
Datum is sea level

339.2 • LOCATION OF UPHOLE SURVEY--
Value is altitude of water table, in meters, calculated from uphole survey, July 1981

340.9 ○ LOCATION OF GROUND-WATER OBSERVATION WELL--
Value is altitude of water table, in meters, measured in well, January 1981

TRACE OF SEISMIC LINE

Figure 7.--Altitude of water table in Um Ghafa area, 1981-1983.

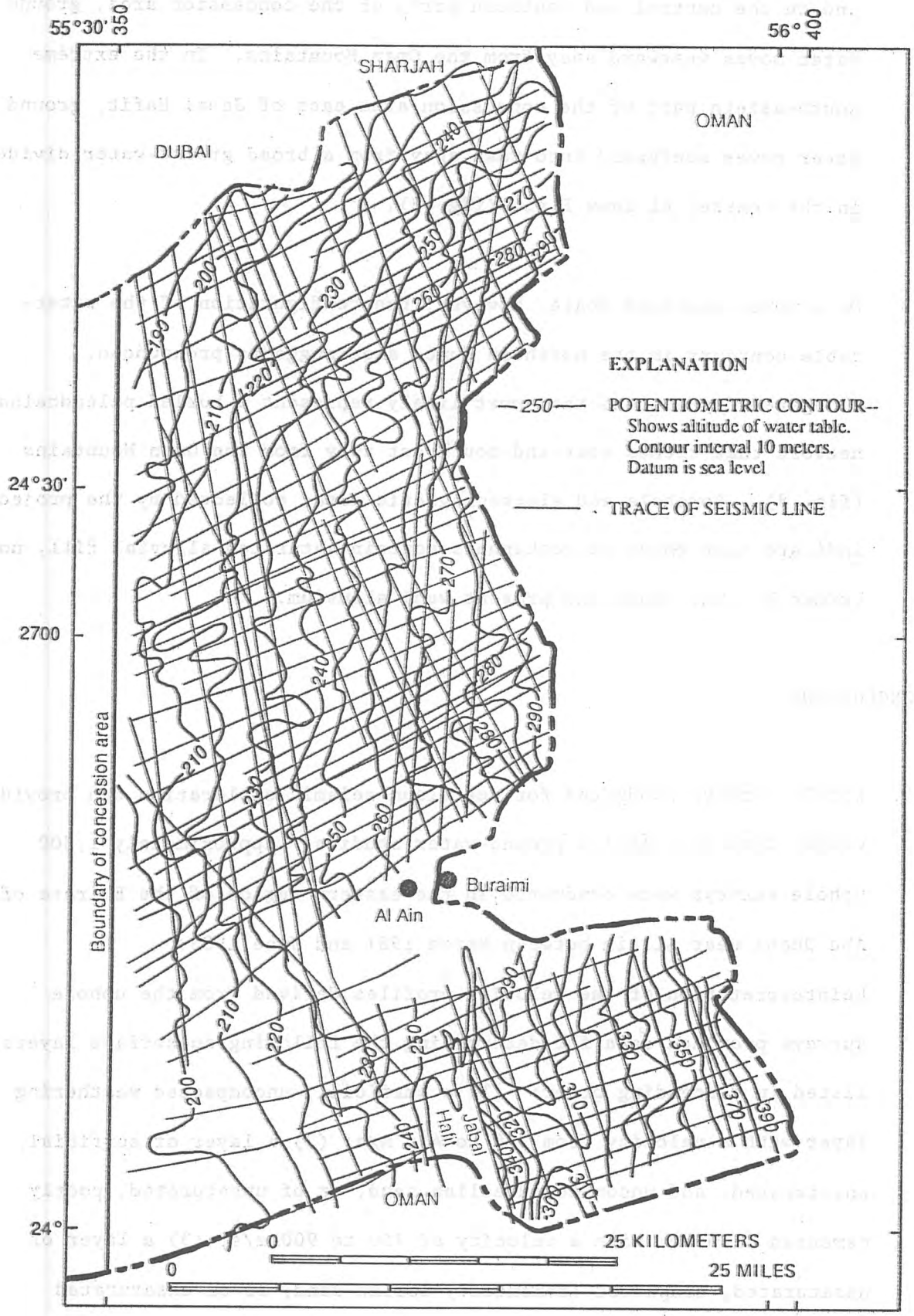


Figure 8.--Altitude of water table near Al Ain, calculated from uphole data, 1981-83.

and in the central and southern parts of the concession area, ground water moves westward away from the Oman Mountains. In the extreme southeastern part of the concession area east of Jabal Hafit, ground water moves southward into Oman away from a broad ground-water divide in the central Al Jaww Plain (fig. 8).

13. On a more localized scale, however, the configuration of the water-table contours in the northern dunes area suggests pronounced, elongated depressions that most likely represent a buried paleodrainage network that trends west and southwest away from the Oman Mountains (fig. 8). Borehole and electromagnetic data, collected by the project, indicate that these paleochannels contain saturated alluvial fill, now buried by dune sands and present wadi alluvium.

CONCLUSIONS

14. Uphole surveys conducted for petroleum seismic exploration can provide useful data for shallow ground-water studies. Approximately 1,300 uphole surveys were conducted in the eastern region of the Emirate of Abu Dhabi near Al Ain between March 1981 and June 1983. Reinterpretation of the velocity profiles derived from the uphole surveys provided data for determining the following subsurface layers, listed in descending order: (1) a surficial, uncompacted weathering layer with a velocity from 300 to 450 m/s; (2) a layer of surficial, unsaturated, and uncompacted eolian sand, or of unsaturated, poorly cemented alluvium with a velocity of 750 to 900 m/s; (3) a layer of unsaturated, compacted (cemented?) eolian sand, or of unsaturated bedrock (mudstone or claystone), or of unsaturated, variably cemented

alluvium with a velocity from 1,000 to 1,300 m/s; and (4) a layer of saturated bedrock (mudstone or claystone), or of saturated, variably to well-cemented alluvium, or of saturated, compacted (cemented?) eolian sand with a velocity from 1,900 to 2,200 m/s. Stratigraphic control used in the reinterpretation was provided by geologic logs from wells drilled for independent studies. A map of the water table for the 2,500 km^2 concession area was prepared using these uphole data. Water-table contours suggest a buried paleodrainage network trending away from the Oman Mountains. Buried paleochannels contain saturated alluvial fill and may constitute major freshwater aquifers in the Al Ain area.

ACKNOWLEDGMENTS

15. The authors appreciate the expeditious assistance provided by Mr. Ahmed Juma Al Dharif, General Manager, National Drilling Company of Abu Dhabi. Mr. Rashid Al Suwaidi, Director Exploration and Production, Abu Dhabi National Oil Company, has been extremely cooperative in providing access to the seismic data; and Mssrs. Samir Zidan (Superintendent Geophysical Operations Department), Abdel Kader Attar (Supervisor ADNOC Areas Acquisition and Processing-Geophysics), and Abubaker Al Jeelani (Senior Geophysicist) have provided geophysical technical support and guidance throughout the project.

REFERENCES

1. Gibb, Sir Alexander, and Partners. Abu Dhabi Water Resources Survey: Supplement to Interim Report. Consultant Report for the Department of Development and Public Works, Government of Abu Dhabi. 1970. 54 p. with Appendices.

2. Hydroconsult. Abu Dhabi (UAE) Eastern Region Water Resources: Reconnaissance Report and Development Proposal. Consultant Report for Ministry of Electricity and Water, United Arab Emirates, Emirate of Abu Dhabi. 1978. 126 p.

3. German Water Engineering. Um Ghafa Water Project, Al Ain, Preliminary Report: Completion of Wells. Consultant Report for Water and Electricity Department, Government of Abu Dhabi. 1982. 11 p. plus Appendices.

4. Threadgold, I.M., and Price, L.D., Interpretation Report of the Amoco Abu Dhabi Exploration Company 1981-83 seismic survey. Consultant Report for Department of Petroleum, Abu Dhabi. 1985. 40 p.

5. Cline, W.M., Uphole velocity surveys can save field time, reduce errors. Oil Gas Jour. Rep., 81(36). 1983. p. 129-132.

6. Dobrin, M.B., Introduction to Geophysical Prospecting. New York. McGraw-Hill. 1976. 630 p.

7. Dohr, G., Applied Geophysics: Introduction to Geophysical Prospecting. New York. Halsted Press. 1981. 231 p.

8. Rogers, A.W., Determination of static corrections; in Fitch, A.A., ed., Developments in Geophysical Exploration Methods. London, England. Applied Science Publishers. 1981. p. 1-36.

9. Sengbush, R.L., Seismic Exploration Methods. Boston, Mass. International Human Resources Development Corp. Pub. 1983. 296 p.

10. Coffeen, J.A., Seismic Exploration Fundamentals. Tulsa, Okla. PenWell. 1986. 347 p.

وضع المياه الجوفية في دولة البحرين

دراسة كمية ونوعية في الفترة من 1980 إلى 1990

الدكتور وليد خليل زباري

صباح صالح الجنيد

وضع المياه الجوفية في دولة البحرين
" دراسة كمية ونوعية في الفترة من 1980 إلى 1990 "

د. وليد خليل زباري
أستاذ مساعد - هيدروجيولوجيا

صباح صالح الجنيد
معيد - ماجستير موارد صحراوية

برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة - قسم العلوم الفيزيائية والهندسية
كلية العلوم التطبيقية ، جامعة الخليج العربي
ص . ب 26671 ،
المنامة - دولة البحريـــــن

الخلاصـــــــة

تناقش هذه الدراسة التغيّرات التي طرأت على وضع الخزانات الجوفية في البحرين في العشر سنوات الماضية وأسبابها ووضع تصورات حول أفضل السبل لمعالجتها لضمان أستمرارية الأستفادة من المياه الجوفية للفترات القادمة . ولقد بينت الدراسة أستمرار هبوط المستويات البيزومترية ، وتدني نوعية خزان الدمام الجوفي - الخزان الرئيسي في دولة البحرين - كنتيجة مباشرة للزيادة الهائلة في معدلات السحب من مياه الخزان . ويمر الوضع الحالي للمياة الجوفية في البحرين بقدر كبير من الخطورة فأكثر من نصف الحجم الأصلي لخزان الدمام قد تلوث كلية وبقية حجم الخزان مهدد بالتلوث حسب المؤشرات المستخلصة من هذه الدراســـة . و قد حدث هذا التدهور بسبب أستغلال المياة الجوفية بدون مراعاة للأنتاج الآمن المحدد الأمر الذي نجم عنه أختلال واضح بين الكميات المسحوبة والمستعاضة لمياة الخزان ، مما جعل المشكلة المائية تبرز إلى صدارة المشاكل التي تستوجب سرعة الحلول في الفترات القادمة .

المقدمـــــــة

1 . تقع جزر البحرين ضمن بيئة شديدة الجفاف ، فدرجات الحرارة عالية وكمية الأمطار المتساقطة قليلة وغير منتظمة لا في موعدها ولا في كمياتها . ولقد أدت هذه الظروف المناخية إلى خلق عجز دائم في الميزانية المائية بين ما يفقد عن طريق عمليات البخر والنتح وبين كمية الأمطار المتساقطة ، وبالتالي أستحالة وجود مياه سطحية مستديمة طوال العام . ولقد أعتمد السكان حتى مطلع الثلاثينات من هذا القرن في تلبية أحتياجاتهم من المياه على الينابيع الطبيعية البحرية والبرية والتي تعتبر أحد أشكال التصريف الطبيعي لمياه خزان الدمام الجوفي . وبعد أكتشاف النفط وتحسن المستوى المعيشي والصحي في الدولة زاد الطلب على المياه ، فأصبحت المياه الجوفية هي الهدف ، فأعتمدت الدولة والسكان على آبار السحب من الخزان الجوفي في تلبية أحتياجاتهم بدلاً من العيون الطبيعية ، وبزيادة عدد الآبار زادت الكميات المسحوبة من المياه الجوفية ، وتجاوزت معدلات التصريف الطبيعي للخزان .

2 . ولقد أدى الأستغلال غير المدروس لخزان الدمام إلى تراجع المستويات المائية بشكل حاد ومستمر فيه ، الأمر الذي أدى إلى طغيان مياه البحر للخزان في المناطق الشرقية والجنوبية من البحرين ، وتسرب المياه الجوفية العالية الملوحة رأسياً في المناطق الوسطى . وفي العقدين الماضيين وبسبب السحب المتزايد أصبحت كل مناطق البحرين متأثرة بهاتين العمليتين . فبدأت المشكلة المائية تأخذ أبعاداً أكثر خطورة ، فالتقليص المستمر للمياه العذبة في الخزان بالمعدلات المسجلة قد يؤدي إلى فقدان هذا المورد الطبيعي نهائياً في دولة البحرين ، الأمر الذي قد يعرض الدولة إلى أزمة مائية خانقة ويجعلها تعتمد على إمدادات قد تكون معرضة للخطر ، ومحطات تحلية ذات تكلفة عالية ولها نتائج سلبية عديدة على البيئة .

3 . ولقد أنتبهت الدولة لخطورة الوضع في منتصف عقد السبعينات بعد أن تلوثت مناطق عديدة من الخزان ونضبت معظم العيون الطبيعية في البحرين مما دفعها إلى عمل دراسات مستفيضه ومتكاملة للموارد المائية الطبيعية في البحرين ، ونتج عن ذلك دراسة شاملة عن وضع المياه الجوفية في البحرين قامت بها الشركة الأستشارية لتطوير المياه الجوفية (GDC) في عام 1980 . وتبحث هذه الورقة وضع الخزانات الجوفية الحالي في الدولة وما طرأ عليه من تغيرات خلال العقد الأخير 1980 - 1990 ومحاولة الوقوف على الأسباب المؤدية إلى تلك التغيرات .

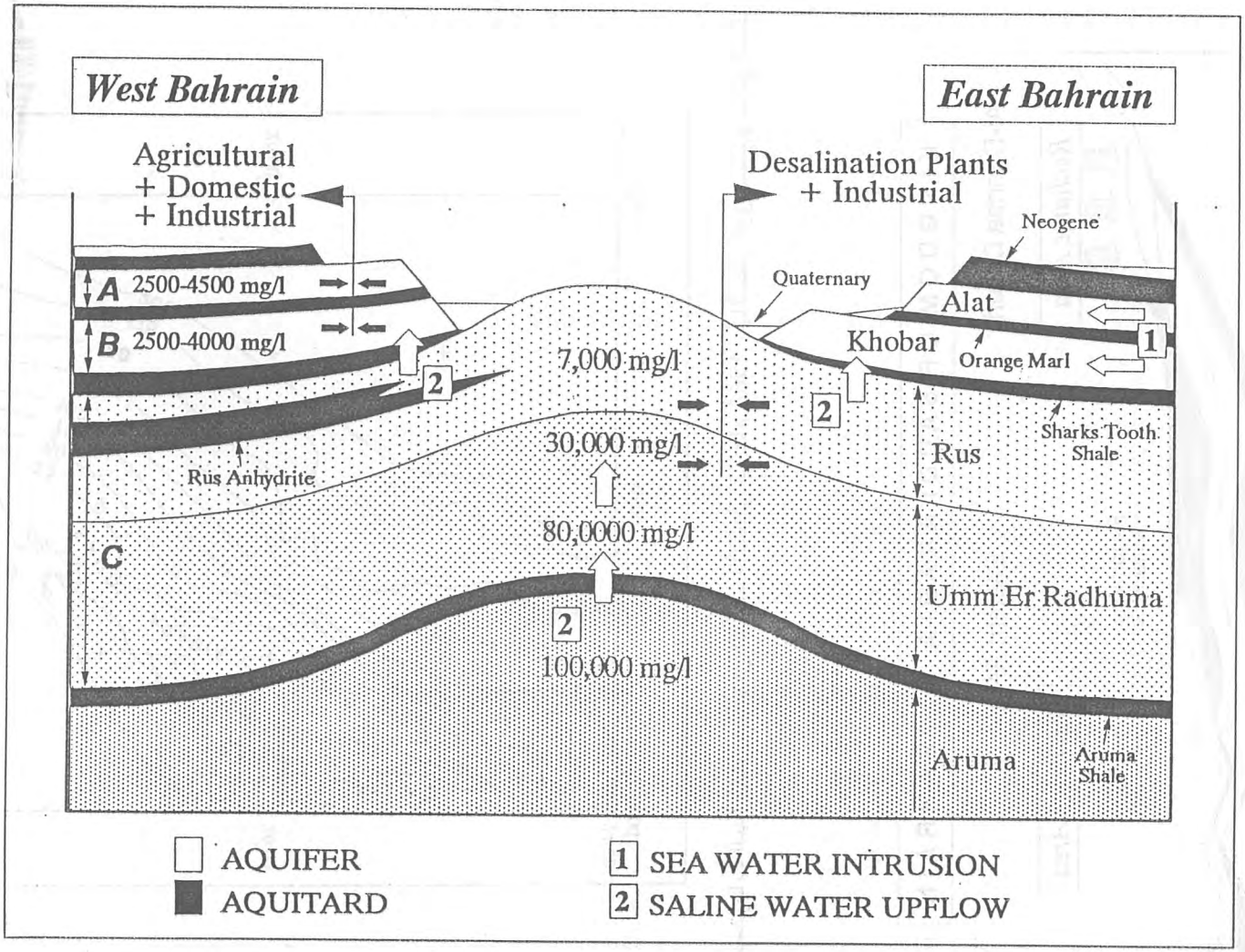
. هيدروجيولوجية الخزانات المائية

4 . تعتمد دولة البحرين في تلبية أحتياجاتها من المياه الجوفية على ثلاثة خزانات جوفية رئيسية يطلق عليها ، من الأعلى للأسفل ، بالنطاقات " أ " و " ب " و " جـ " (شكل -١) . يتألف النطاق " أ " من الجزء السفلي من تكوين النيوجين (حجر جيري دولوميتي) إضافة إلى الجزء العلوي من تكوين الدمام الذي يعرف بعضو جير العلات (حجر جيري دولوميتي) . ويتميز هذا الخزان بخصائص هيدروليكية محدودة حيث تبلغ ناقليته في المتوسط 350 متر2 /اليوم . وتستخدم مياه هذا الخزان في المناطق الصالحة منه بواسطة السكان المحليين على مستوى محدود للأغراض الزراعيه .

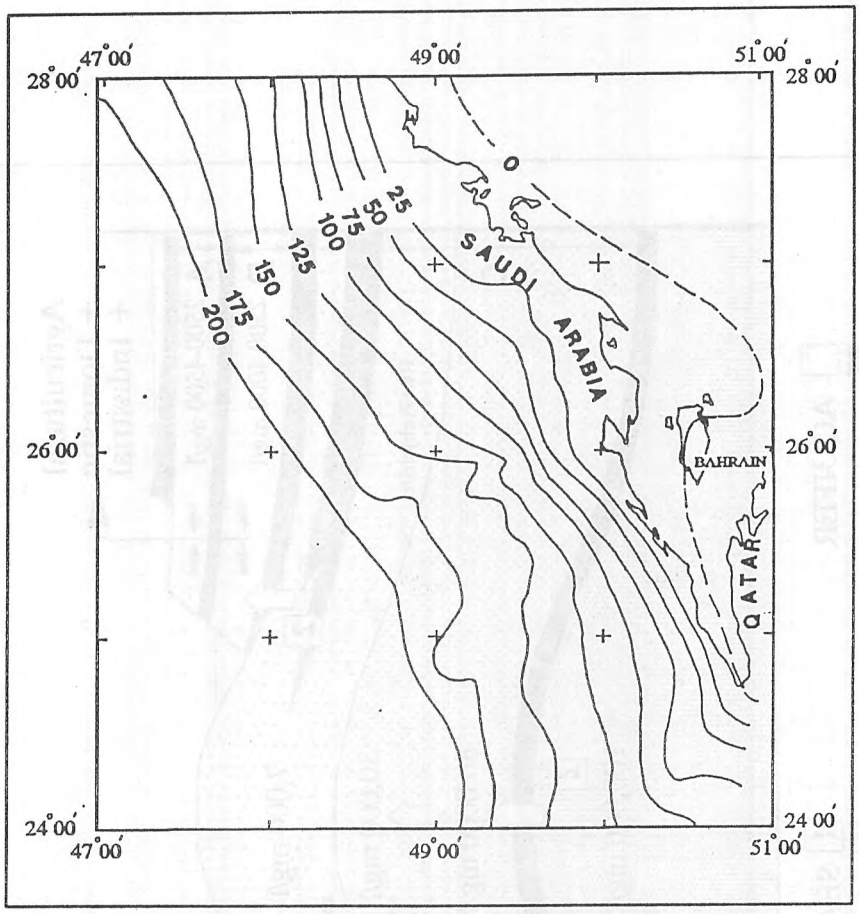
5. يشكل عضو الخبر المؤلف من حجر جيري دولوميتي متشقق (والتابع لتكوين الدمام) ، النطاق الثاني "ب " من أنظمة المياه الجوفية في البحرين ، ويعتبر الخزان الجوفي الرئيسي فيها إذ ينتج منه أكثر من 70٪ من إجمالي أستخدامات المياه الجوفية في الدولة (إستخدام زراعي وبلدي وصناعي) وذلك لجودة خواصة الهيدروليكية حيث يبلغ متوسط ناقليته حوالي 10000 متر2/اليوم . ويفصل بين الخزانين " أ " و " ب " طبقه شبه عازلة تعرف بعضو المارل البرتقالي ، ويطلق على الخزانين " أ " و " ب " تسمية خزان الدمام الجوفي .

6. يتكون النطاق الثالث " جـ " من صخور تكوين الروس بالإضافة إلى صخور الجزء العلوي من تكوين أم الرضمة (حجر جيري طباشيري متشقق) ، ويتميز الخزان " جـ " بخواص هيدروليكية متوسطة إلى جيدة حيث قدر متوسط ناقليته بحوالي 3000 متر2/اليوم ، إلا أن مياه الخزان تعتبر ذات نوعة رديئة نسبياً حيث تتراوح كمية الأملاح الذائبه بها من 7000 إلى 30000 ميللجرام/لتر وتزداد كمية الأملاح المذابه كلما إزداد عمق المياه حيث تصل إلى 80000 ميللجرام/لتر في الأجزاء السفلية من الخزان ، ولهذه الأسباب فإن أستخدام مياه الخزان في البحرين مقتصر على الأغراض الصناعية وتغذية محطات التحليه كمياه خام بدلاً من مياه البحر . ويفصل بين الخزانين " ب " و " جـ " طبقة شبه عازله تسمى بعضو الطفل الحامل لأسنان سمك القرش بالأضافة إلى طبقات الأنهدريت العازلة التابعة لتكوين الروس أحياناً كما هو مبين بالشكل (١) .

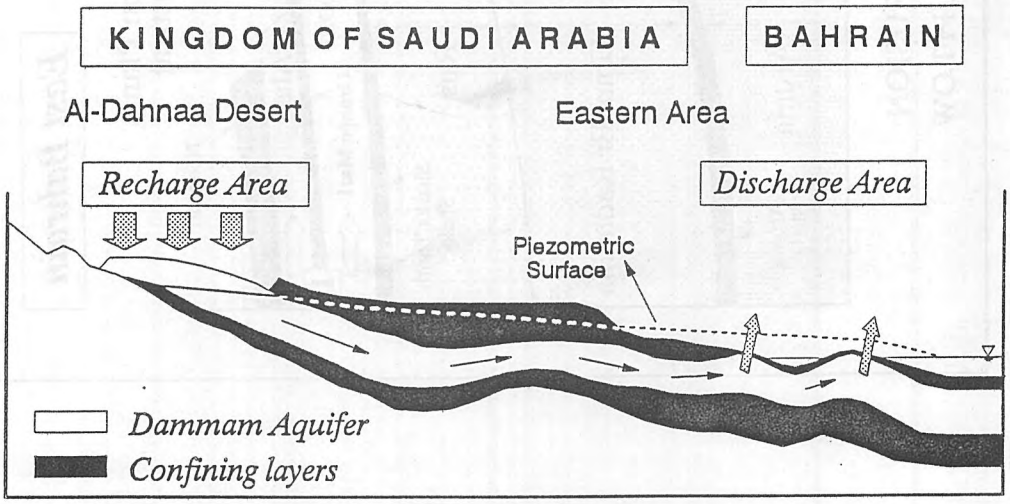
7 . ويمثل خزان الدمام في البحرين جزءاً صغيراً نسبياً من الخزان الجوفي الواسع الإمتداد والمسمى بالخزان العربي الشرقي الذي يمتد من صحراء الدهناء إلى المنطقة الشرقية في المملكه العربيه السعوديه والبحرين . ويوضح شكل (2) المستويات البيزومترية الأقليمية للخزان عام 1964 وقطاع هيدروجيولوجي مبسط للخزان . وتبين الخريطة البيزومترية إتجاه تدفق المياه من منطقة التغذية ، الواقعة في صحراء الدهناء حيث توجد منكشفات طبقات هذا الخزان الإقليمي وعلى إرتفاعات عالية تصل إلى 300 متر فوق مستوى سطح البحر ، في إتجاه



شكل (1) : قطاع هيدروجيولوجي مبسط يبين توزيع الخزانات الجوفية في دولة البحرين وأستخداماتها وأساليب تلوثها .



أ ـ المستويات البيزومترية لخزان الدمام الأقليمي في عام 1964 ، بالأمتار فوق مستوى سطح البحر ٠



ب ـ قطاع هيدروجيولوجي مبسط لخزان الدمام الأقليمي يبين مناطق التغذية والتصريف للخزان ٠

شكل (2) : خزان الدمام الأقليمي في منطقة البحرين والجزء الشرقي من المملكه العربية السعودية ٠

الشرق والشمال الشرقي لتغذى خزانات منطقة الساحل السعودي والبحرين والتي تمثل منطقة التصريف الطبيعي للخزان .

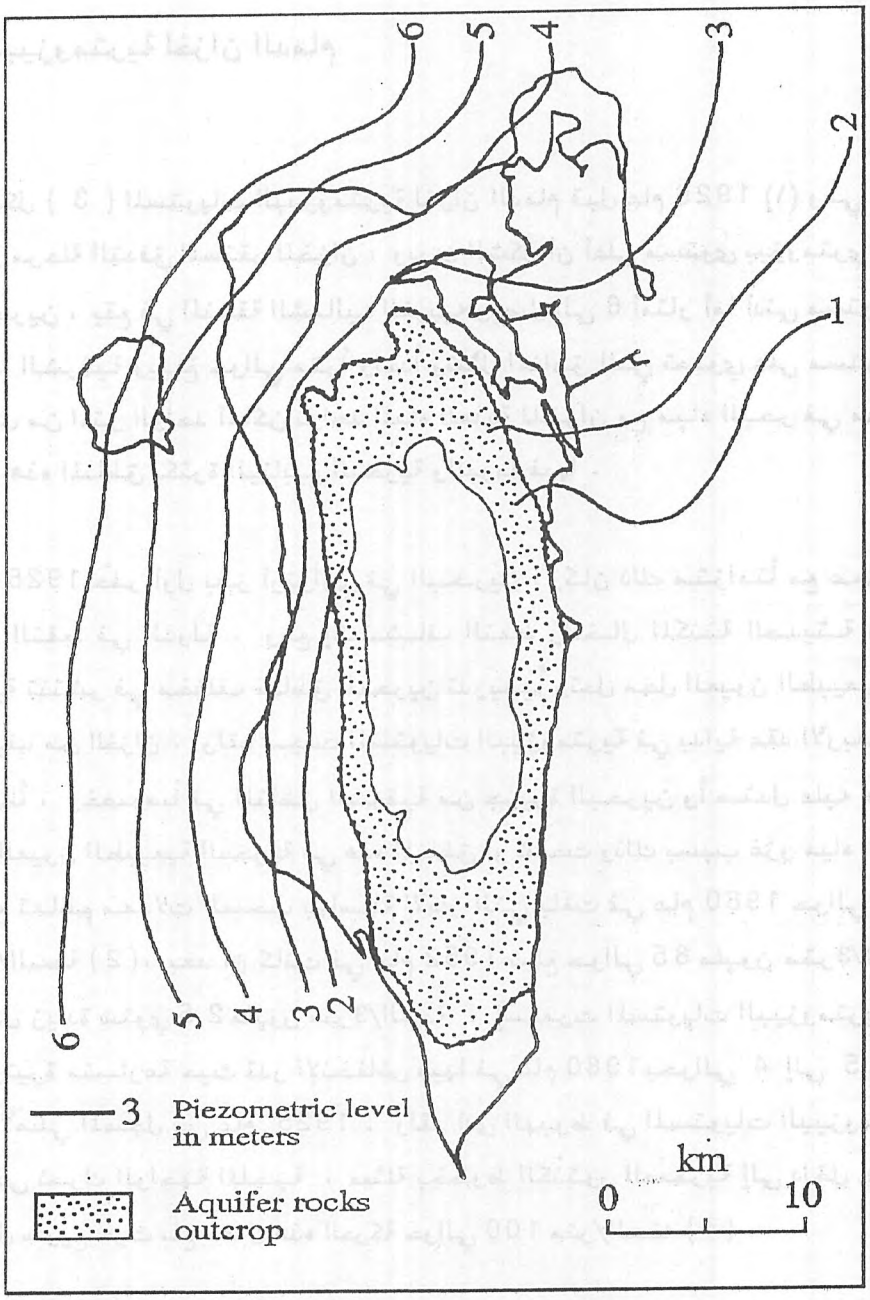
المستويات البيزومترية لخزان الدمام
عام

8 . يمثل شكل (3) المستويات البيزومترية لخزان الدمام قبل عام 1925 (١) وهي تمثل حالة الأتزان أو مرحلة التدفق المستقر للخزان ، ويبين الشكل أن أعلى مستوى بيزومتري لمياه الخزان في البحرين ، يقع في المنطقة الشماليه الغربيه ويصل إلى 6 أمتار أما أدنى مستوى له يقع في المنطقة الشرقية ويبلغ حوالي متراً واحداً وتمثل المناطق التي تحتوي على مستويات بيزومترية أقل من المتر الواحد أماكن تواجد المياه العذبة للخزان مع مياه البحر في منطقة الخزان وتتميز هذه المناطق بكثرة الينابيع البحرية والبرية فيها .

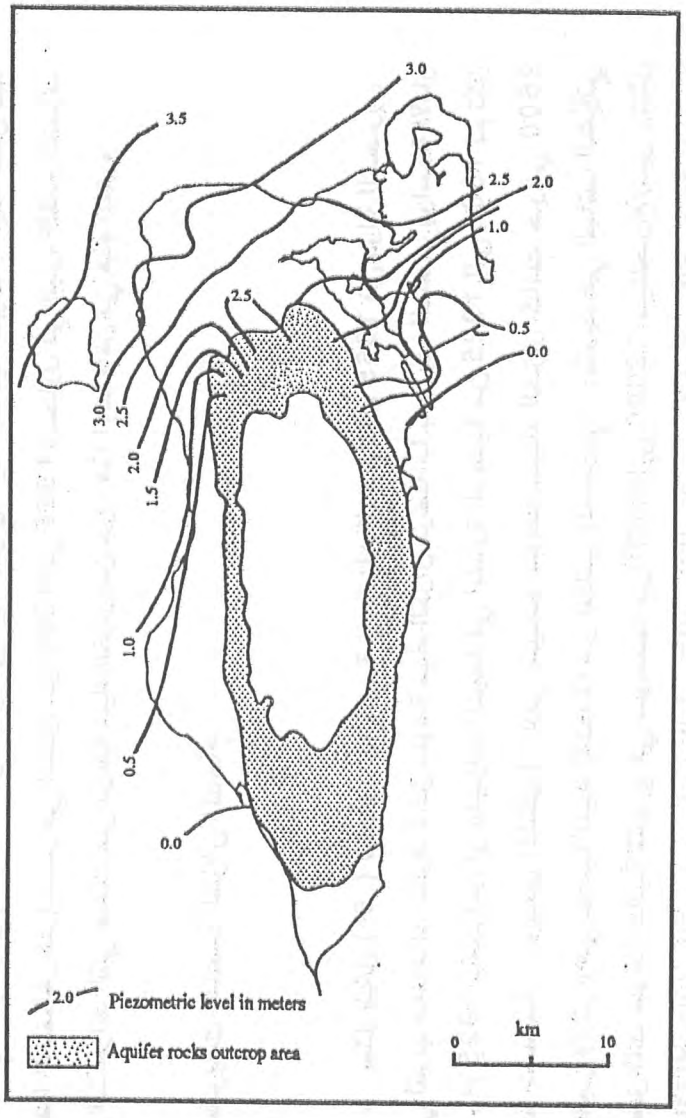
9 . في عام 1925 حُفر أول بئر أرتوازي في البحرين ، وكان ذلك متزامناً مع عمليات التنقيب عن النفط في الدولة ، ومع إكتشاف النفط وإدخال المكننة الحديثة بدأت الآبارالإرتوازية تنتشر في مختلف مناطق البحرين تدريجياً وتحل محل العيون الطبيعية في عملية التصريف من الخزان . ولقد سجلت المستويات البيزومترية في بداية عقد الأربعينات إنخفاضاً بسيطاً ، وخصوصاً في المناطق الشرقية من جزيرة البحرين وأ ستدل عليه عندما نضبت معظم العيون الطبيعية البحرية في هذه المناطق أو تملحت وذلك بسبب غزو مياه البحر للخزان . ومع تعاظم معدلات السحب بواسطة الآبار التي بلغت في عام 1980 حوالي 140 مليون متر3 /السنة (2)، بعد أن كانت في عام 1952 تبلغ حوالي 65 مليون متر3/السنة (3)، أي بمعدل زيادة سنوي 2.5 مليون متر3/السنة ، إستمرت المستويات البيزومترية في الإنخفاض وبوتيرة متسارعة حيث قدر الإنخفاض فيها في عام 1980 بحوالي 4 إلى 5 أمتار عن المستوى الأصلي المسجل في عام 1925 . ولقد أدى الهبوط في المستويات البيزومترية لمياه الخزان إلى تحرك الواجهة الملحية ، ممثلة بخطوط الكنتور الصفرية إلى داخل جزيرة البحرين بشكل سريع حيث بلغ معدل هذه الحركة حوالي 100 متر/السنه (4) .

المستويات البيزومترية لخزان الدمام في 1980 - 1990

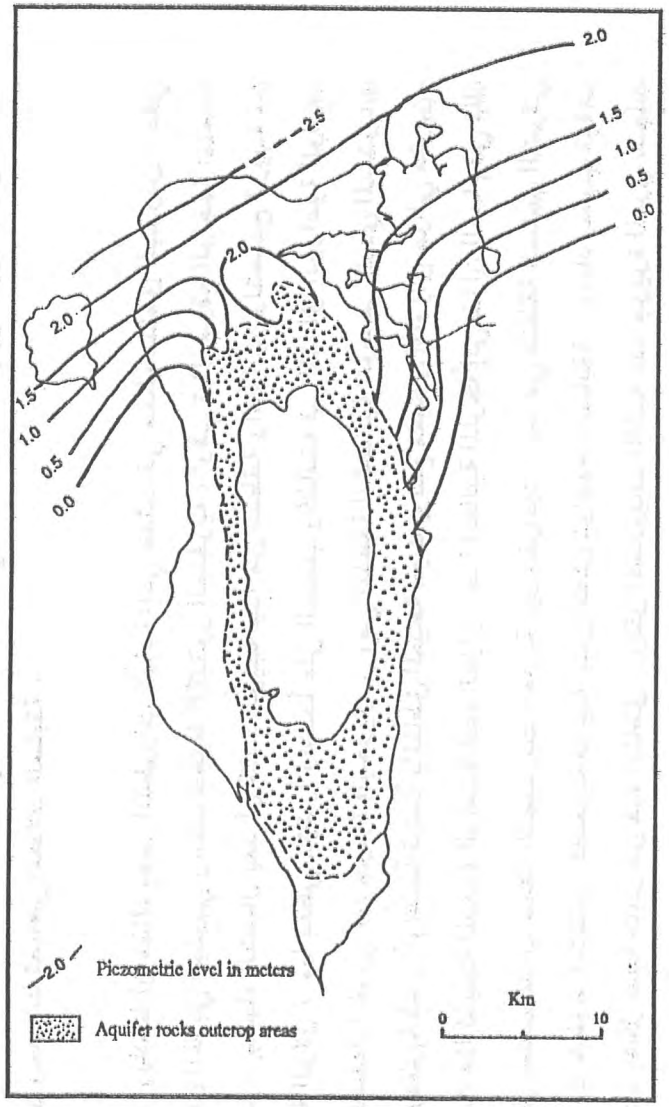
10 . في العشر سنوات الماضية أستمرالتزايد في معدل السحب حتى بلغ في عام 1990 حوالي 181 مليون متر3/السنة ، أي بمعدل زيادة أكبر من المعدل السابق وبلغ حوالي 4.3 مليون متر3/السنة . ويمكن معرفة التغيرات التي طرأت على المستويات البيزومترية للخزان من جراء هذه الزيادة في السحب من 1980 إلى 1990 بمقارنة المستويات البيزومترية في شكلي (4) و (5) لهذين العامين على التوالي . ويتضح من الشكلين أن المستويات



شكل (3) المستويات البيزومترية لخزان الدمام في دولة البحرين لعام 1925
، بالأمتار فوق مستوى سطح البحر .



شكل (4) : المستويات البيزومتريه لخزان الدمام في دولة البحرين لعام 1980 ، بالأمتار فوق مستوى سطح البحر (5) .



شكل (5) : المستويات البيزومتريه لخزان الدمام في دولة البحرين لعام 1990 ، بالأمتار فوق مستوى سطح البحر (6) .

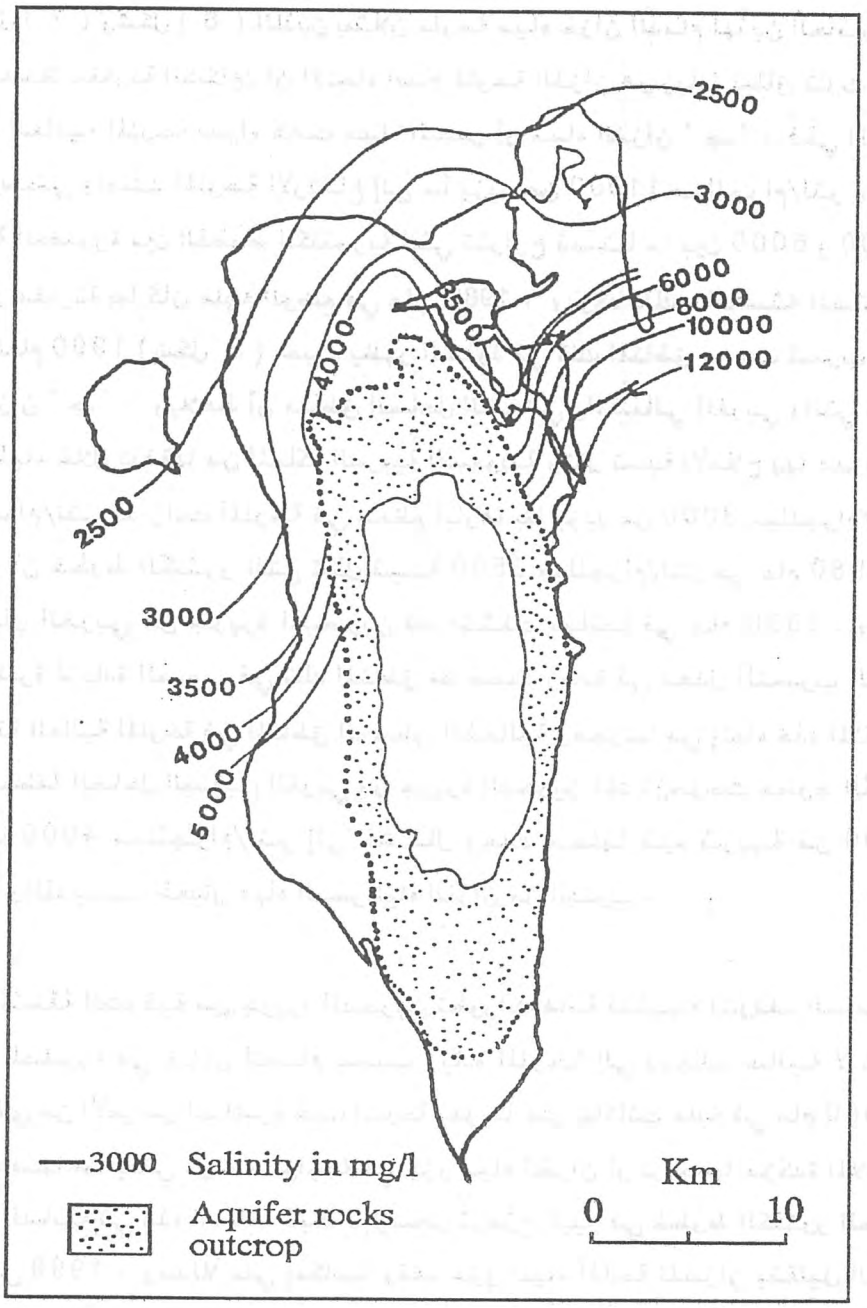
البيزومترية قد سجلت أنخفاضاً ملحوظاً خلال هذه الفتره يتراوح مابين 0.3 إلى 1.0 متر في مناطق البحرين المختلفة مما يعني أن الإنخفاض في المستويات البيزومترية لخزان الدمام مستمر وبمعدلات تضاهي المعدلات السابقة .

11 . ويلاحظ أن هناك بعض التطورات الهامة التي حدثت في معظم مناطق البحرين ، ففي الساحل الغربي الجنوبي زحفت خطوط الكنتور الصفرية ، وهي تمثل موقع الواجهة الملحية تقريباً ، بأتجاه الشمال بعد أن كانت قريبة جداً من منطقة رأس البر ولتصبح قريبة من منطقة الزلاق ، مما يعطي مؤشراً واضحاً على السحب وكثافته في المناطق الزراعية الواقعه على الساحل الغربي من جزيرة البحرين . وفي المنطقة الشمالية الوسطى تبدي المستويات البيزومترية شذوذاً واضحاً قياساً بالمناطق المحيطة حيث يرتفع مستوى الماء إلى حوالي مترين ، ويحدث هذا نتيجة للهجرة الرأسية لمياه الخزان " جـ " العالية الملوحة إلى خزان الدمام في تلك المناطق بسبب غياب طبقة الأنهيدريت العازلة بين الخزانين . أما في منطقة الساحل الشرقي فلا زالت خطوط الكنتور الصفرية قريبة من أماكن تواجدها السابقة ، وذلك بسبب توقف السحب بشكل شبه كامل من هذه المناطق ، ولكن المستويات المائية عند جزيرة المحرق سجلت إنخفاضاً واضحاً يصل في قيمته متراً واحداً فبعد أن كانت الجزيرة محصوره بين خطوط الكنتور 2.5 - 3 متر أصبحت محصوره بين 1.5 - 2 متر .

12 . لقد أدت الزيادة في السحب بواسطة الآبار من مياه خزان الدمام إلى إنخفاض مستوياته البيزومترية بشكل حاد ومستمر مما أدى إلى حدوث تدهور في نوعية مياهه وذلك أما بسبب تداخل مياه البحر أو بسبب التسرب الرأسي لمياه الخزان " جـ " العالية الملوحة . ومما سبق نجد أن هذا الإنخفاض قد إستمر في الفترة من 1980 إلى 1990 ونحاول في الجزء القادم التعرف على التغيرات التي حدثت على نوعية مياه الخزان من جراء هذا الإنخفاض في هذه الفتره .

المستويات الملحية لخزان الدمام
عام

13 . يمثل شكل (6) مستويات الملوحة في خزان الدمام لعام 1965 في دولة البحرين ، وهي أقرب معلومات متوفرة عن ملوحة مياه الخزان لمرحلة ما بعد بدء السحب بواسطة الآبار في عام 1925 بإفتراض أن تغيرات الملوحة في الفترة الزمنية من 1925 إلى 1965 لم تكن حادة نسبياً . ويبين الشكل أن أدنى قيمة لملوحة مياه الخزان كانت حوالي 2500 ميللجرام/لتر وهي نوعية المياه المتدفقة من الجانب السعودي . وتوجد في الجانب الشرقي مناطق ذات ملوحة عالية تتدرج في ملوحتها من 6000 إلى 12000 ميللجرام/لتر وتمثل منطقة الإختلاط والتحول في اتجاه الواجهة الملحية إلى الجنوب الشرقي والتي تبلغ ملوحتها حوالي 40000 ميللجرام/لتر .



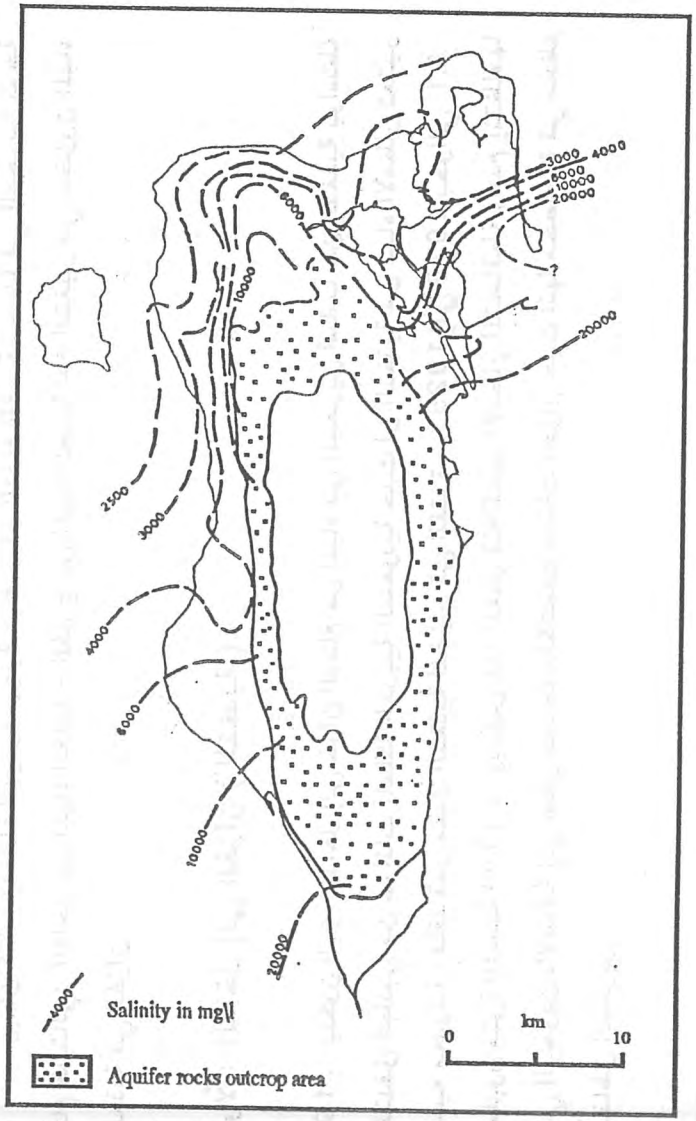
شكل (6) المستويات الملحية لخزان الدمام في دولة البحرين لعـــام 1965 ، ميللجرام / لتر (7) .

المستويات الملحية لمياه خزان الدمام من 1980 - 1990

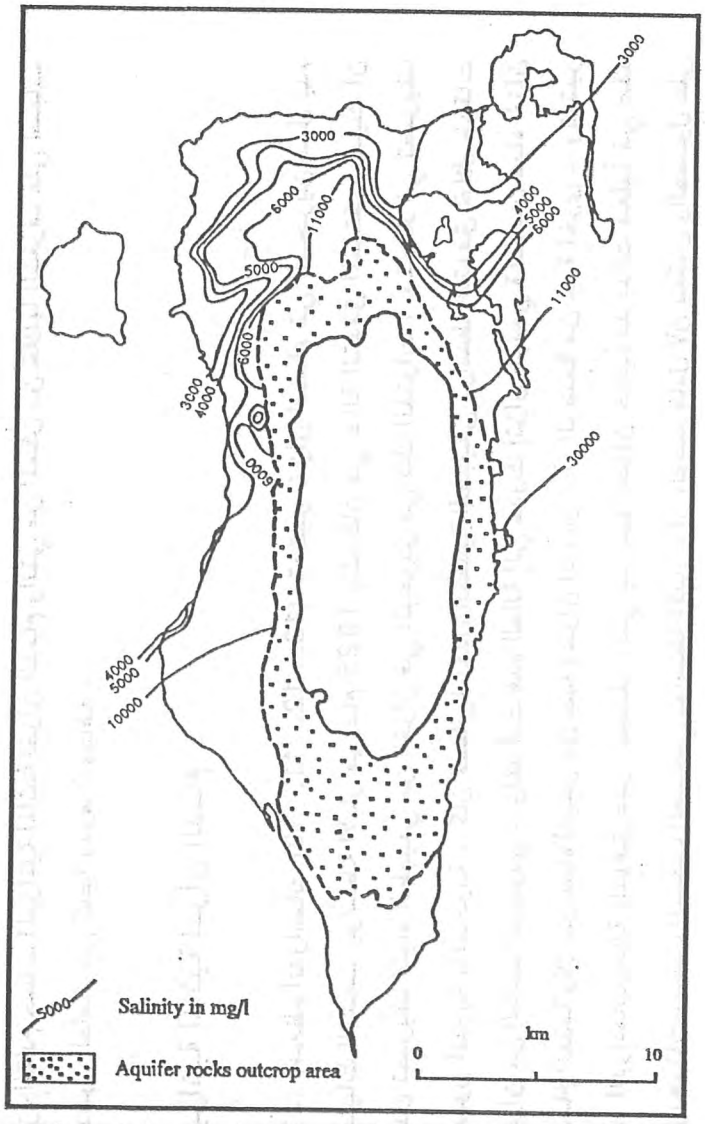
14 . لكي نتعرف على التغيرات التي طرأت على ملوحة خزان الدمام من 1980 إلى 1990 نقارن بين شكل (7) وشكل (8) اللذين يمثلان ملوحة مياه خزان الدمام لهذين العامين على التوالي . ونلاحظ بمقارنة الشكلين أن الإتجاه العام لملوحة الخزان هو زيادة نطاق تلوث مياه الخزان بالمياه العاليه الملوحة سواء كانت مياه البحر أو مياه الخزان " جـ " ، ففي المناطق الشمالية الوسطى واصلت الملوحة الأرتفاع إلى ما يزيد عن 11000 ميللجرام/لتر ، كما إتسعت الرقعة المحصورة بين الخطوط الكنتورية التي تتراوح قيمتها ما بين 6000 و 11000 ميللجرام/لتر مقارنة بما كان عليه الوضع في عام 1980 . ويؤكد ذلك ماعكسته المستويات البيزومترية لعام 1990 (شكل 5) حيث يظهر الشذوذ في تلك المناطق بسبب تسرب المياه رأسياً من الخزان " جـ " . ويلاحظ أن مناطق الساحل الشمالي والشمالي الغربي والتي تتلقى أفضل أنواع المياه خلال تدفقها من المملكة العربية السعودية وتقل نسبة الأملاح بها عموماً عن 3000 ميللجرام/لتر قد زادت الملوحة في معظم آبارها بما يزيد عن 3000 ميللجرام/لتر ، ويلاحظ كذلك أن خطوط الكنتور التي تمثل قيمة 2500 ميللجرام/لتر في عام 1980 في مناطق الشمال الغربي من جزيرة البحرين قد أختفت نهائياً في عام 1990 ، وذلك كنتيجة مباشرة لزيادة السحب في تلك المناطق مما سبب زيادة في معدل التسرب الرأسي للمياه العميقة العالية الملوحة في المناطق الوسطى الشمالية وهجرتها في إتجاه هذه المناطق . أما بالنسبة لمنطقة الساحل الجنوبي الغربي من جزيرة البحرين فقد تزحزحت خطوط الكنتور الممثلة لملوحة 4000 ميللجرام/لتر إلى الشمال وحلت محلها قيم قريبة من 10000 ميللجرام/لتر وذلك بسبب طغيان مياه البحر لمياه الخزان من الجنوب .

15. وتبين المنطقة الشرقية من جزيرة البحرين تطورات هامة فنتيجة لتوقف السحب من معظم الآبار المحفورة في خزان الدمام بسبب زيادة الملوحة إلى درجات عالية لا تسمح باستخدامها لأي من الأغراض المباشرة ظلت الملوحة تقريباً على ماكانت عليه في عام 1980 مع تحسن طفيف فيها مما يعني توقف الواجهة في غزو مياه الخزان أو تراجعها مؤكدة الملاحظات البيزومترية السابقة في هذه المنطقة حيث لم يسجل تزحزح كبير في خطوط الكنتور الصفرية منذ 1980 إلى 1990 ، ومدللاً على إمكانية وقف غزو المياه المالحة للخزان بتقليل السحب منه.

16 . مما سبق نجد أن مساحات خزان الدمام الجوفي الصالحة للإستخدام المباشر حالياً (أقل من 3000 ميللجرام/لتر) قد أستمرت في التقلص بل وأصبحت شبه معدومة في بعض المناطق . وتدلل خرائط الملوحة على أن أكثر من نصف حجم خزان الدمام الأصلي قد تلوث كلية، وبقية حجم الخزان مهدد بالتلوث إذا ما أستمرت الزيادة في السحب بنفس المعدلات الحالية ، الأمر الذي قد يهدد تجهيزات المياه التقليدية في البحرين في السنوات المقبلة . ونحاول في



شكل (7) : المستويات الملحية لخزان الدمام في دولة البحرين لعام 1980 ، ميللجرام/لتر(8) .



شكل (8) : المستويات الملحية لخزان الدمام في دولة البحرين لعام 1990 ، ميللجرام/لتر (9) .

الجزء القادم حساب الميزانية المائية لخزان الدمام والتي من الممكن من خلالها التعرف على أسباب التدهور الحاصل في كمية ونوعية مياهة .

الميزانية المائية لخزان الدمام

17 . معظم الدراسات (10 , 11 , 12 , 13) تعتبر خزان الدمام في البحرين قبل بدء عمليات السحب بواسطة الآبار في عام 1925 بأنه كان في حالة التدفق المستقر بحيث أن معدل تصريف المياه الطبيعي من الخزان في البحرين في تلك الفترات ، متمثلاً في تصريف العيون البرية والبحرية ، كان مساوياً لمعدل التغذية الطبيعي بواسطة التدفق خلال طبقات الخزان من الجانب السعودي . ولقد أدت هذه الحالة إلى حدوث إتزان طبيعي قائم بين مياه خزان الدمام العذبة وكل من مياه البحر من جهة وخزان الروس – أم الرضمة من جهة أخرى . وتعتبر هذه الدراسات حالة التدفق غير المستقر التي يمر بها الخزان حالياً قد بدأت فعلياً في عقد الأربعينات بسبب السحب الصناعي بواسطة الآبار وأن الوضع قابل لأن يعكس والحصول على وضع الإتزان ثانية إذا ما قل معدل السحب في البحرين ليصل إلى معدل التغذية تحت حالة التدفق المستقر ، كما ذكر سابقاً ، ويساوي معدل التصريف الطبيعي للعيون في البحرين قبل بدء السحب الصناعي . وتشير هذه الدراسات إلى هذا المعدل بالسحب الآمن ، ويقدر بحوالي 100 مليون متر3/السنة .

18 . ويمكن كتابة المعادلة الهيدرولوجية لمياه خزان الدمام العذبة نسبياً في البحرين بوجة عام كالتالي: الداخل من المياه العذبة – الخارج من المياه العذبة = + التغير في مخزون المياه العذبة في الخزان .

أولاً : الداخل إلى الخزان (التغذية)

19 . يتكون الجزء الداخل إلى خزان الدمام من المياه في البحرين أساساً من التغذية بواسطة التدفق الجانبي من خزانات المملكة العربية السعودية حيث ان التغذية من مياه الأمطار تعتبر شبه معدومة ، فلقد قدر معدل التغذية للخزان في الفترة من 1925 إلى 1978 بحوالي 5.1 مليون متر3/السنة (14) . ويعكس هذا المعدل قلة كمية الأمطار المتساقطة وعدم إنتظامها في البحرين بالإضافة إلى صغر مساحة منكشفات طبقات الخزان حيث أنها محصورة في معظم مناطق البحرين .

20 . يعتمد معدل التغذية بواسطة التدفق الجانبي من المملكة العربية السعودية على الفرق في المستويات البيزومترية للخزان بين البحرين والمنطقة الشرقية في السعودية ، وعلى الرغم من أن هبوط المستويات البيزومترية في البحرين قد يسبب زيادة في تدفق الماء العذب إلى

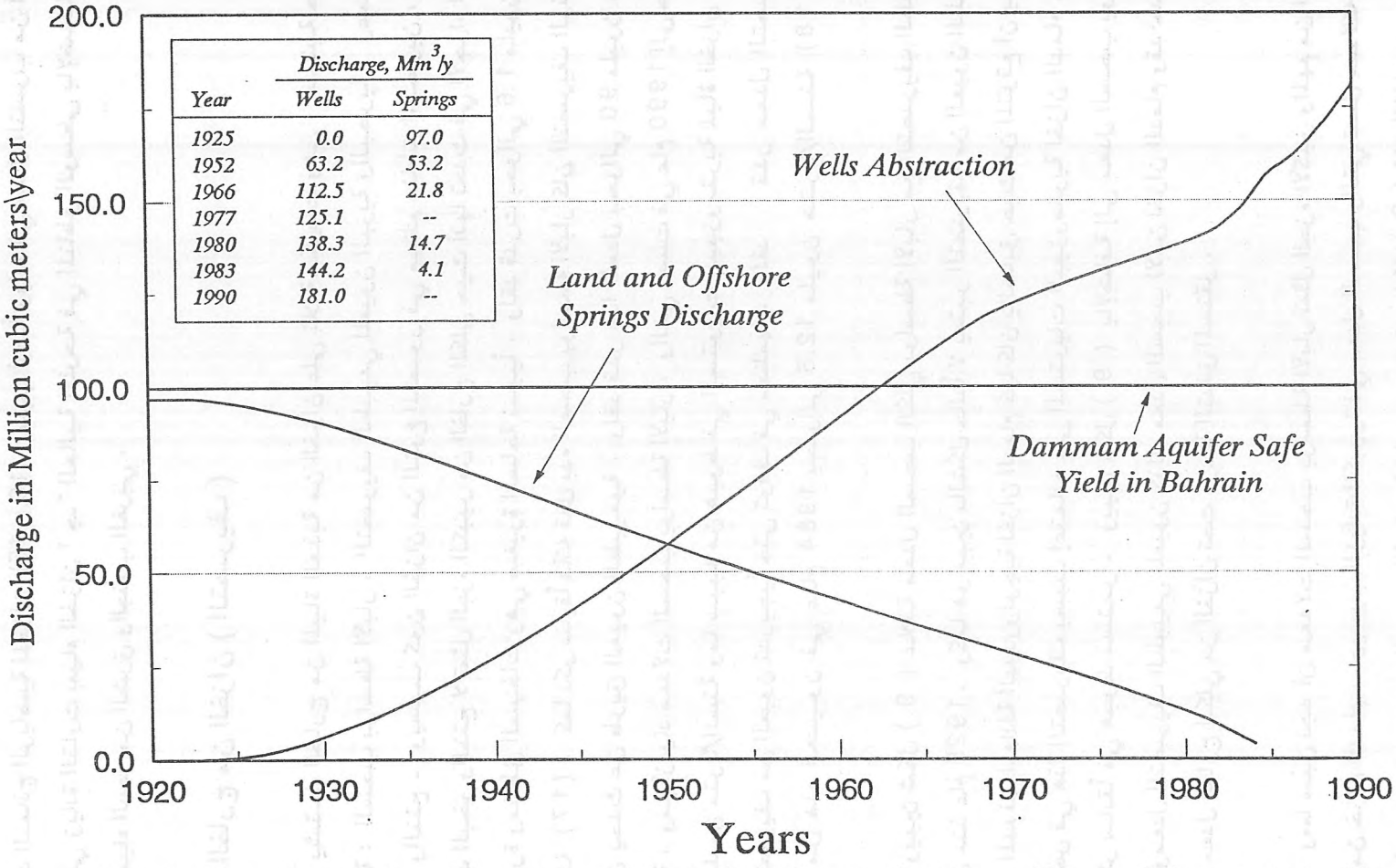
البحرين من الغرب وذلك بسبب زيادة الميل الهيدروليكي بين المنطقتين ، إلا أنه وكما دللت دراسات النماذج الرياضية للخزان (15 ,16) يسبب أيضاً زيادة في معدل التسرب من أسفل وبالتالي زيادة التلوث بمياه الخزان " جـ" العالية الملوحة في المناطق الوسطى بالإضافة إلى تداخل مياه البحر من الشرق والجنوب الغربي .

ثانيا :الخارج من الخزان (التصريف)

21 . يشتمل الخارج من المياة العذبة من الخزان على ثلاثة مكونات وهي ، مرتبة حسب الأهمية : السحب بواسطة الآبار ، التصريف الطبيعي للعيون البرية والبحرية ، وعمليات البخر والنتح . وبسبب كون الخزان من النوع المحصور في معظم مناطق البحرين ، فإن عمليات البخر والنتح لا تمثل الجزء الكبير من الخارج الكلي حيث أنها تحدث في الأجزاء الغير محصورة ومناطق السبخات وهي صغيرة المساحة نسبياً ، ولقد قدرت بحوالي 1.6 مليون متر 3/السنة (17) . كما ذكر سابقاً فأنه قبل بدء السحب بواسطة الآبار كان التصريف الرئيسي للخزان يحدث عن طريق العيون الطبيعية ، ولقد قدر هذا المعدل بحوالي 90 مليون متر3 /السنة ، ومع أزدياد معدلات السحب بواسطة الآبار ، والتي وصلت في عام 1990 إلى حوالي 181 مليون متر3/السنة وما سببه من هبوط في المستويات البيزومترية لمياة الخزان ، قل هذا التصريف من العيون تدريجياً حتى توقف في معظمها . ولقد قدر معدل التصريف الكلي من هذه العيون في عام 1984 بحوالي 12.5 مليون متر3/السنة (18) .

22 . ويبين شكل (9) علاقة معدل السحب الكلي بواسطة الآبار مع التصريف الطبيعي للعيون منذ عام 1925. وكما هو مبين بالشكل حالياً لا يعتبر التصريف من العيون الطبيعية بالجزء المهم في المعادلة الهيدرولوجية لخزان الدمام كما كان بالسابق حيث من المتوقع أن يستمر التناقص في هذا التصريف بسبب إعتماده على المستويات البيزومترية لخزان الدمام والتي كما ذكر سابقاً في هبوط مستمر . ويبين شكل (9) بالإضافة إلى معدل السحب بواسطة الآبار ومعدل التصريف الطبيعي للعيون كذلك معدل السحب الآمن لخزان الدمام وقد حُدد على أساس معدل الخارج الكلي من الخزان تحت مرحلة التدفق المستقر .

23 . ومما سبق نجد أن معدلات السحب بواسطة الآبار تمثل الجزء الأكبر والمهم من الخارج الكلي من خزان الدمام ، ويسبب الزيادة الكبيرة في معدل السحب والتي تصل معدلاته حالياً إلى أكثر من ضعف حدود السحب الآمن ، كما هو مبين في شكل (9) فإن الخزان يمر بهبوط مستمر وحاد في مستوياته البيزومترية ، ومدللاً على أن كمية المياه الخارجه من الخزان تفوق بدرجة كبيرة كمية المياه الداخلية إليه ، وأن المسحوب من الخزان منذ عقد الستينات يؤخذ من المخزون المائي للخزان ، مما نجم عنه تناقص المخزون المائي وإرتفاع ملوحته بسبب غزو مياه البحر والتسرب الرأسي للمياه العالية الملوحة من الخزان " جـ" .



شكل (9) : معدل السحب الكلي من خزان الدمام وعلاقته بالتدفق الطبيعي للعيون الطبيعية ، البحرين ، 1925-1990 .

24 . ويلاحظ في شكل (9) أن معدلات الزيادة في السحب في فترة الدراسة ، 1980 -1990 ، وقدرت بحوالي 4.3 متر3/السنة هي أكبر من معدلات الزيادة في السحب السابقة (حوالي 2.4 متر3/السنة) ، الأمر الذي قد يفسر سبب تسارع معدل الأنخفاض في المستويات البيزومترية ومعدل تدهور المستويات الملحية في العشر سنوات الماضية . ونحاول في الجزء القادم الوقوف على أسباب الزيادة في السحب بواسطة الآبار من الخزان في العشر سنوات الماضية للقطاعات المختلفة ووضع حلول للسيطرة عليه .

إستخدامات مياه السحب بواسطة الآبار

25 . إن معدلات السحب بواسطة الآبار هي المؤثر الأول علي حالة خزان الدمام متمثلة في إنخفاض مستوياته البيزومترية وتدهور نوعية مياهه ، ولذلك فأن أي حلول مستقبلية لوقف هذا التدهور وإمداد عمر الخزان تكمن في السيطرة على هذا المعدل الآخذ في التزايد (شكل 9). وهناك ثلاثة قطاعات رئيسية مستهلكة لمياه الخزان وهي قطاعات الزراعة ، البلديات ، الصناعة ، وفيما يلي نبذة موجزة عن نسبة إستهلاك كل منها والمشاكل المتعلقة بهذا الأستهلاك.

أولاً : القطاع الزراعي

26 . يعتبر القطاع الزراعي من أكثر القطاعات إستغلالاً لمياه خزان الدمام حيث يستخدم هذا القطاع منذ بداية عملية السحب أكثر من 65٪ من السحب الكلي في البحرين . ويوضح الجدول (1) إستهلاك القطاع الزراعي خلال الفترة من 1980 - 1990 من مياه خزان الدمام بالأضافة إلى ثلاثة مسوحات عملت في الفترات السابقة (1952 , 1966 , 1971) بغرض المقارنة.

27 . ويعتبر معدل السحب بواسطة الآبار لهذا القطاع المؤثر الأول في تدني نوعية المياه في الخزان الجوفي ، ويمكن تلخيص مشاكل الأستهلاك في القطاع الزراعي في : 1) إتباع وسائل الري التقليدية في أغلب مزارع البحرين (78%) حيث تقل فيها كفاءة الري ، فلقد قدر الفاقد في مياه الري بحوالي 35٪ (19) وذلك يساوي حوالي 43 مليون متر3/السنة حالياً ، 2) قصور شبكة البزل عن تصريف المياه الزائدة وبالتالي عدم كفاءة خفض مستويات الماء الأرضي مما يسبب قملح التربة بسبب معدلات التبخير العالية ، وخصوصاً أن معظم المناطق الزراعية في البحرين تقع على مستويات منخفضه ، وبالتالي لجوء المزارع إلى إستخدام كميات أكبر من مياه الري لغسل التربة ، مما ينجم عنه زيادة الجهد على الخزان الجوفي ، 3) عدم وجود ضوابط أو قيود على حفر الآبار وكميات المياه المنتجة منها بالإضافة إلى عدم وجود

تغرفة لإستخدام مياه الخزان للأغراض الزراعية ، الأمر الذي لا يشجع على تحمل نفقات إضافية لإدخال نظم الري الحديثة والأستخدام الأمثل لمياه الري ، 4) اتباع نظام الضمان الزراعي في أغلب مزارع البحرين مما يعوق إدخال أنظمة الري من قبل المتضمن وذلك لعدم إطمئنانه لإستمراريته في زراعة نفس الأرض و 5) محدودية إستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة في البحرين .

السنة	اجمالي الاستهلاك	استهلاك القطاعات					
		الزراعي	%	البلدى	%	الصناعي	%
1952	63.2	48.0	75.9	5.1	8.1	10.1	16.0
1966	112.5	89.0	79.1	15.5	13.8	8.0	7.1
1971	125.1	96.0	76.7	20.9	16.7	8.2	6.6
1980	138.1	90.0	65.2	41.0	29.7	7.1	5.1
1983	144.2	91.0	63.1	46.7	32.4	6.5	4.5
1985	158.3	106.0	67.0	47.4	29.9	4.9	3.1
1986	159.7	108.8	68.1	45.6	28.6	5.3	3.3
1987	179.3	117.2	65.4	56.5	31.5	5.6	3.1
1988	168.9	107.9	64.1	55.9	33.2	4.6	2.7
1990	181.0	114.4	63.2	60.8	33.6	5.8	3.2

جدول (1) معدل السحب الكلي من خزان الدمام ونسب إستهلاك قطاعات الزراعة والبلديات والصناعة للفترة من 1952 - 1990 بملايين الأمتار المكعبة .

ثانياً :القطاع البلدي

28 . يلي القطاع الزراعي في معدل الإستهلاك القطاع البلدي حيث يستهلك حوالي 30% من الإجمالي المسحوب من الخزان ، وتستخدم مياه الخزان التي تزيد ملوحتها على مواصفات منظمة الصحة العالمية للشرب ، عن طريق خلطها بالمياه المستعذبة المنتجة من محطات التحلية . ويوضح الجدول (1) معدل إستهلاك القطاع البلدي من المياه الجوفية خلال الفترة

من 1980 - 1990 .

29 . وبالرغم من إدخال نظام التعرفة في البحرين في عام 1986 كمحاولة للترشيد إلا أن معدل أستهلاك الفرد في البحرين ، والذي قدر بحوالي 129 جالون في اليوم مازال عالياً ويمثل أكثر من ضعفي معدل إستهلاك الفرد في العالم (50 جالون في اليوم) . ويؤثر هذا الأستهلاك العالي تأثيراً مباشراً على نوعية مياه الخزان وذلك لمحدودية الكمية المنتجة للمياه المستعذبة لمحطات التحلية ، حوالي 75 مليون متر3/السنة ، حيث يغطي الطلب على المياه للأستخدام المنزلي في عدد كبير مناطق البحرين بزيادة السحب من مياه الخزان وبالتالي زيادة الجهد على الخزان .

30 . ويمكن خفض الأستهلاك البلدي من الخزان الجوفي عن طريق : 1) زيادة الوعي الإجتماعي لأهمية الثروات المائية المحدودة والترشيد ، 2) التوسع في بناء محطات التحلية لتعويض النقص في الطلب مع زيادة السكان وبالتالي تخفيف الجهد الواقع على الخزان ، و 3) تقليل الفاقد من مياه القطاع في شبكات التوصيل وخصوصاً القديمه منها .

ثالثا :القطاع الصناعي

31 . لا يتعدى إستهلاك القطاع الصناعي في الدولة أكثر من 3% من إجمالي السحب الحالي لمياه خزان الدمام ، حوالي 6 مليون متر3/السنة ، جدول (1) ، ويعتبر إستهلاك هذا القطاع ثابتاً ويرجع ذلك لعدة عوامل أهمها وجود التشريعات التي تحظر إستخدام القطاع لمياه خزان الدمام والأعتماد على مياه الخزان " جـ " كبديل لتلبية أحتياجاته ، إضافة إلى صغر حجم القطاع الصناعي في الدولة مقارنة بالقطاعات الأخرى .

الإستنتاجات

32 . أن وضع المياه الجوفيه في البحرين يمر حالياً بقدر كبير من الخطورة حيث إن أكثر من نصف حجم خزان الدمام الأصلي قد تلوث وبقية حجم الخزان مهدد بالتلوث حسب المؤشرات الحالية حيث بينت الدراسة أن التدهور في المستويات البيزومترية والملحية في العشر سنوات الماضية مستمرين وبمعدلات قد تفوق المعدلات المسجلة السابقة .

33 . أن معدلات السحب بواسطة الآبار تمثل الجزء الأكبر والأهم من الخارج الكلي من خزان الدمام وتفوق بدرجة كبيرة معدلات المياه الداخلة إلية عن طريق التدفق الجانبي من خزان الدمام في المملكة العربية السعودية ، مما أدى إلى إنخفاض المستويات البيزومترية منذ بدء السحب بواسطة الآبار بأكثر من 5 أمتار ، ومدللاً على أن الماء المسحوب من الخزان يؤخذ من

المخزون المائي له .

34 . أن معدلات السحب بواسطة الآبار في قطاعي الزراعة والبلديات هي المؤثر الأول على حالة خزان الدمام متمثلة في إنخفاض مستوياته البيزومترية وتدهور نوعية مياهه ، ولذلك فإن أي حلول مستقبلية لوقف هذا التدهور وأمداد عمر الخزان يجب أن تتركز في كيفية السيطرة على هذا المعدل الآخذ في التزايد في هذين القطاعين ، ووضع حلول جذرية لخفض معدل السحب إلى معدلات قريبة من معدل السحب الآمن المحدد للقطاع .

35 . أن ادارة وتطوير الموارد المائية الطبيعية لضمان أستمراريتها في كمياتها ونوعيتها تكمن في مراعاة قوانينها الطبيعية ، فإن سحب المياه المستمر بمعدلات تزيد على قدرة النظام المائي في التصريف الطبيعي يؤدي إلى تدهور هذا النظام بدرجة قد لا تجعله قادراً على أستيفاء المتطلبات المستقبلية .

المراجع

(1) Groundwater Development Consultants (GDC), 1980, Umm Er Rhaduma study, Bahrain Assignment. Unpub., Ministry of commerce and Agriculture file report, Sate of Bahrain.

(2) GDC, 1980 : op. Cit. (1).

(3) Porritt, 1953, Artesian well Survey, Bahrain. Unpub., Bahrain Petroleum Company (Bapco) file report, Bahrain.

(4) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(5) GDC, 1980, op. cit. (1).

(6) صباح صالح الجنيد ، 1990 ، الوضع المائي في دولة البحرين ، 1980 - 1990. رسالة ماجستير ، جامعة الخليج العربي ، البحرين .

(7) زباري ، و . خ. ، والمدني ، أ. م. ، 1992 ، أثر التنمية على المياه الجوفية في البحرين ، دراسة كمية وكيفية في الفترة من 1925 - 1991 . ندوة " البيئة والتنمية – تكامل لا تصادم " ، الأمانة العامة لمجلس التعاون لدول الخليج العربية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، 10 - 12 نوفمبر 1992 (تحت الطبع) .

(8) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(9) Al-Junaid, S.S., 1990 : op. cit. (6).

(10) Zubari, W.K., 1987, A Numerical 3-Dimensional flow Model for the Dammam Aquifer System, Bahrain and Eastern Saudi Arabia. Unpub. M.Sc. Thesis, Ohio University, Athens, Ohio, USA.

(11) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(12) Wright, E.P.W., 1967, Report on Groundwater Resources of Bahrain Island, Arabian Gulf. Unpub. , Ministry of Commerce and Agriculture file report, Sate of Bahrain.

(13) DeMestre, R.E., and Haines, P.A.T., 1958, The Hydrology of Bahrain. Unpub. Bapco file report.

(14) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(15) Zubari, W.K., 1987 : op. cit. (10).

(16) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(17) GDC, 1980 : op. cit. (1).

(18) Zubari, W.K., 1987 : op. cit. (10).

(19) زباري ، و. خ.، ولوري ، إ. ج. ، مـــــارس 1991 ، تقرير عن مرحلة تجميع البيانات والدراسات السابقة ، ملخص لأهم الدراسات والتقارير التي تمت في مجال الموارد المائية بدولة البحرين في الفترة من عام 1924 وحتى عام 1991 . مركز البحرين للدراسات والبحوث ، دائرة البحث العلمي ، لجنة بحوث المياه .

إدارة مصادر المياه الجوفية وطرق تنميتها بدولة قطر

عبدالرحيم محمد يوسف المحمود

دولة قطـــر

وزارة الشئون البلدية والزراعة

إدارة البحوث الزراعية والمائية

إدارة مصادر المياه الجوفية وطرق تنميتها بدولة قطر

دراسة مقدمة إلى مؤتمر الخليج الأول للمياه

دبي - دولة الإمارات العربية المتحدة ١٠ - ١٤ أكتوبر ١٩٩٢ م

إعداد

عبد الرحمن محمد يوسف المحمود

رئيس قسم المياه الجوفية

خلاصة الورقة

إن الغرض من عرض هذه الدراسة التي تعتبر شاملة لمختلف جوانب إدارة مصادر المياه الجوفية وطرق تنميتها بدولة قطر . هو التركيز على أهم المعطيات التي واكبت عملية التنظيم في مراحلها المختلفة مما كان له الأثر الفعال في إنتهاج الإسلوب الأكثر ملائمة للأوضاع المحلية والإستفادة من جميع النقاط الإيجابية والسلبية وصولاً إلى الهدف المنشود لتحقيق أقصى درجات الإستفادة من المصادر المتاحة مع المحافظة عليها من التدهور . وتكمن أهمية الدراسة في إنها تعكس صورة شاملة عن الأعمال والمشاريع التي تشكل أساساً قوياً للإدارة السليمة المتطورة كما وتركز الدراسة بصورة خاصة على المشروع الرائد الذي يمثل عنصراً هاماً في سبيل الحفاظ على المياه الجوفية وتنميتها ، وهو مشروع حفر الآبار لتغذية الحوض الجوفي وهو يهدف أساساً إلى تحقيق الإستفادة القصوى من الأمطار المتجمعة في المنخفضات المنتشرة في شبه الجزيرة القطرية خاصة وإن هذه المنطقة تتميز بقلة الأمطار التي عادة ما يكون سقوطها على شكل عواصف متفاوتة الشدة وغير منظمة التوقيت ، الأمر الذي يجعل الإستفادة منها في عمليات الري المباشرة أمراً صعباً .

١-١ : الموقع الجغرافي

تقع دولة قطر في منتصف الخليج العربي وهو شبه جزيرة ناتئة من الساحل الشرقي لشبه الجزيرة العربية ، وتبلغ مساحتها ١١ر٤٢٧ كيلو متر مربعاً ، ويبلغ عدد السكان ٢٧١ر٨٦٢ نسمة (تعداد مارس ١٩٨٦) .

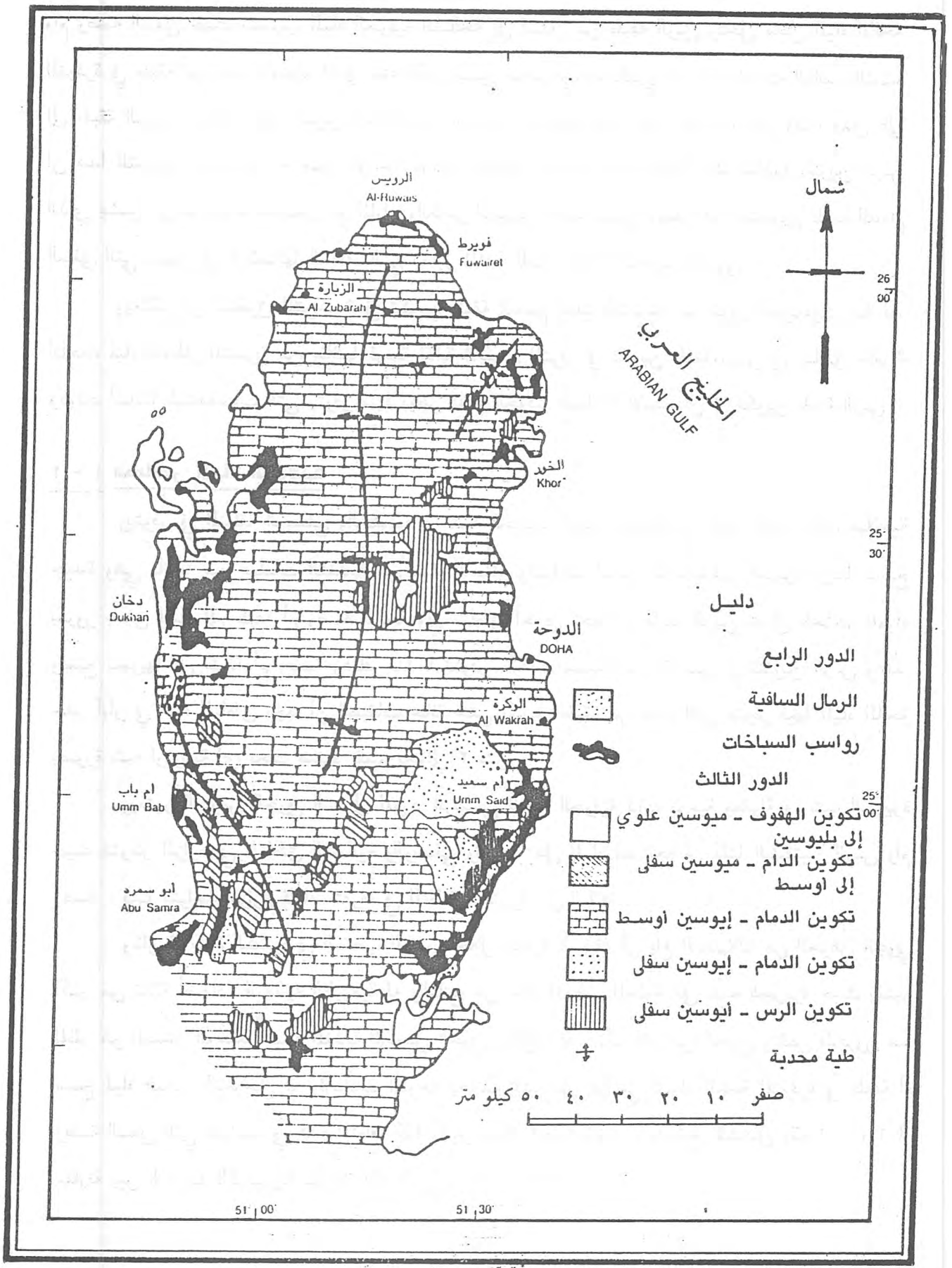
وكانت المياه الجوفية في السابق المصدر الوحيد لمياه الشرب والإستخدامات الأخرى وذلك قبل أن تبدأ وزارة الكهرباء والماء في إنشاء أول محطة لتحلية مياه البحر عام ١٩٥٤ وعندها بدأ الإعتماد على المياه الجوفية للإستخدامات المدنية يقل تدريجياً بينما بدأ يزداد الطلب على المياه الجوفية للزراعة وأدى ذلك إلى زيادة اهتمام الدولة بتوفير مياه الشرب عن طريق تحلية مياه البحر بإنشاء محطة رأس أبو عبود عام ١٩٦٣ ثم محطة رأس أبو فنطاس عام ١٩٧٣ م .

١-١ -١ نبذة جيولوجية

تتواجد شبه جزيرة قطر على شكل تحدب واسع يجري محوره الرئيسي في الإتجاه من الشمال إلى الجنوب ويتميز هذا التحدب بميول خفيفة عبر القمة تزداد شدتها عند الأطراف كما أن هذا التحدب يشتمل على بعض التراكيب الواضحة الأخرى منها تحدب دخان الموجود عند جناحه الغربي (حقول بترول) وكذلك تحدب سودانثيل في الجنوب وسمسمة في الشمال الشرقي للبلاد ويتكون هذا التحدب من طبقات تنتمي إلى الدور الثالث وتشمل صخورا جيرية مع صخور طينية ورمال (خليط من الطين والحجر الجيري) وفي بعض الأماكن تغطى هذه التتابعات برواسب تنتمي إلى الدور الرابع (شكل رقم ١) يبين جيولوجية قطر .

وتعتبر صخور الحجر الجيري التابعة لتكوين الرس التي تنتمي إلى الأيوسين المبكر هي أقدم الصخور المكشوفة ومن ناحية أخرى فإن صخور الحجر الجيري الطباشيري والدولوميت التابعة لتكوين الدمام الأعلى والتي تنتمي إلى عمر الأيوسين الأوسط هي أكثر الصخور إنتشارا مع السطح .

وعلى الرغم من انه لم يلاحظ وجود صدوع رئيسية مع السطح إلا أن الشواهد والدلائل التى أمكن الحصول عليها من الدراسات الجيوفيزيقية والجيومورفولوجية وكذلك من عمليات الحفر الإستكشافي دلت على وجود تركيب على (شكل ٧) تتواجد قمته عند منتصف شبه الجزيرة وتتفرع بالطرفين في إتجاهي الشمال الشرقي والشمال الغربي ، ولهذا التركيب أهمية قصوى لكونه يقسم شبه جزيرة قطر إلى قطاعين من الناحية الهيدروجيولوجية ، ففي القطاع الشمالي يوجد إتصال هيدروليكي ما بين طبقتي الرس



شكل (١) خريطة جيولوجية لدولة قطر

وأم رضمه السفلى حيث تتسرب المياه الجوفية الصالحة إلى أسفل من طبقة الرس وتحل محل المياه المالحة المتوفرة في طبقة أم رضمه بالجزء الأعلى منه الذي يتميز بتغير في خصائص تكوينه ونفاذيته العالية بالنسبة إلى طبقة الرس ، ويغلب على تكوين طبقة الرس السحنة الكبريتية فيما عدا منطقة دخان وهذا يدل على أن هذا التكوين لم تحدث به عملية الإزاحة لمركب الجبس لدرجة كبيرة نظراً لقلة نفاذية تكوين الرس الذي يشمل في تركيباته الجبس مع المارل والحجر الجيري والطباشيري ويعلو هذا التكوين طبقة الدمام السفلي التي تشمل في تركيباتها الطفلة والتي تعتبر المنفذ للمياه المغذية للحوض الجوفي .

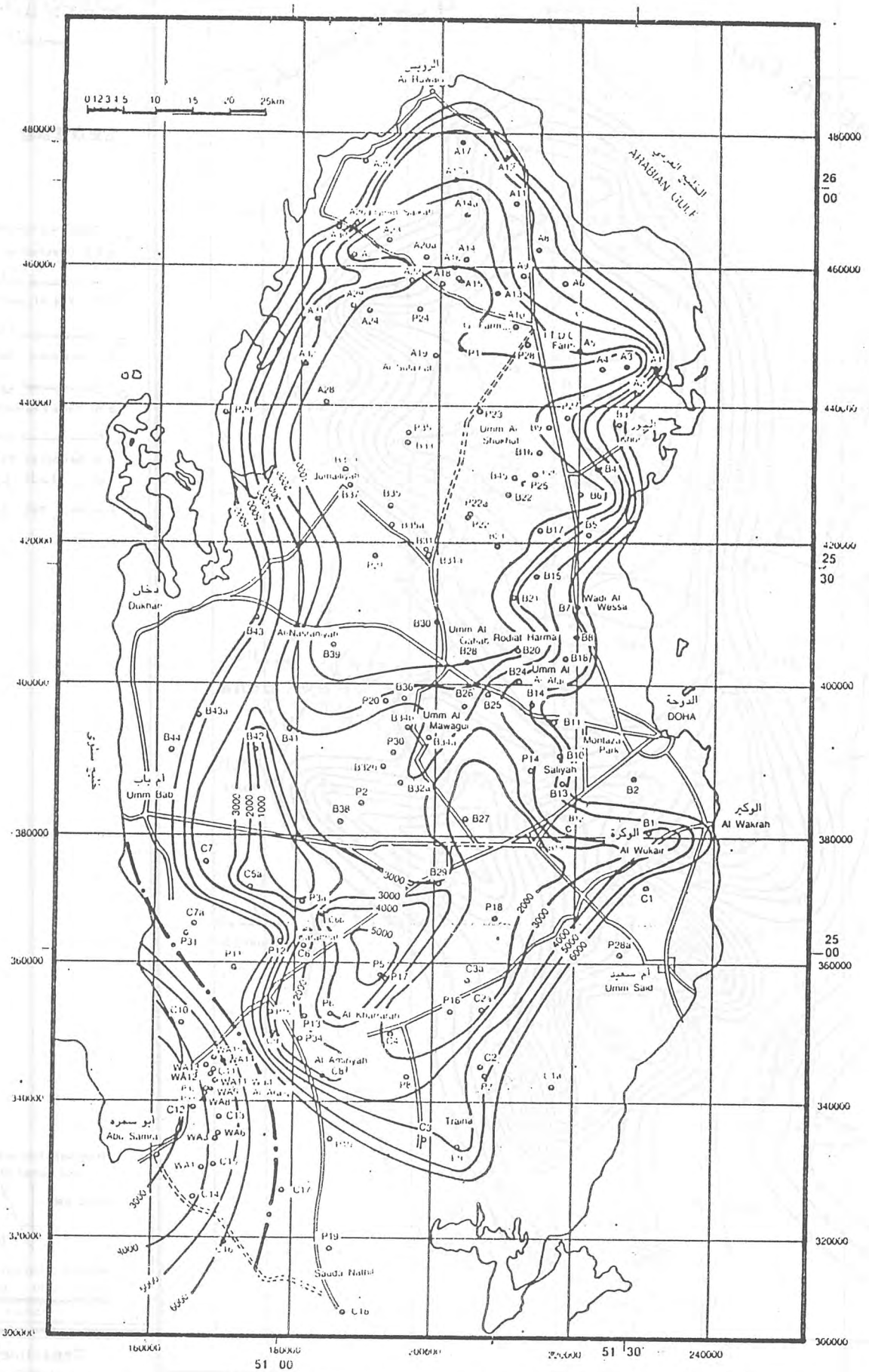
ويعتقد أن الشقوق المتواجدة في تكوين طبقة الدمام العليا المتسببة من توفر الدولوميت بها قد أتاحت لمياه الأمطار المتسربة من خلالها فرصة إذابة الجبس المتوفر في تكوين طبقة الرس في مناطق متفرقة وكونت أساساً للمنخفضات التي يتوفر منها بعض المياه الجوفية الصالحة الاستعمال في تكوين طبقة الرس .

٢ - ١ مصادر المياه الجوفية

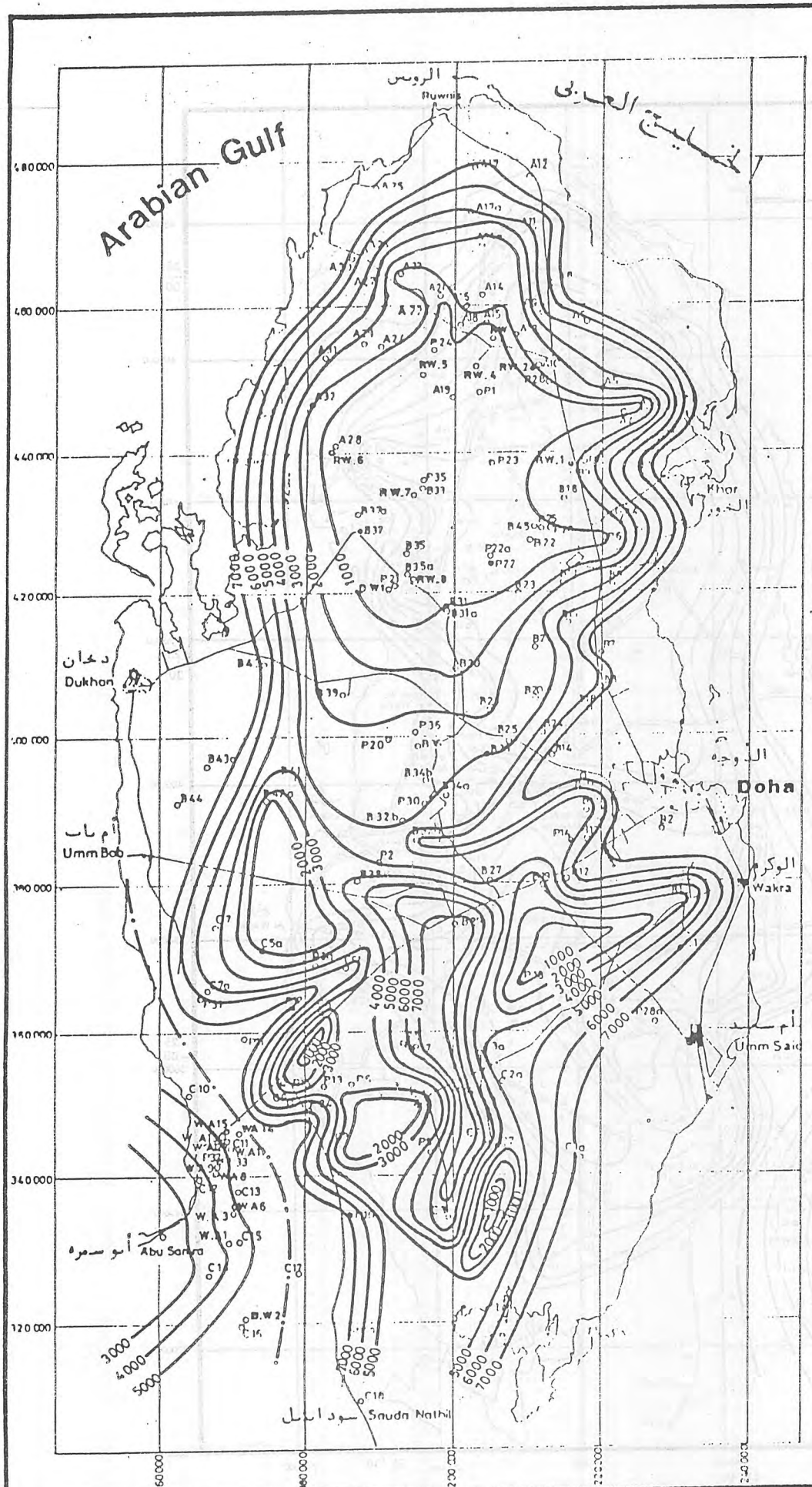
ويتوفر في المنطقة الوسطى والجنوبية في شبه الجزيرة كميات معزولة في طبقة الرس ذات صلاحية جيدة وهي ناتجة من عمليات التغذية من مياه الأمطار وتتواجد أسفل المنخفضات الكبيرة وربما تسمح بمرور بعض المياه إلى طبقة أم رضمه المالحة وفي مناطق أخرى نجد أن طبقة الرس تعمل كحاجز للمياه وتمنع تسربها إلى طبقة أم رضمة وذلك عندما تتوفر طبقات سميكة من الجبس في تكوين الرس وعند حفر آبار في هذه المناطق نجد أن الطبقات جافة حتى تكوين طبقة أم رضمة التي تتوفر فيها المياه المالحة بصورة شبه ارتوازية أي تحت ضغط يقدر بحوالي ٣ متر .

ويعتبر الحوض الجوفي الشمالي المورد الرئيسي للمياه الجوفية ذات نوعية معقولة في شبه الجزيرة حيث تتركز المزارع في المناطق الشمالية والوسطى وتعتمد على المياه الصالحة في كلتا الطبقتين الرس وأم رضمة ، فيما تتواجد مزارع قليلة متفرقة في المنطقة الجنوبية من البلاد .

وكان للزيادة الكبيرة في السحب المستمر خلال الفترة السابقة أن بلغ الاستهلاك من الحوض الجوفي أكثر من ثلاثة أضعاف التغذية الطبيعية له والناتج من مياه الأمطار المحلية على شبه الجزيرة حيث يعتبر المطر هو المصدر الوحيد للمياه المغذية للحوض الجوفي وبالتالي فقد تأثر الحوض الجوفي ونقص المخزون مما سمح لمياه البحر بالتداخل به وازدادت الملوحة بجانب التداخل الرأسي للمياه المالحة المتوفرة في طبقة أم رضمة السفلى التي تتواجد في هذه المنطقة كما أشير سابقاً تحت ضغط ، وتوضح الأشكال رقم (٢ ، ٣) مقارنة بين الخرائط الكونتورية لملوحة المياه لعامي ١٩٧١ ، ١٩٩١ .



شكل (٢) خريطة تساوي للملوحه في المياه الجوفية لعام ١٩٧١



Total Dissoived Solids in p.p.m. Sept. 1991

شكل (٣) طريقة تساوى الملوحة للمياه الجوفية لعام ١٩٩١

إدارة البحوث الزراعية والمائية

قسم المياه الجوفية

LEGEND دليل

- آبار مراقبة — A.B.C. Observation Wells.
- آبار وادى العريق — W.A - Wad Al. Aurage Wells.
- بئر استكشافى — P. Exploratory Wells
- بئر استكشافى عميق — D.W. Deep Exploratory Wells.
- بئر تغذية — R.W. Recharge Wells.
- جهاز تسجيل المناسيب — Automatic Well Recorder.

Magnetic Information (1980)
For Center of Sheet

TN & GN — MN — 01° 39'

Annual Magnetic Chang 1.8E'

0 1 2 3 4 5 10 15 20 25Km.

Scale

Department of Agricultural & Water Research

Ground Water Section

By:- Ibrahim. E. Harhash, Ground Water Specialist

Drawn By:- Junnaid Mahmood

ومما سبق فإنه يظهر لنا أن مصادر المياه الطبيعية لشبه جزيرة قطر قد تغيرت وتأثرت خلال الفترة السابق ذكرها وبالتالي يمكن القول بأنه حدث تغير إلى الأسوأ في البيئة الطبيعية من ناحية مصدر المياه الجوفية في شبه جزيرة قطر من حيث الكمية فنجد تناقصاً مستمراً به ، ومن حيث النوعية حيث تزداد الملوحة في هذه المياه بصفة مستمرة .

٢ -١ -١ الاستهلاك في القطاع الزراعي

يستهلك القطاع الزراعي أكثر من ٩٠ ٪ من المياه المسحوبة في الحوض الجوفي وفي آخر مسح لآبار المزارع عام ٩١/٩٠ قدر إجمالي المياه الجوفية المستغلة في الزراعة بحوالي ١٤٥ مليون متر مكعب في السنة يعود منها حوالي ٢٥ ٪ إلى الحوض الجوفي كعائد من مياه الري ليكون صافي الإستهلاك الزراعي في حدود ١٠٨ر٧٥ مليون متر مكعب في السنة ، هذا الكم الهائل من المياه يستخدم لري حوالي ٥٠٠٠ هكتار فقط ، وهذه كفاءة منخفضة لإستعمال المياة في عمليات الرى إذ تقدر هذه الكفاءة بأقل من ٥٠ ٪ . لذلك فقد قامت إدارة البحوث الزراعية والمائية بوضع الخطط الملائمة لمواجهة الإستنزاف المستمر للمخزون الجوفي والذى أثر سلبياً على المياه الجوفية كماً ونوعاً وذلك بإجراء العديد من الدراسات والتجارب وتنفيذ المشاريع التي تساهم في تنمية موارد المياه الجوفية .

٢ - ١ الميزان المائي

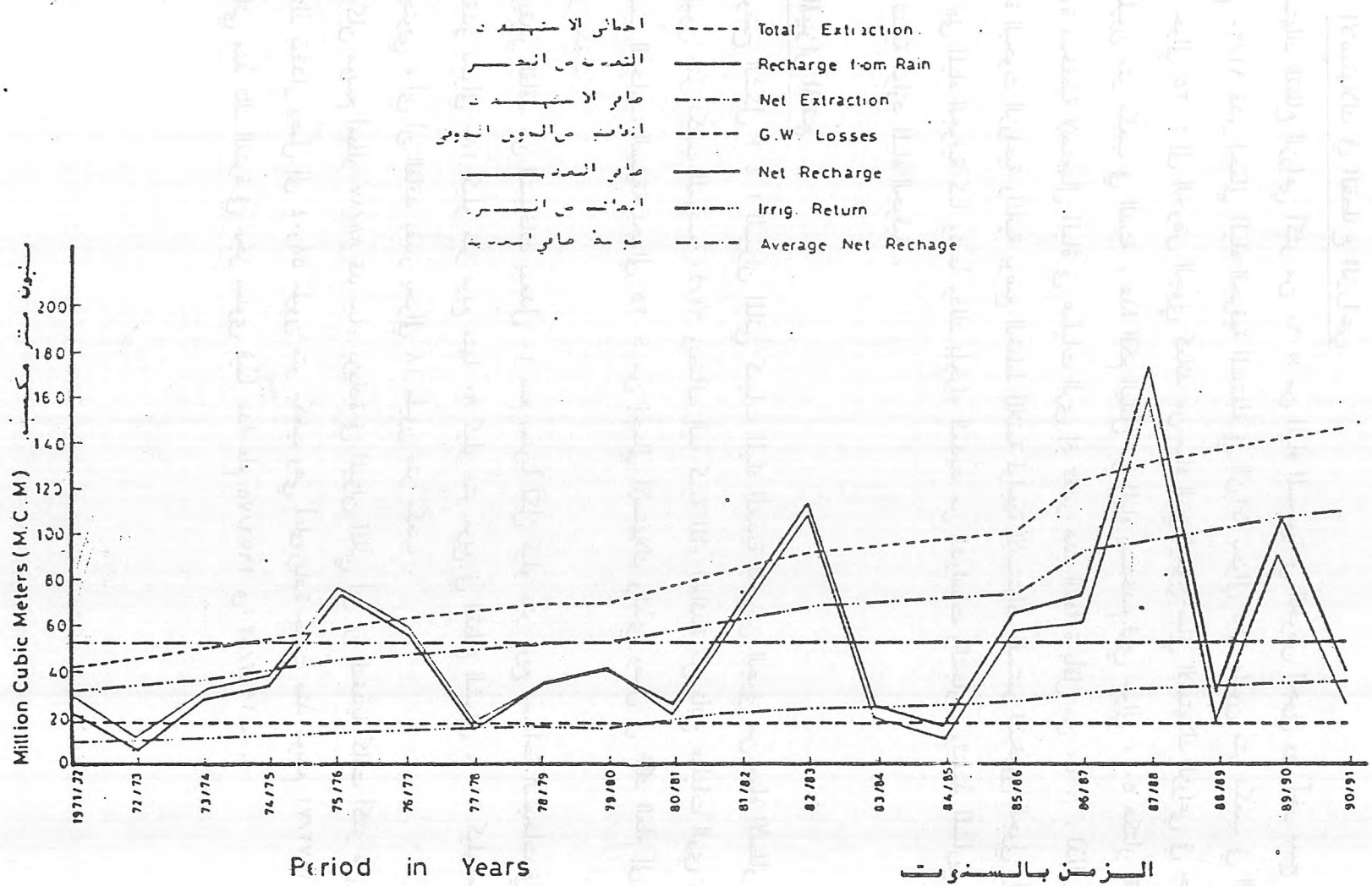
يوضح الشكل (٤) للميزان المائي كميات المياه المغذية للحوض الجوفي من مياه الأمطار وهي ٢٢ر٤٥ مليون متر مكعب للموسم ٩١/٩٠ ويضاف إليه كمية الماء العائدة من ناتج عمليات الري والتي تقدر حسب التجارب السابقة بحوالي ٢٥ ٪ من إجمالي الإستهلاك والذي وصل في ذلك العام إلى ١٤٥ مليون متر مكعب .

ويقدر الفاقد من السبخات بمعدل ١٠ سم سنوياً لكل كيلو متر مربع ومساحة السبخات في شبه الجزيرة تقدر بحوالي ١٨٠ كيلو متر مربع منها ٨٠ كيلو متر مربع في القطاع الشمالي ، ١٠٠ كيلو متر في القطاع الجنوبي ، أي أن الفاقد يقدر بحوالي ١٨ مليون متر مكعب .

وكان موسم أمطار ٨٨/٨٧ قد جاء بزيادة في الميزان المائي أي أن التغذية كانت أكثر من صافي الإستهلاك بمقدار يصل إلى ٥٨ر٠٤ مليون متر مكعب وهي أعلى زيادة جاءت منذ موسم ١٩٧٢/٧١ وكان الميزان المائي منذ تلك الفترة في عجز سنوي فيما عدا عام ١٩٧٦/٧٥ و ١٩٨٣/٨٢ م .

Ground Water Balance
1971 _ 1991

الميـزان المـائى
١٩٧١ _ ١٩٩١



٤ - ١ مراحل تطور دراسات وإدارة المياه الجوفية

كانت الزراعة في قطر قبل عام ١٩٥٠ تنحصر في مزارع قليلة وحدائق نخيل حول مدينة الدوحة وفي بعض المراكز الرئيسية في البلاد ومنذ عام ١٩٥٨ للآن تزايد عدد المزارع بمعدل ثابت حتى وصل إلى ٣٥٠ مزرعة في عام ١٩٦٧ وأكثر من ٥٠٠ مزرعة في عام ١٩٨٠ وكان لهذا التزايد والتوسع في الزراعة أثره المباشر على مصدر المياه الجوفية الذي شكل عائقاً في سبيل الإستغلال المتزايد منه ، وفي عام ١٩٦٧ قدرت الكميات المستغلة من الحوض الجوفي بأنها أكثر من الكمية المغذية له من الأمطار وعلى ذلك قامت الحكومة بالإهتمام بحالة الحوض الجوفي الذى تعرض للإستنزاف ولم تكن البيانات الهيدرولوجية متوفرة في ذلك الوقت عن هذا الوضع وقد قامت الحكومة بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة الدولية عن طريق المساعدة الفنية من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي بإنشاء أول مشروع لمسح الموارد المائية والزراعة في أواخر عام ١٩٧١ والمسمى بمشروع :Hydro-Agriculture Surveys وقد قام هذا المشروع الذي إنتهى في عام ١٩٧٣ بإنشاء شبكة هيدروميتورولوجية وهيدروجيولوجية للمراقبة المستمرة على الآبار ورصد البيانات من المناخ والأمطار وقامت بإجراء مسح جيوفيزيقي وحفرت (١٠) آبار استكشافية وبذلك استطاع المشروع تقرير أول ميزان مائي لمصادر المياه الجوفية وإجراء حفر استكشافي للتربة مع بعض التجارب المحدودة في البستنة وقدم تقريراً عن تقسيم نوعيات الأراضي بالدولة .

وقد مثلت هذه الدراسات أساساً قوياً لمتابعة النتائج والتوصيات لهذه المرحلة بالبدء في المرحلة الثانية لمشروع الإستغلال المشترك للمياه والتربة Integrated Water and Land Use في منتصف عام ١٩٧٤ بالتعاون بين منظمة الأغذية والزراعة ووزارتي الصناعة والزراعة والكهرباء والماء وكان الغرض من هذا المشروع هو التوسع في الدراسات التفصيلية للوصول إلى التكامل بين الموارد المائية الجوفية المحدودة واستغلالها بالطرق المثلى في الأغراض الزراعية مع الأخذ في الإعتبار الوضع الحالي والمستقبلي لإستخدامات المياه في الأغراض المدنية والصناعية مع تجميع وتحليل البيانات المائية والزراعية الخاصة بإمدادات المياه واستخدامها .

وقد أجريت خلال فترة المشروع ما بين عام ١٩٧٤ - ١٩٧٧ الكثير من الإستكشافات والحصول على البيانات الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية بجانب مجموعة كبيرة من التجارب والدراسات الخاصة لكل من الموارد الزراعية والمائية .

وأجريت عمليات التحليل النظائري Environmental Isotopes لدراسة تحركات المياه الجوفية داخل الطبقات الحاملة للمياه وذلك بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية الدولية (IAEA) وقد أعطت

هذه التحاليل تأكيدات قيمة عن عمر المياه الجوفية ومصدرها والشواهد الظاهرة على تداخل مياه البحر المالحة .

ومن المسح الجيوفيزيقي الجديد الذي تم في هذه المرحلة أمكن تحديد الفاصل بين المياه الصالحة الجوفية والمياه المالحة السفلى في القطاع الشمالي للبلاد كما أجريت عمليات مسح لاستهلاك المياه الجوفية في الزراعة وللأغراض المدنية والصناعية ومعرفة معدلاتها وتم التأكد من هذه البيانات بالمسح العيني لبعض المزارع المنتجة التي تم فيها دراسة الكميات المستهلكة ومعدلاتها وتكلفة المياه .

وكان من أهمية نتائج هذا المشروع إمكانية زيادة إنتاجية الأرض الزراعية بمقدار ٢٢ ٪ مع إستعمال نصف كمية المياه المستغلة للزراعة وذلك بالزراعة المحسنة ووسائل الري الحديثة ولذلك فقد أهتمت الحكومة بهذه النتائج وقررت على ضوء ذلك في نهاية المشروع منتصف عام ١٩٧٧ التركيز على التكامل الزراعي والمائي لزيادة قدرة الرقعة الزراعية الحالية الإنتاجية مع توفر كميات المياه المستغلة .

وعلى ذلك فقد أنشئ مشروع تنمية الموارد المائية والزراعية في يوليو ١٩٧٧ بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة بغرض زيادة كفاءة الري مع التربة المحسنة للوصول الى أقصى إمكانية إنتاجية للأرض الزراعية بأقل كمية للرى وذلك بتطبيق النتائج والتوصيات من المرحلة الثانية عملياً مع بعض المزارع ومراقبتها بطريقة تفصيلية وقد تم في هذه المرحلة لأول مرة تجربة زراعة الأراضي الصحراوية بجانب إيجاد الحلول لكثير من المشاكل كانت سابقاً عقبة في سبيل التنمية الزراعية وهي حصيلة ٦ سنوات من الخبرة المستمرة في هذا المجال .

٥ - ١ إنشاء ادارة البحوث الزراعية والمائية

كان لزاماً بعد أن توفر هذا الكم من نتائج الدراسات والبحوث والمشاريع السابق ذكرها أن يتم إنشاء جهاز تكون له صفة استمرارية العمل في مجال الأبحاث الزراعية والمائية وتطوير أساليبها وتنفيذ التوصيات التي جاءت حصيلة للمشاريع المشتركة بين كل من وزارة الصناعة والزراعة ووزارة الكهرباء والماء بدولة قطر من جهة وبين منظمة الأغذية والزراعة الدولية من جهة أخرى ، وبذلك صدر قرار مجلس الوزراء الموقـــر رقم (١٠) لسنة ١٩٨٢ بإنشاء إدارة البحوث الزراعية والمائية وتتبع وزارة الصناعة والزراعة في ذلك الوقت - وزارة الشئون البلدية والزراعة حالياً - ويكون من ضمن إختصاصها إجراء الأبحاث والدراسات والتجارب الخاصة بعملية التنمية الزراعية والمحافظة على مصادر المياه .

ولقد كان قسم المياه الجوفية أحد الأقسام الرئيسية في الإدارة والذي كان يمثل استمراراً لأحد أهم

الجوانب التي اعتمدت عليها المشاريع المشتركة السابقة الذكر وذلك نظراً للقناعة التامة بأهمية تنمية مصادر المياه الجوفية والحفاظ عليها كثروة قومية إضافة إلى الإهتمام المتزايد بالتنمية الزراعية في الدولة وإعتماد ذلك على المياه الجوفية كمصدر رئيسي لعمليات التنمية المذكورة .

٦-١ مرتكزات تنمية مصادر المياه الجوفية

اعتمدت خطط تنمية المياه الجوفية على مرتكزات عدة في مجال مراقبة الأحواض ودراسة التغيرات الطارئة عليها وتنفيذ الأبحاث والدراسات والمشاريع الخاصة بعمليات الإستكشاف والتنمية والمحافظة وترشيد الإســتهلاك والتوصية بإصدار التشريعات والقوانين ، ويمكن تلخيص أهم المرتكزات الرئيسية في النقاط التالية :

٦-١-١ انشاء الشبكة الهيدرولوجية في أواخر عام ١٩٧١ وكانت تشمل الآتي :

١- ثلاث محطات مترولوجية رئيسية تمثل الشمال والوسط والجنوب لرصد وتسجيل العناصر المناخية التي تؤثر على الموارد المائية والزراعية .

٢- محطات أمطار وصل عددها إلى أكثر من ٣٠ محطة لرصد وتسجيل الأمطار وقد تم توزيعها بحيث تغطى جميع أجزاء شبه الجزيرة القطرية وبكثافة توزيعية عالية تصل إلى محطة لكل ٣٢٢ كيلو متر مربع نظراً لندرة سقوط الأمطار وعدم إنتظامها وللحاجة الماسة إلى الحسابات الدقيقة لكميات سقوط الأمطار حيث تمثل المصدر الطبيعي الوحيد لتغذية الحوض الجوفي .

٣- اختيرت آبار للرقابة الدورية وصل عددها إلى أكثر من ٢٥٠ بئراً لمراقبة التغيرات الطارئة على مناسيب وملوحة المياه الجوفية وقد أخذ أيضاً في الإعتبار أن يكون الإختيار بكثافة توزيع عالية ولتمثل جميع المناطق في شبه الجزيرة والأحواض الجوفية المختلفة .

٤- كان لدراسة معدلات التغذية للحوض الجوفي عامل أساسي لتركيب أجهزة تسجيل ذاتية لقياس مناسيب المياه على بعض آبار الرقابة يصل عددهم الآن إلى أكثر من خمس عشرة في مواقع مختلفة لتحديد معدلات التغذية من مياه الأمطار والسيول إلى الحوض الجوفي بدقة كافية وفي منخفضات مختلفة الحجم والشكل للوصول إلى أكثر قدر من الدقة في تحديد الكميات المغذية للحوض الجوفي سنوياً .

٦-١-٢ استكشاف الطبقات العميقة

نظراً للرغبة المتنامية في تطوير خطط التنمية الزراعية وزيادة الرقعة الخضراء في سبيل الوصول إلى الإعتماد على الإنتاج المحلي لسد بعض الإحتياجات الضرورية فقد كان لزاماً الإهتمام بدراسة الطبقات العميقة بهدف استكشافها ودراسة إمكانية تواجد مياه صالحة للزراعة بها ، خاصة مع التزايد المستمر في إستغلال الطبقات القليلة المستغلة حالياً والتي تتعرض للإستنزاف منذ فترة وفي هذا المجال تم تنفيذ حفر بئرين عميقين في منطقتي الوسط والجنوب وجاري العمل في حفر (٢) آبار أخرى ، وتصل أعماقها إلى أكثر من ١٠٠٠ متر .

٦-١-٣ التشريعات والقوانين

أصدرت الدولة في بداية عام ١٩٨٨ قانوناً لتنظيم حفر آبار المياه الجوفية واستغلالها بهدف ترشيد إستهلاك المياه الجوفية واستغلالها الإستغلال الأمثل وبما يضمن حماية هذا المورد الحيوى الهام ويشتمل القانون المذكور على مواد تنظيم عمليات الترخيص الخاصة بحفر أو تنظيف الآبار وأخرى لترشيد وتنظيم الإستهلاك ، وبخاصة ما يتعلق بتحديد المساحات المزروعة وإستخدام أنظمة الري الحديثة .

٦-١-٤ إنشاء بنك للمعلومات المائية

نظراً لما يتطلبه العمل من تحديث البيانات المتوفرة ولإعداد النماذج الرياضية للمساهمة في معرفة التغيرات التي تطرأ على المخزون الجوفي ولإعداد الميزان المائي السنوي فقد بدأ العمل في إنشاء بنك للمعلومات المائية وذلك بإدخال بعض البيانات المترولوجية والهيدرولوجية التي تتضمنها النماذج الموحدة لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية وذلك بإستخدام الحاسب الآلي .

٧-١ مشروع زيادة معدلات التغذية للحوض الجوفي بواسطة الآبار

تعتبر التغذية المباشرة والغير مباشرة للحوض الجوفي في شبه الجزيرة القطرية هي المصدر الطبيعي الوحيد للمياه الصالحة للإستغلال وتحدث التغذية المباشرة من خلال تسرب مياه المطر المتساقطة على سطح التربة الأرضية رأسياً إلى الطبقة الحاملة للمياه والغير مباشرة تعنى تسرب المياه المتجمعة والناتجة من السيول إلى الطبقة الحاملة وقد لوحظ أن السيول تتكون عادة عندما تزداد كمية سقوط الأمطار عن ١٠ ملليمتر في اليوم .

وتعتمد التغذية للحوض الجوفي على مدى نفاذية الطبقة السطحية للأرض التي تختلف اختلافاً كبيراً نظراً لتفاوت معامل النفاذية بين أنواع التربة المختلفة وهي حالة النفاذية من خلال تجمعات اه السيول في المنخفضات فإنها تتعرض إلى فقدان جزء كبير منها نتيجة التبخر وإحتفاظ التربة بجزء منها ولذلك كانت أهمية حفر آبار التغذية في مناطق المنخفضات التي تتجمع فيها السيول قد أخذت في الإعتبار لتفادي الكميات الكبيرة التي تفقد ومن ثم توصيل هذه المياه المتجمعة إلى الحوض الجوفي مباشرة في أسرع وقت ممكن .

٧-١-١ مناطق تجمع السيول

من الخرائط المساحية مقياس ١ : ٥٠٫٠٠٠ أمكن تحديد مساحات تجميع المطر لكل منخفض وقد حسبت المساحات التي تؤثر في التغذية للحوض الجوفي واستبعدت المناطق المستوية التي لا تؤثر كثيراً في التغذية كما تم تحديد الفاصل الرئيسي بين المساحة المغذية الداخلية والخارجية حيث أن أودية الصرف للمنخفضات تؤثر من ناحية اتجاهاتها فإذا كانت إلى داخل شبه الجزيرة تعتبر مؤثرة على التغذية للحوض الجوفي ، أما إذا كان إتجاهها إلى السواحل يضيع أغلب مياه سيولها إلى مياه البحر أو إلى المناطق المحلية (السبخات) فتتبخر ولا تستفيد منها الطبقة الحاملة للمياه .

ومن واقع الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية والزيارات الميدانية تم التوصل إلى تحديد حوالي ٨٥٠ حوض مساحة تجميع مطر مؤثر على الخزان الجوفي تبلغ في مساحتها الكلية حوالي ٦٩٧٩ كيلو متراً مربعاً أو ٦٧٪ من مساحة قطر الكلية ، أما المساحة الخارجية فهي عبارة عن حزام ضيق موازي للساحل والتي يعتقد أن مياهها تفقد من خلال مساحة حوالي ٢٢٦٨ كيلو متراً مربعاً من السبخات والأراضي الملحية .

٧-١-٢ العوامل المؤثرة في التغذية للخزان الجوفي

١- من أهم العوامل المؤثرة لتغذية الخزان الجوفي هو حجم أحواض تجميع المطر من حيث مساحة هذا الحوض وعمقه أي الفرق بين منسوب سطح الأرض من الحد الفاصل لمساحة التجميع إلى أدنى منسوب حيث يقع في المنخفض وتتراوح مساحات تجميع الأمطار في هذه المنخفضات ما بين ٠٫٢٥ كيلو متراً مربعاً إلى ٤٥ كيلو متراً مربعاً والمنخفضات ما بين ١٢ إلى ١٠ أمتار أسفل حدود مساحات تجميع الأمطار وتتكون هذه المنخفضات غالباً في تربة رسوبية ثقيلة القوام وهي التي تسمى بأراضي الروضات ويصل سمكها من ١ إلى ٢ أمتار .

وكما هو معلوم أن المنطقة الشمالية تتميز بمياه جوفية أقل ملوحة من المنطقة الجنوبية مما يدل على أن كمية التغذية من مياه الأمطار في الشمال أكثر منها في الجنوب وقد دلت النتائج الأولية للتحليل الإشعاعي للمياه الجوفية بواسطة الهيئة الدولية للطاقة الذرية أن مياه المنطقة الشمالية حديثة التكوين نتيجة للتغذية المستمرة والسريعة من مياه الأمطار المحلية وقد أكدت نتائج المسح الجيوفيزيقي وعمليات الحفر الإستكشافي وجود إختلاف بين تكوين الطبقات الحاملة للمياه الجوفية في الشمال عنها في الجنوب .

٢- من دراسة الغطاء النباتي الطبيعي في قطر يتضح أن له تأثيراً في معدلات التغذية فنجد أن كثافة الغطاء النباتي الطبيعي في الجنوب أكبر منها في الشمال وكذلك أن المنطقة المتوسطة بين الكثافتين تتمشى مع الحد الفاصل بين الطبقة الحاملة للمياه الشمالية والجنوبية ، وقد يرجع ذلك أساساً إلى الإختلاف الظاهري في نوعيات التربة السطحية حيث تغطى المنطقة الجنوبية نسبة أكبر من الترسبات والطبقات الرملية التي تساعد على الإحتفاظ بالماء ومن ثم إنتشار الغطاء النباتي .

٣- شدة المطر وكميته من العوامل المؤثرة على تكوين السيول وبالتالي التغذية للحوض الجوفي ونعني بالشدة أن تكون كمية المطر المتساقطة كثيرة في زمن قصير . وبذلك تتجمع مياه الأمطار في المنخفضات من فائض إحتياج التربة السطحية للأراضي المحيطة وقدرت الكمية اللازمة لتكوين هذه السيول بمعدل أكثر من ١٠ ملليمتر في اليوم وبالتالي تتسرب هذه المياه في الطريق غير المباشر إلى الطبقة الحاملة للمياه ومن النتائج السابقة نجد أن معدل التغذية من مياه الأمطار العادية التي تقل في معدل سقوطها عن ١٠ ملليمتر في اليوم تتراوح نسبتها ما بين ٧ - ١٠ ٪ من الكمية المتساقطة أما بالنسبة للعواصف المطرية المسببة لتجمعات السيول فتصل إلى أكثر من ٢٠٪ تبعاً لطبقة كل منخفض .

جدول رقم (١)

حسابات التغذية للحوض الجوفي من مياه السيول المتجمعة في المنخفضات

الموقع	المطـــــــــــر		مساحة تجمع المطر (كيلومتر مربع)	كمية مياه السيول (مترمكعب)	كمية المياه المغذية للحوض الجوفي (مترمكعب)	النسبة المئوية للتغذية من كمية مياه السيول
	كمية المطر (ملليمتر)	زمن سقوط المطر (دقيقة)				
روضة الفرس	٧٦ر٦	٩٠	١٠ر٤	٢٠٠٠٠٠	١٧٢٨٠٠	٨٦ر٤٪
الداودية	٢١ر-	١٢٠	١ر٩	١٧٢٣٥	٩٩٤١	٥٧ر٢٪
الغويرية	١٠ر-	٣٠	٢٨ر٧٥	٥٠٨٠٢	٤٢٥٢٤	٨٥ر٧٪
العطورية	٣٨ر٤	٩٠	١ر٧٥	١٤٩٦٠	٩٠٩٦	٦٠ر٨٪
أم الأفاعي	٧٣ر٥	٤١٥	٠ر٢٧٥	٦٨٤٢	٤٥٦٤	٦٦ر٧٪
أم قرن	٩١ر٥	٩٠	٩٩ر	٢٠٥٢٦	١٢٨٣٥	٦٢ر٦٪
أم العمد	٩١ر٥	٩٠	٠ر٢٦	٦٢٤٤	٤٢٢٧	٦٨ر٢٪
وادي الواسعة	٩١ر٥	٩٠	١ر٠٨	١٥٦١٩	٧٢٨٨	٤٧ر٣٪

من الجدول رقم (١) السابق يتضح أن النسبة المئوية للمياه المغذية للحوض الجوفي من مياه السيول المتجمعة تتراوح من ٤٧ر٣٪ إلى ٨٦ر٤٪ أي بمتوسط ٦٦ر٩٪ ومن هنا نرى تأثير مياه السيول على التغذية للحوض الجوفي وهذه النسبة تزداد وتقل طبقا للعوامل المؤثرة على التغذية السابق شرحها .

ويبين الجدول رقم (٢) كميات التغذية من آبار التغذية في روضة الفرس بمزرعة الحكومة وقد حسبت لكل بئر منه مساحة تجميع لمياه السيول وكمياتها مع مراقبة الكميات المتدفقة من المياه إلى البئر وبالتالي إلى الحوض الجوفي ومنه نجد أن نسبة مياه التغذية من مياه السيول تزداد بنسبة ملوحظة وتصل إلى متوسط ٨٩ر٤٪ حيث تراوحت النسبة ما بين ٧٢ر٨٪ إلى ٩٥٪ بإختلاف كميات السيول وشدتها وقد أجريت هذه التجربة على ثلاث عواصف مختلفة الشدة والكمية .

وبذلك فإننا نجد أن آبار التغذية لها أثر كبير في زيادة معدلات التغذية إلى الحوض الجوفي أي أنه في التغذية العادية وبدون الآبار تلك نجد أن متوسط حسابات التغذية يصل في حدود ٦٧٪ من مياه السيول أما بوجود هذه الآبار فتصل النسبة في متوسطها إلى ٩٠٪ .

جدول رقم (٢)

حسابات التغذية للحوض الجوفي بواسطة آبار التغذية من مياه السيول لروضة الفرس

(مزرعة الحكومة)

الموقع	المطـــــــر		مساحة تجمع المطر (كيلومتر مربع)	كمية مياه السيول (مترمكعب)	كمية المياه المغذية للحوض الجوفي (مترمكعب)	النسبة المئوية للتغذية من كمية مياه السيول
	كمية المطر (ملليمتر)	زمن سقوط (دقيقة)				
بئر التغذية						
رقم ١	٣١ر-	٥٥	٠ر٤٠	٩٦٨٩	٨٠٨٠	٨٣ر٤
رقم ٢	٣١ر-	٥٥	١ر٠٨	٧٠٦٦	٥٥٧٦	٧٨ر٩
رقم ٣	٣١ر٠	٥٥	٠ر٢٣	٣٧٨٨	٢٧٥٧	٧٢ر٨٠
بئر التغذية						
رقم ١	٢٢ر٤	٢٢٠	٠ر٤٠	٢٤٤١	٢٣١٨	٩٤ر٩
رقم ٢	٢٢ر٤	٢٢٠	١ر٠٨	٦٣٦٠	٦٠٤٢	٩٥ر-
رقم ٣	٢٢ر٤	٢٢٠	٠ر٢٣	١٠٢٩	٩٧٨	٩٥ر-
بئر التغذية						
رقم ١	٢٥ر٤	٢٠٠	٠ر٤٠	٢٦٥٥	٢٥٢٢	٩٤ر٩
رقم ٢	٢٥ر٤	٢٠٠	١ر٠٨	٥٧٨٤	٥٤٩٥	٩٥ر-
رقم ٣	٢٥ر٤	٢٠٠	٠ر٢٣	١٠٢٣	٩٨١	٩٥ر٠

وقد أجريت دراسة على منخفضات الماجدة والغويرية والداودية لإيجاد مجاري التصريف السطحي ومساحات تجميع الأمطار لكل وادي بواسطة الصور الجوية وتحديد المنخفضات لكل وادي وتقدير كميات مياه السيول المتدفقة وعلى ذلك تم حساب التغذية للحوض الجوفي على النحو التالي :-

١- تحليل تربة المنخفضات ومعرفة سمكها ومكوناتها .

٢- تحليل التتابع الصخري للآبار في المنطقة .

٣- تحديد عمق بئر التغذية الموصول إلى الطبقة الحاملة للمياه المؤثرة على الطبقة المستغلة ومعرفة قدرتها التجريبية .

٤- دراسة الغطاء النباتي لكل منخفض .

٧-١-٢ مرحلة إنجاز التجارب وتنفيذ المشروع

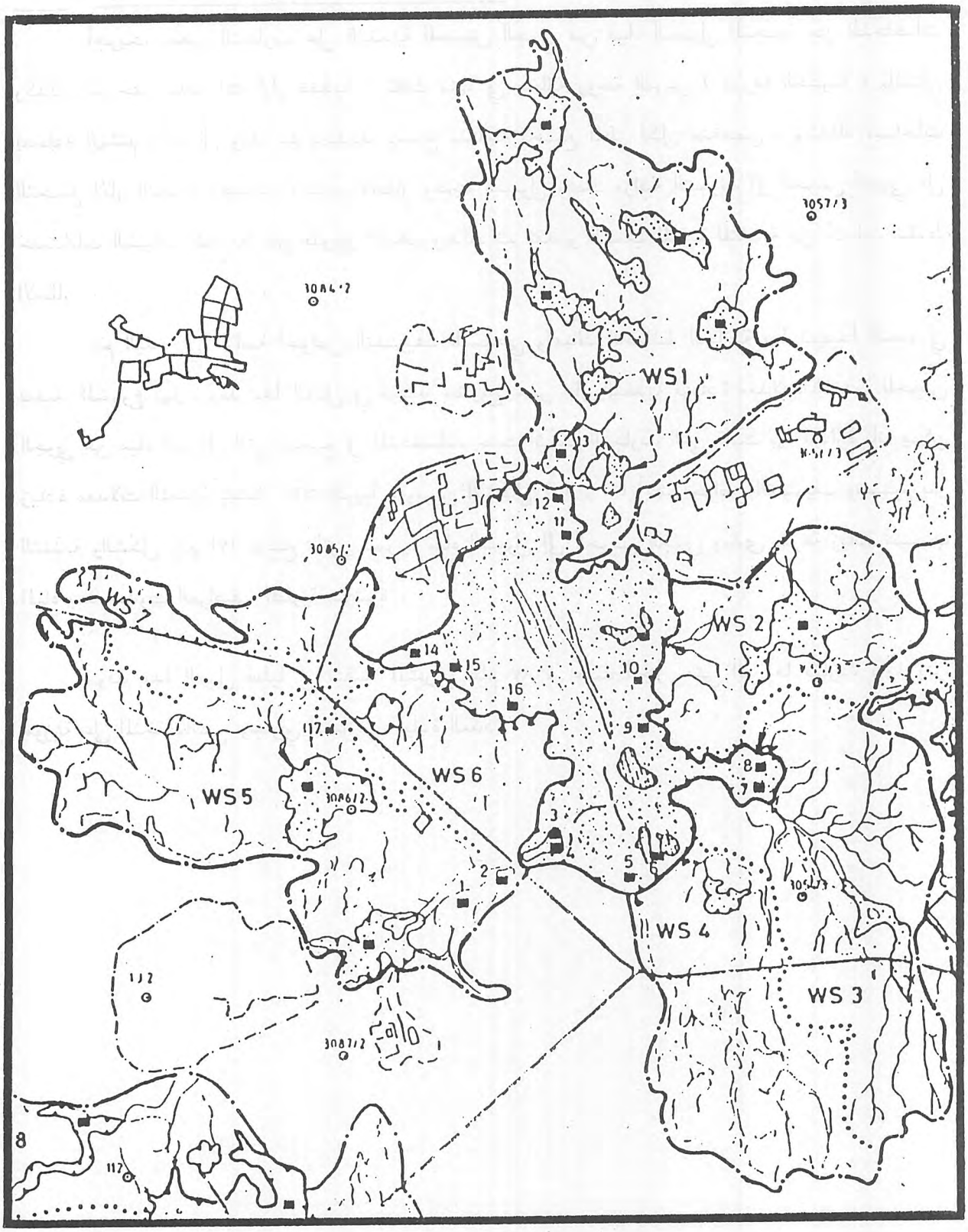
أجريت بعض التجارب على التغذية للحوض الجوفي من مياه السيول المتجمعة من المنخفضات وكذلك تم حفر عدد (٥) آبار تغذية - ثلاث منها في منطقة روضة الفرس (مزرعة الحكومة) واثنتان بمنطقة الهشم بالشمال وقد تم تحديد ومسح مساحة تجميع المطر لكل منخفض . وكذلك مساحات التجميع لآبار التغذية وحسبت كميات الأمطار وحجم السيول وتمت مراقبة التسرب إلى الحوض الجوفي على حسابات الكميات المفقودة عن طريق التبخر وبذلك تم تقدير النسب المئوية للتغذية من كميات سقوط الأمطار .

تم البدء في دراسة أحواض التصريف السطحي وإعداد الخرائط الخاصة بها تمهيداً للبدء في تنفيذ المشروع بها . وقد بدأ العمل في تنفيذ مشروع حفر آبار التغذية لزيادة معدلات التغذية للحوض الجوفي من مياه السيول التي تتجمع في المنخفضات حيث أثبتت التجارب التي قامت بها الإدارة بأنه يمكن زيادة معدلات التغذية بنسبة ٣٠٪ تقريباً . وتبين الأشكال (٥) ، (٦) أحد أحواض التصريف وتصميم بئر التغذية والشكل رقم (٧) يوضح تأثير تسرب مياه السيول إلى الحوض الجوفي ومدى سرعة زيادة منسوب المياه بعد حدوث العواصف المطرية مباشرة .

وقد بدأ العمل فعلياً في تنفيذ المشروع عام ١٩٨٧ حيث أنجز حتى الآن ما يقارب ١٠٥ بئراً موزعة على المنخفضات ، وجاري العمل في زيادة العدد .

خريطة مخرات السيول - الماجدة

Drainage Map Al - Majidah



Legend

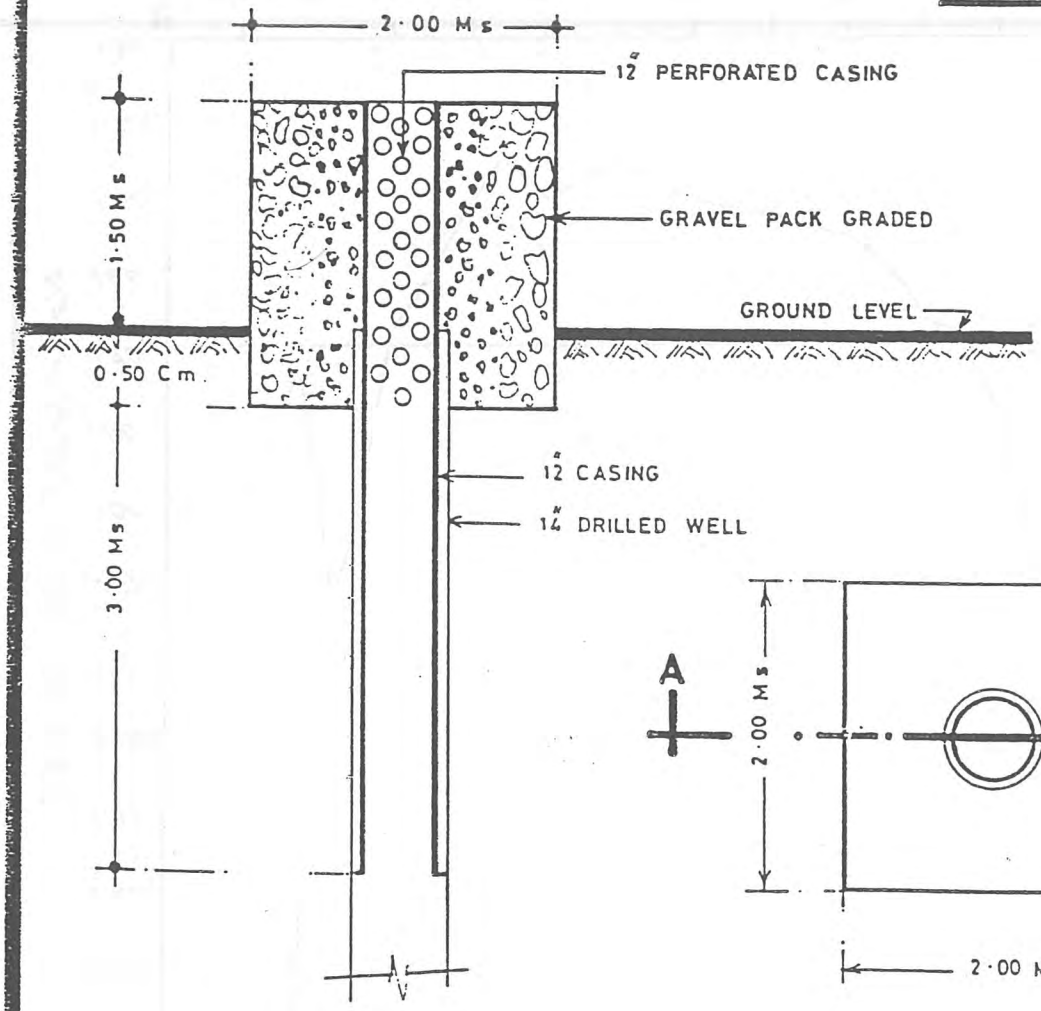
- Water Shed Boundary.
- Drainage Direction.
- Depression.
- Recharge Well.

دليل

- حدود مساحات تجميع المطر
- اتجاه الصرف في الوديان
- منخفض
- مواقع آبار التغذية

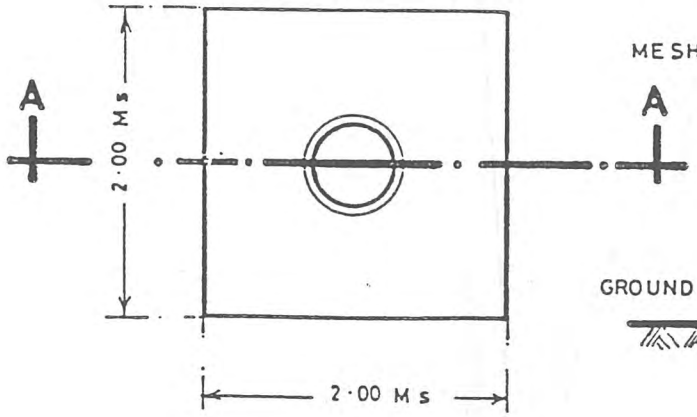
شكل (٥) احد احواض التصريف

DESIGN For RECHARGE WELL

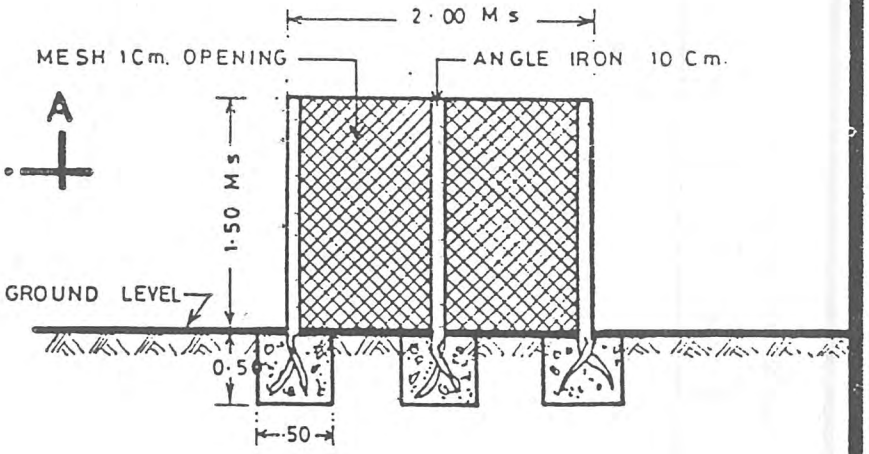


Section . A_A

Scale: 1 / 50



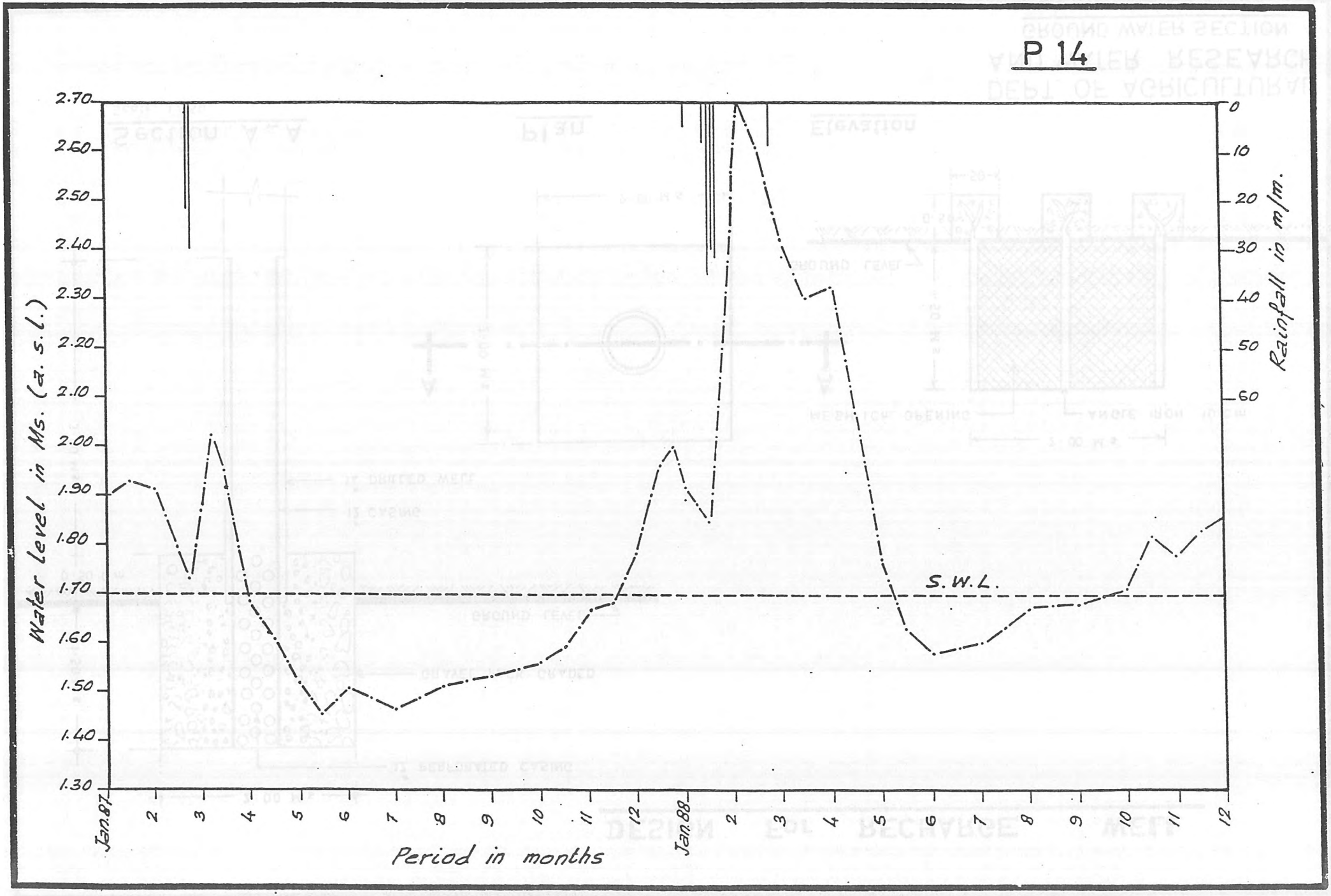
Plan



Elevation

DEPT. OF AGRICULTURAL
AND WATER RESEARCH
GROUND WATER SECTION

شكل (٦) تصميم بئر التغذية



شكل (٧) تاثير تسرب مياه السيول

Removal of Phosphorus from Wastewaters By Fly Ash

Abdullah El-Rehaili and Mohammed Misbahuddin

REMOVAL OF PHOSPHORUS FROM WASTEWATERS BY FLY ASH

ABDULLAH EL-REHAILI and MOHAMMED MISBAHUDDIN

Department of Civil Engineering, King Saud University
P. O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia.

ABSTRACT

A preliminary investigation for the removal of phosphorus from secondary treated wastewaters by fly ash was carried out. The optimum dosage of fly ash, as determined by jar test experiments, was 2500-4000 mg/L to reduce soluble phosphorus of upto 6.0 mg/L to less than 1.0 mg/L as P. Prolonged rapid mix time improved the quality of the treated effluent to an appreciable extent. The pH and dissolved oxygen of wastewater appeared to have a significant effect on solution phosphate reduction with higher removals for high pH values and dissolved oxygen concentrations.

INTRODUCTION

Phosphorus is the key nutrient for the growth of algae and plants due to eutrophication. A phosphorus concentration less than 1.Ø mg/L in wastewater effluents discharged to lakes, estuaries, and rivers is generally considered safe to avoid eutrophication. Although phosphorus is essential for the growth of micro-organisms, it has been well established by many investigators that wastewaters contain surplus phosphorus than needed for the biological treatment. Normally, raw wastewaters contain around 1Ø mg/l of total phosphorus, of which 7Ø% is soluble [1,2]. It has been found that a maximum of 2Ø%-3Ø% of phosphorus is removed during biological treatment of wastewaters by the conventional activated sludge methods [2-4]. This leaves far more than 1.Ø mg/L of phosphorus in the effluents. Hence additional processing or modification to the existing treatment schemes is warranted to control excess algal growth.

Salts of iron and aluminium or lime along with polyelectrolytes are usually employed for the removal of phosphorus by chemical precipitation. Waste pickle liquor, a waste from steel industries, is one of the coagulants used for phosphorus removal for economic reasons [5]. Efforts have been made by many investigators to find an efficient and more economic means of reducing phosphorus in the wastewater effluents.

In recent years, fly ash, a waste product of thermal power plant units, has been investigated as an adsorbent for the removal of phenols [6], organics [7], and heavy metals [8-11]. In the present investigation fly ash is utilized to remove phosphorus from wastewater effluents. In this paper, the results of the preliminary study conducted at varying experimental conditions will be discussed.

MATERIALS AND METHODS

The fly ash used in this investigation was of lignite coal origin and has the composition as shown in Table 1. The wastewater effluents were collected from the secondary trickling wastewater treatment plant of King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia. The samples were collected just before the chlorination chamber, once a day, for a period of one week. Jar test experiments were run using a Phipps and Bird apparatus.

Total Organic Carbon (TOC) determinations were performed on Dohrmann DC-190 TOC analyzer. All other parameters were measured as per the methods specified in Standard Methods [12].

RESULTS AND DISCUSSION

Chacteristics of secondary effluent

The concentration of some important parameters of the secondary trickling filter effluent collected before chlorination is presented in Table 2. The mean and the range values given in the table reflects the characteristics of the effluent for a one week period. The pH of the effluent is around neutral and there is no great variation in the alkalinity and hardness. However, the ortho-P varied from 4.4 to 5.9 mg/L as P. The conductivity remained uniform indicating low variation in the dissolved solids concentration.

Characterization of fly ash leachate

Laboratory batch and column leaching experiments conducted by Humenich *et.al.* [13] indicated that lignite fly ash release various inorganic material into water. The major ash leachate species found were calcium and sulphate. In addition to these, trace elements; aluminium, arsenic, boron, phosphorous, selenium, silicon, and zinc were found in concentrations having some significance.

Since fly ashes of the same classification can differ in composition, a jar test experiment was performed to characterize the leachate from the fly ash used in this study. The experimental procedure was similar to that used for actual wastewater effluents. However, only one dose (1000 mg/L) was applied to both distiled water (DW) and tap water (TW) systems. Tap water was chosen as it contains inorganic constituents similar to wastewater effluents.

The results of the leaching experiment is shown in Table 3. The pH, alkalinity, hardness, ortho-P and sulphate concentrations of both TW and DW were increased due to the addition of fly ash. pH and alkalinity changes may be due to the release of bicarbonate, carbonate and hydroxyl ions from the minerals present in the fly ash. Calcium and sulphate releases may be from calcium oxide, calcium sulphate, etc. found in fly ashes [13]. Changes

in chloride, dissolved solids and organic content of leaching water was insignificant.

Jar test experiments

Experiments with jar test were conducted by fixing the operating parameters normally adopted for lime treatment. The rapid and slow mixing, and sedimentation times were 2, 18 and 30 minutes respectively. The results of the tests conducted over a one week period are summarized in Table 4. The reported values in the table are the mean concentrations for five data sets obtained on effluents collected on five different days. An average of 4000 mg/L of fly ash was needed to reduce Phosphorus concentration to less than 1.0 mg/L from mean secondary effluent level of 5.1 mg/L as P. However, a fly ash dosage of even 2500 mg/L was sufficient for some effluents containing low initial Phosphorus concentration.

Fig. 1 shows the relation between the fly ash dosage and the percent of mean ortho-P reduction. The relation appeared to be linear between dosages of 1500-3000 mg/L and approach asymptotically above 4000 mg/L. This indicates that 100% removal of phosphorus from wastewater effluents by fly ash may not be feasible under the experimental conditions studied. Moreover, phosphorus was found to leach from the fly ash by the previous leaching experiment and by other investigators [13]. The removal of phosphorus from the effluents may be mainly due to a combination of adsorption and precipitation reactions with calcium (Ca), aluminium (Al), iron (Fe) or other clay minerals present in fly ash as reported in the literature for other materials [1,4,14,15].

The addition of fly ash increased the pH, alkalinity and calcium content of the secondary effluents (Table 4) as in the case of DW and TW experiment. As seen from table 4 fly ash dosage should be greater than 4000 mg/L to raise the pH above 10.0. which is the optimum value for the phosphate removal by lime [1]. The changes in effluent pH values due to the addition of varying fly ash dosages is shown in Fig. 2. The alkalinity and calcium concentrations increased with increasing fly ash dosage, but to a much lesser extent than observed in the case of leaching in tap water. This indicates the possible consumption of both alkalinity and calcium in the precipitation reactions.

The turbidity was very high (Av. 28 NTU) for 1000 mg/L of fly ash dose for all the experiments. The optimum dosage value was around 3000 mg/L for lowest turbidity of 3.7 NTU. There was no appreciable change in the

conductivity of the effluents irrespective of dosage indicating low solubility of fly ash. A reduction of upto 44% in the dissolved organic content measured as COD can be noticed from Table 4. The removal of COD can be attributed to two processes; adsorption of non-polar and higher molecular weight organics onto fly ash [7] and enmeshment of organics in the precipitates (CaO_3, hydroxyapatite, etc.) and subsequent settlement.

Effect of mixing time

For fly ash dosages above 15ØØ mg/L the contents of the jars were settling down soon after the rapid mix period (approx. 2-3 min) leaving a clear supernatant at the top. In order to find the effect of mixing time one additional set of experiment with prolonged mixing time (2Ø min. rapid mix, 1Ø min. slow mix and 2Ø min settling) was run along with the normal set. The results of the two sets are shown in Table 5. There was an overall improvement in the characteristics of the effluent as evident from the results. Longer rapid mixing achieved Ø-24% more reduction of phosphorus than a short rapid mix period. The organics removal (measured as COD) was also enhanced (see Table 5). This increased reduction may be due to slow precipitation and adsorption, which takes place apart from the fast reactions [14].

Effect of Dissolved Oxygen

Secondary effluents from the activated sludge treatment plants normally have more dissolved oxygen (DO) than the trickling filter effluents. Hence an experiment was conducted in which one CaO of trickling filter effluent was aerated to increase the DO concentration to 6.8 mg/L. Jar test was run on both aerated and unaerated samples using long mixing time of 2Ø min. and a fly ash dosage of 25ØØ mg/L, which was found effective in the previous experiment. The results are presented in Table 6. As can be seen from the table, the phosphorus removal was 82.2% for aerated sample as compared to 71.8% in case of unaerated sample. This indicates that DO has a positive effect on the removal of CaO from wastewater effluents by fly ash.

Effect of Solution pH

pH of the solution plays an active role in the precipitation/adsorption of phosphate by various coagulants such as salts of Al, Fe or lime. Reactions with lime occur mainly under alkaline

conditions, while reactions with Al and Fe predominate in acid to neutral conditions [1,14]. Hence, quick shaker tests were conducted in which 1g each of fly ash was mixed with 100 mL portions of effluent. The solutions were adjusted to initial pH values of 4.0, 7.0 and 10.0 with the addition of dilute sodium hydroxide or sulphuric acid solutions. The effluent was also spiked with phosphate solution to increase the concentration to approx. 15.0 mg/L as P. The contents were tumbled for 1 hour with wrist action shaker and at the end filtered with 0.45 μm membrane filters and analysed. The results of the experiment are shown in Table 6. As seen from the table greater phosphorus removal occurred for high pH values. The phosphorus removal was 78.3, 95.7 and 98.0% respectively, for final solution pH values of 8.6, 9.6, and 12.2.

The discussion presented above is based on a preliminary study. But the results provided a crude estimate of the quantity of fly ash needed to remove phosphorus from the effluents. The fly ash dosages required (2500-4000 mg/L) are very high when compared to the normal lime dosages of 150-400 mg/L for the wastewater effluents. This may create serious sludge handling problems. The cost of fly ash has not been considered but it is expected to be low.

However, more detailed studies need to be conducted to understand the mechanism of phosphorus and other pollutants removal from wastewaters by fly ash. Methods of treatment which consume less fly ash dosages should be discovered. Possible incorporation of fly ash addition to suspended growth processes, such as activated sludge treatment, is expected to have significant advantage and should be investigated. The removal and addition of heavy metals of concern in wastewater effluent should also be taken into account.

CONCLUSIONS

The following are the conclusions drawn from the preliminary study conducted for the removal of soluble phosphorus from wastewater effluents by fly ash.

- Fly ash is effective in removing phosphorus from upto 6.Ø mg/L to less than 1.Ø mg/L. However, the dosages required (25ØØ-4ØØØ mg/L) to accomplish the task are very high.

- High solution pH values favour the precipitation reactions between phosphorus and fly ash. The phosphorus reduction was 78.3, 94.7 and 98.Ø%, respectively for reaction pH values of 8.6, 9.6 and 12.2.

- The DO concentration of the effluent has appreciable effect on the removal of phosphorus by fly ash. Increasing DO resulted in increased phosphorus removal.

- prolonged rapid mix period enhanced phosphorus reduction; Hence the optimum rapid mix period for max phosphorus reduction should be determined.

- The high dosage of fly ash necessary to reduce the phosphorus concentration is more likely to create sludge handling problems, which requires serious consideration.

REFERENCES

[1] "Process Design Manual for Phosphorus Removal", U.S. Environmental Protection Agency, Technology Transfer (October 1971).

[2] Viessman, W. Jr. and Hammer, M. J., "Water Supply and Pollution control", (New York:Harper & Row, 1985).

[3] Menar, A.B and Jenkins, D.,"Fate of Phosphorus in Waste Treatment processes:Enhanced Removal of Phosphorus by Activated Sludge",*Environ. Sci. Technol.*,4 (December 1970) pp:1115-1121.

[4] Kaneko, S and Nakajima, K., "Phosphorus Removal by Crystallization using a Granular Activated Magnesia Clinker", *J. Water Pollut. Control Fed.*, 60 (July 1988) pp:1239-1244.

[5] Leary, R.D *et. al.*, "Phosphorus Removal Using Waste Pickle Liquor",*J. Water Pollut. Control Fed.*, 46 (February 1974) pp:284-300.

[6] Kumar S *et. al.*, "Removal of Phenols by Adsorption on Fly Ash", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 37 (April 1987) pp:281-290.

[7] Benerjee, K *et. al.*, "Sorption of Selected Organic Pollutants by Fly Ash", *Proc. 43rd.* Ind. *Waste Conf.*, Purdue Univ., West Lafayette (1989) pp:397-406.

[8] Yadava, K.P *et al.*, " Fly Ash for the Treatment of Water Enriched in Lead(II)", *J. Environ. Sci. Health*, 24 (October 1989) pp:397-406.

[9] Sen, A.K and De, A.K "Adsorption of Mercury (II) by Coal Fly Ash", *Water Research*, 21 (August 1987) pp:885-888.

[10] Yadava, K.P *et. al.*, "Fly Ash for the Treatment of Cd (II) Rich Effluents", *Environ. Technol. Letters*, 8 (May 1987) pp:225-234.

[11] Pandey K.K *et. al.*, "Copper (II) Removal From Aqueous Solutions by Fly Ash", *Water Research*, 19 (July 1985) pp:869-873.

[12] "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 16 ed., APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C (1985).

[13] Humenich, M.J; Lang, M & Jackson K.F.,m "Leaching Characteristics of Lignite Ash", *J. Water Pollut. Control Fed.*, 55 (May 1983) pp:310-316.

[14] Nichols., D.S "Capacity of Natural Wetlands to Remove Nutrients from Wastewater", *J. Water Pollut. Control Fed.* 55 (May 1983) pp:495-505.

[15] Aulenbach, D.B and Meishang, N., " Studies on the Mechanism of Phosphorus Removal from Treated Wastewater by Sand", *J. Water Pollut. Control Fed.*, 60 (December 1988) pp:2089-2094.

[16] Chapra, S.C *et. al.*, "Effectiveness of Treatment to meet Phosphorus Objectives on the Great Lakes", *J. Water Pollut. Control Fed.*, 55 (1983) pp:55-61.

Table 1. Characteristics of Fly Ash.

Constituent	% by weight
SiO_2	51.19
Al_2O_3	24.66
Fe_2O_3	4.96
CaO	13.14
MgO	2.39
SO_3	1.03
Na_2O	0.38
K_2O	1.10

Table 2. Characteristics of Secondary Effluents.

Parameter	Mean Concentration[a]	Range
pH		7.1 - 7.5
Alkalinity[b]	48	42 - 51
Calcium Hardness	210	188 - 232
Total Hardness	261	248 - 284
Ortho-P	5.1	4.4 - 5.9
COD	32	26 - 38
Turbidity (NTU)	5.4	3.2 - 7.8
Conductivity (μmhos/cm)	1075	1050 - 1100

[a] Concentrations are in mg/L, except for pH, and where stated otherwise.

[b] Alkalinity and Hardness in mg/L as $CaCO_3$.

Table 3. Some Important Characteristics of Fly Ash Leachates[a].

Sample	pH	Alkalinity[b]	Hardness		Turbidity	Conductivity	Ortho-P	TOC	Cl	SO_4
			Ca	Total	(NTU)	(μmhos/cm)				
DW	6.8	-	-	-	0.6	2.2	-	-	-	-
Leachate	10.1	55	32	32	18	150	0.69	-	6.0	2.5
Tap water	7.9	36	96	116	1.5	475	0.14	0.40	90	86
Leachate	9.4	64	132	144	14	550	0.56	0.55	98	90.5

[a] Concentrations are in mg/L, except for pH and where ststed otherwise.

[b] Alkalinity and Hardness in mg/L as $CaCO_3$.

Table 4. Summary of Results for Jar Test Experiments[a].

Fly Ash Dose	pH	Alkalinity[b]	Hardness		Turbidity	Conductivity	Ortho-P	COD
			Ca	Total	(NTU)	(μmhos/cm)		
0	7.2	48	210	261	5.4	1075	5.08	32
1000	8.0	59	215	264	28	1075	3.75	26
1500	8.6	62	224	269	11	1075	2.86	23
2000	8.9	68	222	267	5.7	1075	2.03	19
2500	9.1	73	228	275	5.3	1075	1.56	18
3000	9.3	80	240	276	3.7	1100	1.17	18
4000	9.6	92	253	295	4.5	1100	0.95	18

[a] Concentrations are in mg/L, except for pH and where stated otherwise.

[b] Alkalinity and Hardness in mg/L as $CaCO_3$.

Table 5. Jar Test Results for Two Different Experimental Conditions[a].

Experimental Conditions	Fly Ash Dose	pH	Alkalinity[b]	Calcium Hardness	Turbidity (NTU)	Ortho-P	COD
Rapid Mix 20 min. Slow Mix 10 min. Settling 20 min.	0	7.2	51	212	3.2	5.89	25.6
	1000	8.2	61	228	6.8	4.44	17.6
	1500	8.6	61	232	1.8	3.11	
	2000	8.8	64	240	1.4	1.89	12.8
	3000	9.3	77	248	2.2	0.67	11.2
	4000	9.8	97	272	3.8	0.33	11.2
Rapid Mix 2 min. Slow Mix 18 min. Settling 30 min.	1000	8.1	61	224	47	4.44	16.0
	1500	8.4	65	224	27	4.22	12.8
	2000	8.6	68	224	10	3.22	16.0
	2500	8.9	69	228	7.8	2.44	
	3000	9.1	75	240	4.8	1.78	16.0
	4000	9.4	84	248	5.2	1.03	16.0

[a] Concentrations are in mg/L, except for pH and where stated otherwise.

[b] Alkalinity and Hardness in mg/L as $CaCO_3$.

Table 6. Effect of pH and DO on Phosphorus Removal by Fly Ash.

Effect of pH				Effect of DO		
Initial pH	Final pH	Ortho-P (mg/L)	Removal (%)	DO (mg/L)	Ortho-P (mg/L)	Removal (%)
7.5	7.5	15.2	-	4.0	6.4	-
4.0	8.6	3.3	78.3	4.0	1.82	71.8
7.0	9.6	0.8	94.7	6.8	1.10	82.2
10.0	12.2	0.3	98.0			

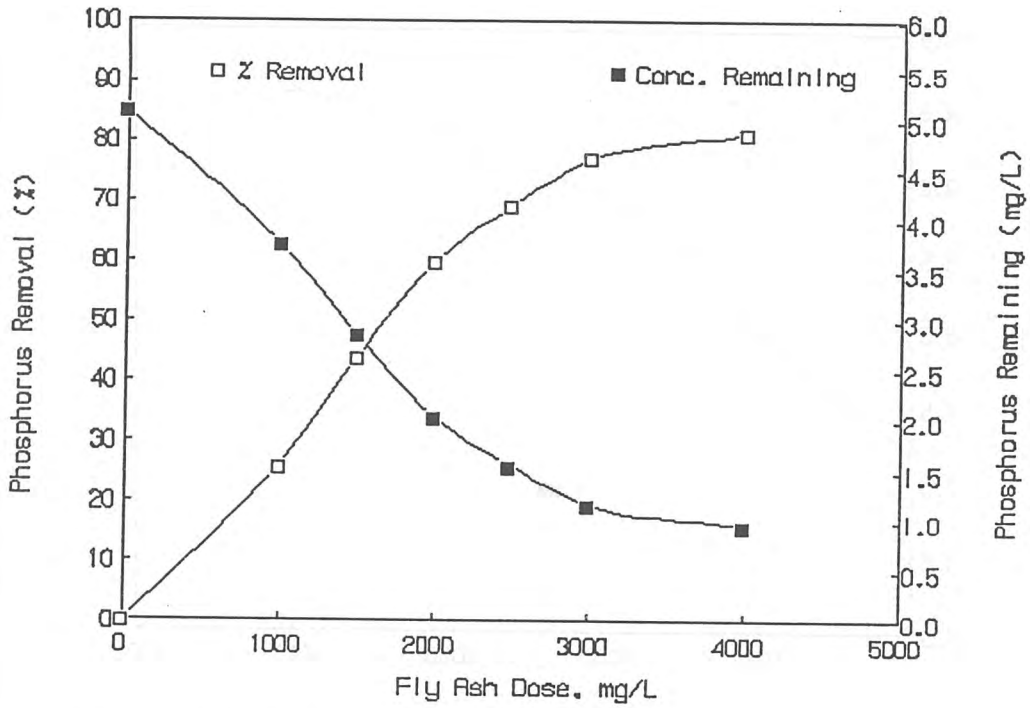


Fig. 1 Removal of Phosphorus as a Function of Fly Ash Dose.

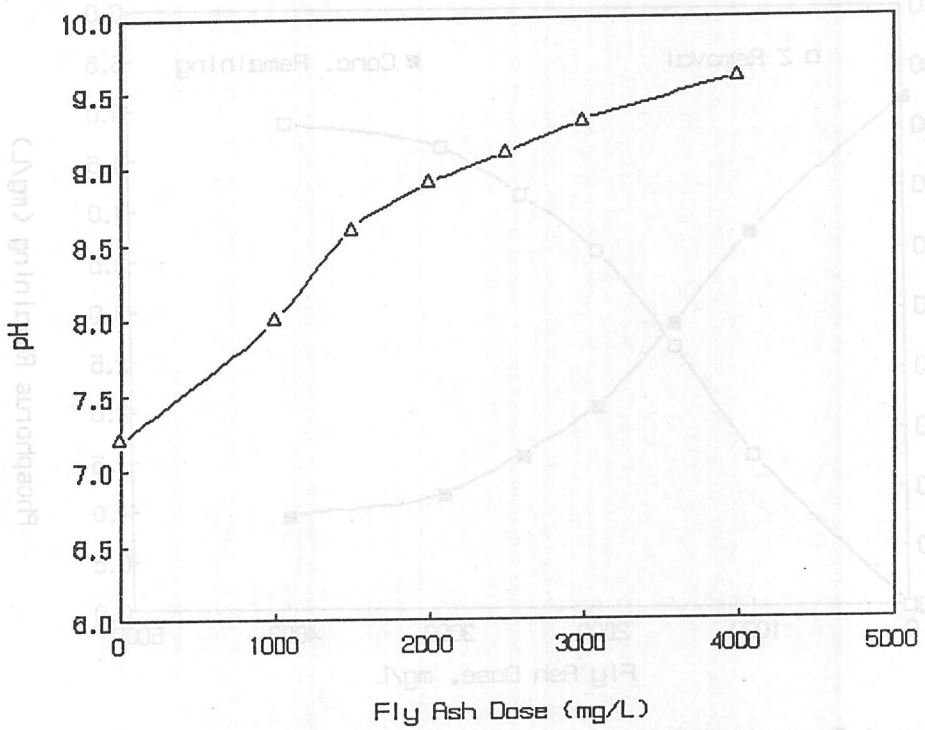


Fig. 2 The Change in Effluent pH Values as a Function of Fly Ash Dose.

Performance Evaluation of

Primary Settling Tanks Using Spreadsheet

Khalid H. Javed and Shamim Ahmad

PERFORMANCE EVALUATION OF PRIMARY SETTLING TANKS USING SPREADSHEETS

Khalid H. Javed, Assistant Professor and Shamim Ahmad, Professor
Faculty of Engineering,
Qatar University, P.O. Box 2713, Doha, Qatar

ABSTRACT

This paper shows the application of spreadsheets in solving a mathematical model, consisting of N perfectly mixed tanks, for dynamic simulation of full scale primary settling tanks. The model has been used to predict the behavior of the primary settling tanks of Doha Sewage Treatment Plant for daily variations in the influent wastewater flowrate and the suspended solids concentration. A comparison is made between the predicted and the actual values of the suspended solids concentration in the effluent stream and the model is statistically evaluated to determine its suitability for dynamic performance evaluation of the primary settling tanks.

INTRODUCTION

1. Perfomance evalaution of primary settling tanks for the removal of suspended solids is important for an efficient overall operation of a sewage treatment plant.

2. There are two types of mathematical models which are used in evaluating the performance of primary settling tanks; dispersion models and lumped parameter-models. The dispersion models consider spatial variation in the suspended solids concentration within the tanks. This variation in solids concentration results from the dispersion of solids by the hydrodynamic flow and therefore these models require a prior knowledge of the velocity field existing in the tank. The resulting model equations are a set of partial differential equations representing the hydrodynamic regime and mass dispersion during the settling process. The task of acquiring solution of these equations is relatively cumbersome and demands a great deal of computational effort and time. Moreover, the model parameters characterizing the solids dispersion need to be evaluated experimentally for the model to be useful. Models of this class are available in the papers by Schramber and Larock (1), Imam et al. (2) and Abdel-Gawad and McCorquodale (3).

3. In the lumped parameter models, the contents of the tank are assumed to be perfectly mixed so that the concentration of the solids throughout the tank is uniform. The spatial variation in the solids concentration as assumed in the dispersion models is thus ignored. The models represent an ideal case of complete mixing inside the tank. The flow characteristics of actual tanks, however, deviate from this ideal assumption. The non-ideal flow resulting from incomplete mixing is represented in the model by considering various flow arrangements (4) of perfectly mixed tanks in series or in parallel to effect the same performance which otherwise would result using tanks with imperfect mixing. The lumped parameter models for primary tanks have been proposed by Alarie et al. (5), and Lessard and Beck (6) for hourly variations in the influent flowrate and the suspended solids concentration. A similar model was

used by Javed and Ahmad (7) using the test data consisting of daily average values of the influent flowrate and the suspended solids concentration for a full scale sewage treatment plant.

4. The mathematical models of either of the two types are traditionally solved numerically using programming languages such as FORTRAN, BASIC or PASCAL. Now, however, since personal computers are almost routinely available, as an essential computational tool, both in industry and teaching environments, the use of spreadsheets is becoming increasingly popular for performing the process engineering calculations. The use of spreadsheets provide an attractive alternative to these languages mainly due to the advantages such as the general availability and accessability of spreadsheets, their user friendly environment and the ease with which they can be used. Another distinct feature of a spresdsheet which makes it a useful tool is its capability to show the details of a calculation. The use of spreadsheets in solving engineering problems has been demonstrated by a number of authors (8,9,10,11,12).

5. This paper solves a lumped parameter model suitable for performance evaluation of full scale primary settling tanks using a spreadsheet programme developed for this purpose. The model considers N theoretical tanks operating in series and it allows for variations in the influent wastewater flowrate and the suspended solids concentration. The model equations are solved numerically using the Euler method implemented on a spreadsheet. The data used in testing the model consists of daily average values of the influent wastewater flowrate and the suspended solids concentration for the primary settling tanks of Doha Sewage Treatment Plant.

MATHEMATICAL MODEL

6. In the model actual primary settling tanks are represented by N theoretical settling tanks with perfect mixing. The tanks operate in series and the outlet stream from any tank, n-1, forms the inlet stream to the following tank, n. The inlet flow rate of the wastewater and the influent concentration of the suspended solids to each tank are considered to be functions of time. The inflow suspended solids are assumed to consist of settleable and non-settleable matter. The following model equations can be written for any tank, n,

$$Q_{n-1}(t) = f_1(t) \quad (1)$$

$$C_{T_{n-1}}(t) = f_2(t) \quad (2)$$

$$C_{A_{n-1}}(t) = a.\ C_{T_{n-1}}(t) \quad (2.a)$$

$$C_{B_{n-1}}(t) = (1-a)\ C_{T_{n-1}}(t) \quad (2.b)$$

$$\underbrace{Q_{n-1}(t)\ C_{A_{n-1}}(t)}_{\text{(inflow)}} - \underbrace{Q_n(t)\ C_{A_n}(t)}_{\text{(outflow)}} - \underbrace{UAC_{A_n}(t)}_{\text{(settling)}} + \underbrace{SUAC_{A_n}(t)}_{\text{(scouring)}} = \underbrace{V_n \frac{dC_{A_n}(t)}{dt}}_{\text{(accumulation)}} \quad (3)$$

$$Q_{n-1}(t)\ C_{B_{n-1}}(t) - Q_n(t)\ C_{B_n}(t) = V_n \frac{dC_{B_n}(t)}{dt} \quad (4)$$

and

$$C_{T_n}(t) = C_{A_n}(t) + C_{B_n}(t) \quad (5)$$

7. Equations 1 and 2 represent the time dependence of the influent flowrate and the total solids concentration in the tank n, respectively. The settleable and non-settleable solids concentrations are described in terms of the settleable fraction, a, and the total solids concentration by equations 2.a and 2.b. The settleable solids component mass balance is presented in equation 3 whereas equation 4 is a component mass balance for non-settleable matter. Equation 5 is to calculate the total concentration of settleable and non-settleable solids in the effluent stream from tank, n. Equations 3 and 4 can be simplified by assuming that the tanks are of equal volume and are operated under constant volume conditions leading to

$$\frac{Q(t)}{V}\left[C_{A_{n-1}}(t) - C_{A_n}(t)\right] - \left[(1 - S)\,UA\,C_{A_n}(t)\right] / V = \frac{dC_{A_n}(t)}{dt} \qquad (3.a)$$

$$\frac{Q(t)}{V}\left[C_{B_{n-1}}(t) - C_{B_n}(t)\right] = \frac{dC_{B_n}(t)}{dt} \qquad (4.a)$$

8. Equations 1-5 constitute the model used in this study for spreadsheet simulation of primary settling tanks using the influent flowrate and the suspended solids concentration data obtained for full scale primary tanks. Equations 3.a and 4.a were solved numerically using the Euler method implemented on Quattro Pro(ver. 3) spreadsheet. For use in the spreadsheet programme, these data were linearly interpolated for instantaneous values of the flowrate and solids concentration within a given interval of time. The value of settling velocity was chosen as 40 m/day and of the settleable fraction as 0.6 on the basis of the previous studies (7,13) for the same plant. The number of tanks in the model was chosen to be 5 as increasing this further showed only marginal effect on the effluent suspended solids concentration. The effect of scouring on the solids concentration was considered to be negligible in accordance with the findings of Alarie et al. (5), Larock et al. (14) and Lessard and Beck (6) who reported that the effect of scouring parameter on the overall removal efficiency is of little significance.

SPREADSHEET PROGRAMME

9. A spreadsheet is made up of rows and columns. The rows are identified by numbers and are labelled down the left side of the screen. The columns are identified by letters and are labelled along the top of the screen. There are 8192 rows and 256 columns in a Quattro Pro spreadsheet. At the junction of any row or column is a cell which is identified by its column and row. The individual cells can contain text, numbers, equations, or logical expressions. The equations can use numbers or text located in other cells. The structure of equations is similar to those found in the traditional programming languages. Spreadsheets can do iterative calculations and therefore are capable of solving equations using numerical methods.

10. Figure 1 shows the developed spreadsheet. The spreadsheet comprises 127 rows and 6 columns (A-F) and is divided into three sections. The first section shows the data, entered in cells A11 through C26, on the influent flowrate and

the suspended solids concentration as a function of time. The difference between the two consecutive data points for each of these three parameters is calculated by the spreadsheet and written in cells D11-F25.

11. In the second section, cells B30-B34 contain formulas to set initial conditions and the step size for integration. The interpolated values for the influennt flowrate and the suspended solids concentration are calculated and written in cells B35 and B36, respectively. The data on various parameters needed in the solution of the model are entered in cells B38-B47.

12. The third section of the spreadsheet performs the integration of the model differential equations, in cells B51-B107. The computed values of the effluent suspended solids concentration are written in cells B114 through C130. Cells A1-A9 and A30-A107 are reserved for titles and the variable names used in the equations. A listing of the formulas entered in the various cells of the spreadsheet are presented in Appendix 1.

13. The spreadsheet in Figure 1 is the final solution obtained after approximately 1200 iterations. The step size for a stable solution was 0.025 and it required 40 iterations to move through one data value. Since Quattro Pro allows a maximum of 255 automatic iterations, the spreadsheet was solved performing 40 iterations at a time.

RESULTS AND DISCUSSION

14. Figure 2 presents the simulated results for the effluent SS concentration as a function of time. The random fluctuation in the effluent SS concentration is as expected since the influent flowrate as well as the influent SS concentration are changing randomly with time. This figure also shows a comparison between the predicted SS values in the effluent and those observed for the actual settling tanks. This comparison shows that the predicted values are generally higher than the corresponding observed values. In general, however, the trend of the predicted curve is similar to that of the observed curve. In the lower range of of SS values the agreement is closer but the data scatter is large in the higher range. The scatter shown was statistically evaluated by comparing the means and the standard deviations of the two data. The calculated values of these statistical parameters are given in Table 1. The higher values of the mean and the standard deviation of the simulated SS values show that the model predicts higher values. The standard deviation of the model values from the observed SS data was calculated to be 21.7, indicating that for an observed value of 100 the absolute difference between the model and the observed values will be 21.7 percent.

CONCLUSIONS

15. An application of spreadsheets in solving a mathematical model for dynamic simulation of primary settling tanks has been illustrated. A lumped parameter model, consisting of N well mixed tanks has been used for predicting the behaviour of full scale primary settling tanks of Doha Sewage Treatment Plant, for daily variations in the influent wastewater flowrate and the suspended solids concentration. The model has been statistically evaluated and it was found to predict higher values with a standard deviation of 21.7 from the observed data.

SYMBOLS USED

A	cross sectional area, (m^2)
a	settleable solids fraction
C_A	settleable solids concentration (mg lit^{-1})
C_B	non-settleable solids concentration (mg lit^{-1})
C_T	total solids concentration (mg lit^{-1})
N	total number of tanks
Q	flowrate ($m^3 day^{-1}$)
S	scouring parameter
SS	suspended solids concentration (mg lit^{-1})
t	time (day)
U	settling velocity (m day^{-1})

REFERENCES

(1). Schramber, D.R. and Larock B.E., Particle Concentration Predictions in Settling Basins, J. Envir. Eng., ASCE, 1983, 753-862.

(2). Imam E., McCorquodale J.A. and Betwara J.K., Numerical Modelling of Sedimentation Tanks, J. of Hyd. Eng., ASCE, 1983, 1740-1754.

(3). Abdel-Gawad S.M. and McCorquodale J.A., Numerical Simulation of Rectangular Settling Tanks, J. Hyd. Research, 1985, 85-100.

(4). Levenspiel O., Chemical Reaction Engineering, 2nd Ed. (J. Wiley and Sons, New York), 1972.

(5). Alarie R.L., McBean E.A. and Farquhar G.J., Simulation Modelling of Primary Clarifiers, J. Envir. Eng., ASCE, 1980, 293-309.

(6). Lessard P. and Beck M.B., Dynamic Modelling of Primary Sedimentation, J. Envir. Eng., ACSE, 1988, 753-769.

(7). Javed K.H. and Ahmad S., Computer Simulation of Primary Settling Tanks, Trans. Inst. Chem. Engrs. (Part B), 1991, 107-111.

(8). Selk S., Spreadsheet Software Solves Engineering Problems, Chemical Engineering, June 27, 1983, 51-53.

(9). Sowa C.J., Engineering Calculations on a Spreadsheet, Chemical Engineering, March 2, 1987, 61-67.

(10). Julian F.M., Process Modelling on Spreadsheets, Chemical Engineering Progress, Oct., 1989, 33-40.

(11). Frey D.D., Numerical Simulation of Multicomponent Chromatography Using Spreadsheets, Chemical Engineering Education, Fall, 1990, 204-207.

(12). Rosen E.M., The Use of Lotus 1-2-3 Macros in Engineering Calculations, Chemical Engineering Education, Spring, 1990, 100-105.

(13). Ahmad, S., Javed K.H. and Murad M., Full Scale Performance of Primary Settling Tanks, Eng. J. of Qatar Univ., 1989, 187-200.

(14). Larock B.E., Chun W.K. and Schramber D.R., Computation of Sedimentation Basin Behaviour, Water Res., 1983, 861-867.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the help given by the Drainage Division, Ministry of Public Works and Industries, State of Qatar.

Statistical Parameter	Observed SS	Simulated SS
Mean	83.5	93.0
Standard Deviation	19.7	24.9

Table 1. Statistical Comparison of Simulated and Observed Values

PERFORMANCE EVALUATION
OF PRIMARY SETTLING TANK
USING SPREADSHEETS

SECTION 1

T(I) TIME
Q(I) FLOWRATE
SSIN(I) SOLIDS CONC.

T(I)	Q(I)	SSIN	T(I+1)-T(I)	Q(I+1)-Q(I)	SS(I+1)-SS(I)
1	52000	200	1	0	-82
2	52000	118	3	-1000	64
5	51000	182	1	0	-29
6	51000	153	2	1000	41
8	52000	194	1	2200	-72
9	54200	122	3	-800	118
12	53400	240	1	400	-90
13	53800	150	3	-1400	20
16	52400	170	4	-600	101
20	51800	271	2	-1800	-71
22	50000	200	1	800	-10
23	50800	190	3	0	10
26	50800	200	1	2600	80
27	53400	280	2	2200	-79
29	55600	201	1	400	49
30	56000	250			

SECTION 2

INITIATOR	1
COUNTER	1120
INITIAL T	1
TIME	29
DELTA	0.025
Q	55600
TSSIN	201

TANK VOL.,V,M3	6720
TANK AREA,A,M2	2280.8
SETTLEABLE FRACTION,A1	0.66
SCOURING PARAMETER,A2	0
SETTLING VELOCITY, M/DAY	40
NO. OF TANKS	5
FLOWRATE,M3/DAY	55600
RESIDENCE TIME	0.02417266187
INLET TSS	201
P	13.5761904762

SECTION 3

INLET SS CONC.

CSI	132.66
CNI	68.34
CTI	201

OUTLET SS CONC.

CSO1	99.7514101651
CSO2	75.0087024582
CSO3	56.4050276524
CSO4	42.4167638643
CSO5	31.8985391745
CNO1	68.3288835302
CNO2	68.3177617392
CNO3	68.3066346247
CNO4	68.2955021844
CNO5	68.2843644158
CT1	168.080293695
CT2	143.326464197
CT3	124.711662277
CT4	110.712266049
CT5	100.18290359

CALCULATE DERIVATIVES

CSOD1	-19.144225719
CSOD2	-14.050820393
CSOD3	-10.306720264
CSOD4	-7.5558117757
CSOD5	-5.5356610656
CNOD1	-13.436428757
CNOD2	-13.442860384
CNOD3	-13.449294881
CNOD4	-13.45573225
CNOD5	-13.462172491

EULER INTEGRATION

CSO1	99.7514101651
CSO2	75.0087024582
CSO3	56.4050276524
CSO4	42.4167638643
CSO5	31.8985391745
CNO1	68.3288835302
CNO2	68.3177617392
CNO3	68.3066346247
CNO4	68.2955021844
CNO5	68.2843644158
CT1	168.080293695
CT2	143.326464197
CT3	124.711662277
CT4	110.712266049
CT5	100.18290359
TIME+DELTA	29

RESULTS

TIME	Q	SSCAL
1	52000	0
2	52000	57.19605
5	51000	87.94283
6	51000	73.85342
8	52000	94.48549
9	54200	59.98584
12	53400	118.2032
13	53800	73.55067
16	52400	83.00527
20	51800	131.7618
22	50000	95.83435
23	50800	91.62877
26	50800	96.46175
27	53400	138.111
29	55600	100.1829

Figure 1. The Developed Spreadsheet

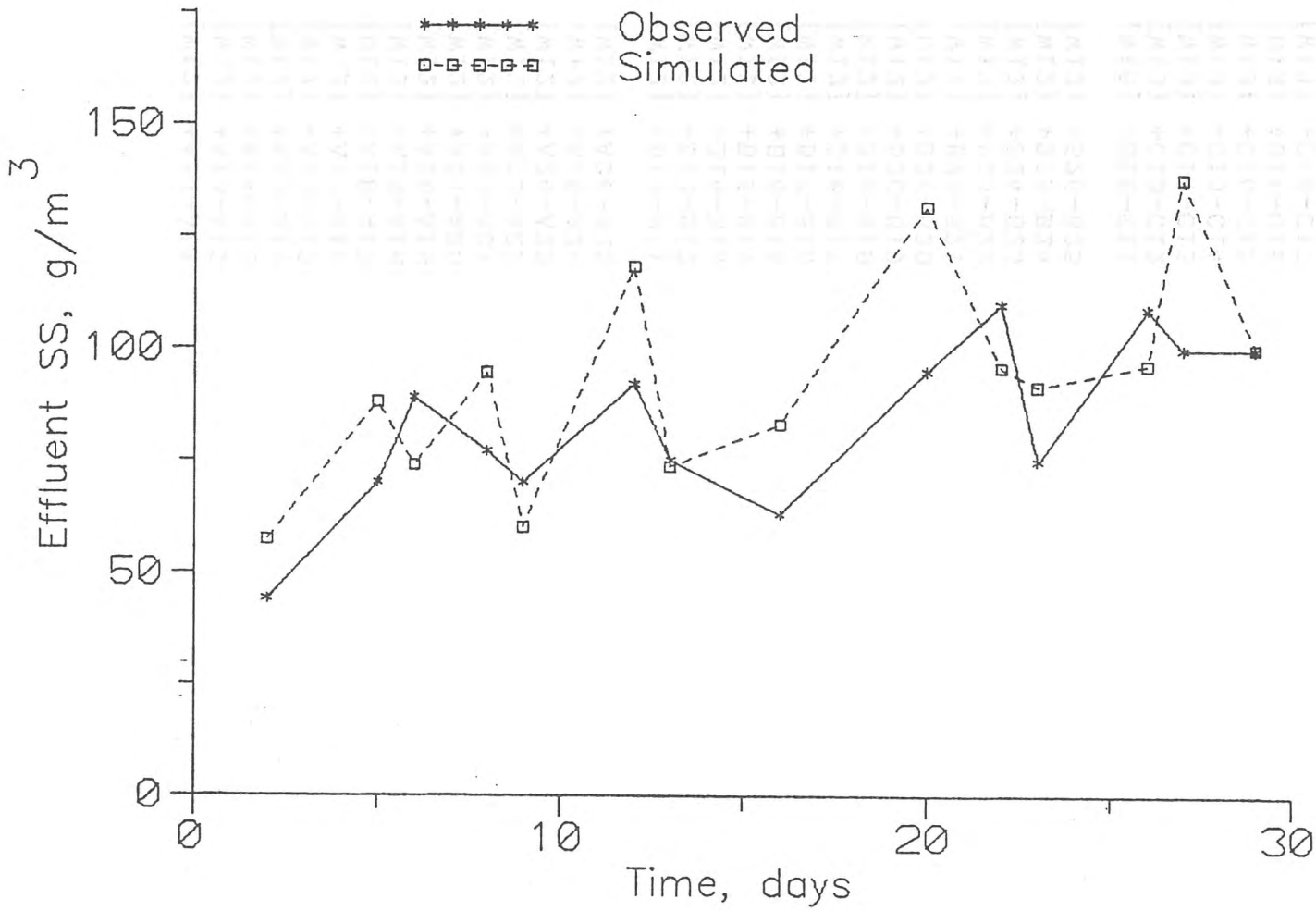


Figure 2. Comparison of Observed and Simulated SS

Appendix 1

```
D11:  [W12]  +A12-A11
D12:  [W12]  +A13-A12
D13:  [W12]  +A14-A13
D14:  [W12]  +A15-A14
D15:  [W12]  +A16-A15
D16:  [W12]  +A17-A16
D17:  [W12]  +A18-A17
D18:  [W12]  +A19-A18
D19:  [W12]  +A20-A19
D20:  [W12]  +A21-A20
D21:  [W12]  +A22-A21
D22:  [W12]  +A23-A22
D23:  [W12]  +A24-A23
D24:  [W12]  +A25-A24
D25:  [W12]  +A26-A25

E11:  [W12]  +B12-B11
E12:  [W12]  +B13-B12
E13:  [W12]  +B14-B13
E14:  [W12]  +B15-B14
E15:  [W12]  +B16-B15
E16:  [W12]  +B17-B16
E17:  [W12]  +B18-B17
E18:  [W12]  +B19-B18
E19:  [W12]  +B20-B19
E20:  [W12]  +B21-B20
E21:  [W12]  +B22-B21
E22:  [W12]  +B23-B22
E23:  [W12]  +B24-B23
E24:  [W12]  +B25-B24
E25:  [W12]  +B26-B25

F11:  [W13]  +C12-C11
F12:  [W13]  +C13-C12
F13:  [W13]  +C14-C13
F14:  [W13]  +C15-C14
F15:  [W13]  +C16-C15
F16:  [W13]  +C17-C16
F17:  [W13]  +C18-C17
F18:  [W13]  +C19-C18
F19:  [W13]  +C20-C19
F20:  [W13]  +C21-C20
F21:  [W13]  +C22-C21
F22:  [W13]  +C23-C22
F23:  [W13]  +C24-C23
F24:  [W13]  +C25-C24
F25:  [W13]  +C26-C25
```

```
    B30: [W14] 1
    B31: [W14] @IF(B30=0,0,B31+1)
    B32: [W14] 1
    B33: [W14] @IF(B31=0,B32,B107)
    B34: [W14] 0.025
    B35: [W14] @VLOOKUP(B33,A11..F26,1)+(B33-@VLOOKUP(B33,A11..F26,0))/@VLOOKUP(
B33,A11..F26,3)*@VLOOKUP(B33,A11..F26,4)
    B36: [W14] @VLOOKUP(B33,A11..F26,2)+(B33-@VLOOKUP(B33,A11..F26,0))/@VLOOKUP(
B33,A11..F26,3)*@VLOOKUP(B33,A11..F26,5)
    B38: [W14] 6720
    B39: [W14] 2280.8
    B40: [W14] 0.66
    B41: [W14] 0
    B42: [W14] 40
    B43: [W14] 5
    B44: [W14] +B35
    B45: [W14] +B38/(5*B44)
    B46: [W14] +B36
    B47: [W14] (1-B41)*B42*B39/B38
    B53: [W14] +B40*B46
    B54: [W14] (1-B40)*B46
    B55: [W14] +B53+B54
    B59: [W14] @IF(B$33=1,0,B91)
    B60: [W14] @IF(B$33=1,0,B92)
    B61: [W14] @IF(B$33=1,0,B93)
    B62: [W14] @IF(B$33=1,0,B94)
    B63: [W14] @IF(B$33=1,0,B95)
    B64: [W14] @IF(B$33=1,0,B96)
    B65: [W14] @IF(B$33=1,0,B97)
    B66: [W14] @IF(B$33=1,0,B98)
    B67: [W14] @IF(B$33=1,0,B99)
    B68: [W14] @IF(B$33=1,0,B100)
    B70: [W14] +B59+B64
    B71: [W14] +B60+B65
    B72: [W14] +B61+B66
    B73: [W14] +B62+B67
    B74: [W14] +B63+B68
    B76: [W14] '
    B78: [W14] (B53-B59)/B$45-B$47*B59
    B79: [W14] (B59-B60)/B$45-B$47*B60
    B80: [W14] (B60-B61)/B$45-B$47*B61
    B81: [W14] (B61-B62)/B$45-B$47*B62
    B82: [W14] (B62-B63)/B$45-B$47*B63
    B83: [W14] (B54-B64)/B$45
    B84: [W14] (B64-B65)/B$45
    B85: [W14] (B65-B66)/B$45
    B86: [W14] (B66-B67)/B$45
    B87: [W14] (B67-B68)/B$45
    B91: [W14] +B59+B78*B$34
    B92: [W14] +B60+B79*B$34
```

```
B93:  [W14] +B61+B80*B$34
B94:  [W14] +B62+B81*B$34
B95:  [W14] +B63+B82*B$34
B96:  [W14] +B64+B83*B$34
B97:  [W14] +B65+B84*B$34
B98:  [W14] +B66+B85*B$34
B99:  [W14] +B67+B86*B$34
B100:  [W14] +B68+B87*B$34
B102:  [W14] +B91+B96
B103:  [W14] +B92+B97
B104:  [W14] +B93+B98
B105:  [W14] +B94+B99
B106:  [W14] +B95+B100
B107:  [W14] +B$33+B$34
B111:  [W14] ^Q
B113:  [W14] @IF(B$31=((A113*40)-40),B$35,B113)
B114:  [W14] @IF(B$31=((A114*40)-40),B$35,B114)
B115:  [W14] @IF(B$31=((A115*40)-40),B$35,B115)
B116:  [W14] @IF(B$31=((A116*40)-40),B$35,B116)
B117:  [W14] @IF(B$31=((A117*40)-40),B$35,B117)
B118:  [W14] @IF(B$31=((A118*40)-40),B$35,B118)
B119:  [W14] @IF(B$31=((A119*40)-40),B$35,B119)
B120:  [W14] @IF(B$31=((A120*40)-40),B$35,B120)
B121:  [W14] @IF(B$31=((A121*40)-40),B$35,B121)
B122:  [W14] @IF(B$31=((A122*40)-40),B$35,B122)
B123:  [W14] @IF(B$31=((A123*40)-40),B$35,B123)
B124:  [W14] @IF(B$31=((A124*40)-40),B$35,B124)
B125:  [W14] @IF(B$31=((A125*40)-40),B$35,B125)
B126:  [W14] @IF(B$31=((A126*40)-40),B$35,B126)
B127:  [W14] @IF(B$31=((A127*40)-40),B$35,B127)

C113:  [W9] @IF(B$31=((A113*40)-40),B$106,C113)
C114:  [W9] @IF(B$31=((A114*40)-40),B$106,C114)
C115:  [W9] @IF(B$31=((A115*40)-40),B$106,C115)
C116:  [W9] @IF(B$31=((A116*40)-40),B$106,C116)
C117:  [W9] @IF(B$31=((A117*40)-40),B$106,C117)
C118:  [W9] @IF(B$31=((A118*40)-40),B$106,C118)
C119:  [W9] @IF(B$31=((A119*40)-40),B$106,C119)
C120:  [W9] @IF(B$31=((A120*40)-40),B$106,C120)
C121:  [W9] @IF(B$31=((A121*40)-40),B$106,C121)
C122:  [W9] @IF(B$31=((A122*40)-40),B$106,C122)
C123:  [W9] @IF(B$31=((A123*40)-40),B$106,C123)
C124:  [W9] @IF(B$31=((A124*40)-40),B$106,C124)
C125:  [W9] @IF(B$31=((A125*40)-40),B$106,C125)
C126:  [W9] @IF(B$31=((A126*40)-40),B$106,C126)
C127:  [W9] @IF(B$31=((A127*40)-40),B$106,C127)
```

دراسة أثر الحقن الكيميائي باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على تولد وانبعاث الروائح الكريهة من مرافق الهندسة الصحية

تمامة حسين عبدالله، جميلة حسين عبدالله، مامتا تومار

دولـة الكـويـت
وزارة الاشغـال العـامة

دراسة اثر الحقن الكيميائي باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على توالد وانبعاث الروائح الكريهة من مرافق الهندسة الصحية

الرمز ١ / ع

الهندسة الصحية - ادارة الشبكات - وحدة المتابعه والابحاث

دراسة اثر الحقن الكيميائي بأستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على تولد وانبعاث الروائح الكريهة من مرافق الهندسة الصحية

- تمامة حسين عبدالله « رئيسة وحدة المتابعة »
- جميلة حسين عبدالله « مسئولة المختبر / وحدة المتابعة »
- مامتا تومار « مسئولة الدراسات / وحدة المتابعة »
(وزارة الاشغال العامة - الهندسة الصحية - ادارة الشبكات - دولة الكويت)

الخلاصة :

هذه الدراسة تبحث كيفية السيطرة على الروائح الكريهة المنبعثة من شبكة المجاري الصحية ومحطات الرفع والضخ بدولة الكويت وذلك بمعالجتها من مصادرها اي السيطرة على الكبريتيدات المذابة في مياه المجاري باستخدام مواد مؤكسده فعاله والدراسة تمت على مرحلتين :

المرحلة الاولى :

اكسده الكبريتيدات في خطوط الضخ باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم

اجريت الدراسة على محطة ضخ رئيسية (A14) وقد أدى الحقن الى تناقص في تركيز الكبريتيدات المذابه حوالي (٥٥ ٪) وفي انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين حوالي (٦٤ ٪) .

المرحلة الثانية :

اكسده الكبريتيدات في خطوط الجاذبية .

١) باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم

٢) باستخدام الحقن المزدوج .

اجريت الدراسة على محطتي رفع لولبيه (S13) ، (S14) وقد ادى الحقن بهاتين الطريقتين الى تناقص في تركيز الكبريتيدات المذابه حوالي (٤٦ ٪) ، (٥٧ ٪) تباعا وفي انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين (٤٥ ٪) ، (٧٠ ٪) تباعا مما ساعد في السيطرة على الروائح الكريهة في منطقة الدراسة .

١) مقدمة :-

١-١ إن الأختزال الميكروبي للكبريتات الى كبريتيدات في شبكه المجاري الصحيه هي مشكله دوليه بسبب ما ينتج من روائح كريهه ومما تسببه من مضايقات للسكان لتأثيرها الضار على الصحة العامة ، بالأضافة الى ما تسببه من تآكل في الشبكات ومايترتب عليه من الحاجه الى الصيانه المستمرة والتكاليف الباهظه التي تحتاج اليها.

١-٢ وفي الكويت فان هذه المشكله - انبعاث الروائح الكريهه والتآكل في الخطوط - قد وصلت الى مرحلة الخطر بسبب التركيزات المرتفعة للكبريتيدات المذابه والباراميتر الآخرى وهذا ناتج من عده أسباب أهمها :-

١-٢أ بطء حركة المياه في خطوط المجاري وهي تنبع أساسا من قله الميول في الخطوط بسبب طبوغرافيه الارض في الكويت حيث انبساط السطح وقله الميول ، لأن الميول المناسبة تؤدي الى تنظيف الخطوط تلقائيا من الترسبات بسبب سرعه جريان المياه المناسبة وبالتالي تقلل من عمليات التنظيف والصيانة الدورية اللازمة لمنشآت الهندسة الصحية ، وفي الوقت ذاته تقلل من فرص تعفن المياه وانبعاث الروائح الكريهه منها .

١-٢ب درجة حرارة الجو المرتفعه بسبب الطبيعه الصحراويه لدولة الكويت وهذا يزيد من نشاط البكتيريا اللاهوائية والمتواجدة في الشبكه المجاري مما يزيد من انبعاث الغازات الكريهه .

١-٢ج هذا بالاضافه الى ارتفاع تركيز الكبريتات في مياه الشرب تصل الى ١٧٠ملجم/لتر.

كل هذا يخلق بيئة جيده لتولد غازات المجاري الكريهه والجدول رقم (١) يبين مواصفات مياه المجاري بدولة الكويت .

١-٣ وقد اتخذت خطوات عديده للسيطرة على الروائح المنبعثه من مرافق الهندسة الصحية فعلى سبيل المثال التنظيف الدوري لشبكات المجاري كما تم تركيب أبراج اكسده كيميائيه في محطات الضخ والتنقيه لمعالجة الروائح المنبعثه وتزويد محطات الرفع بمرشحات كربونيه بالاضافة الى معدات التهوية في غرف البياره بمحطات الرفع وغيرها والتي ساعدت الى حد ما في السيطره علي الروائح المنبعثه ولكن ما زالت الشكوي مستمره .

١-٤ وغاز كبريتيد الهيدروجين هو أكثر غازات المجاري شيوعا وأكثرها سمية وهو غاز رائحته كريهه تشبه رائحه البيض الفاسد ويمكن شمه عند تركيزات منخفضه تصل الى ٠.٠٠٢ ج / م [١] هذا بالاضافه الي المركبات الاخرى ذات الرائحة الكريهه مثل الامونيا ، المركبتان ، الاسكتيول وغيرها . وجميع هذه المركبات تنتج بسبب التعفن اللاهوائي للمواد العضوية وغير العضويه المتواجده في مياه المجاري.

٢) خطه الدراسة :-

٢-١ المرحلة الاولى من الدراسة في خطوط الضخ (شكل رقم ١أ)
٢-٢-أ أجريت التجربه على محطة ضخ رئيسيه A14 والتي تصب في غرفه التحويل بواسطة خط ضخ طوله ٣.٦٦٠ متر مصنوع من الداكتيل ثم تتحول الي خط جاذبيه في غرفه التحويل وتندمج مع خط جاذبيه آخر لتصب في محطة ضخ رئيسيه A15 وتستقبل محطه A14 ما يقارب ٥٠.٠٠٠ متر مكعب باليوم من مياه المجاري بتركيز يعادل ١٨ملم/لتر من الكبريتيدات المذابه .

٢-١ب تم جمع العينات من محطه A14 ، غرفة التحويل ومحطه A15 على فترتين خلال اليوم أثناء الذروه ، وأجريت التحاليل المخبرية الخاصة بالكبريتيدات المذابة ، الأكسجين الكيميائي المطلوب ، الأمونيا والدهون وذلك قبل وبعد الحقن ، كما قيس إنبعاث كبريتيد الهيدروجين عند كل نقطة جمع عينات قبل وبعد الحقن .

٢-١ج نقاط الحقن أختيرت في غرفة تفتيش المياه الداخلة وفي مصيدة الرمال لمحطة A 14 .

٢-٢ المرحلة الثانية : أكسدة الكبريتيدات في خطوط الجاذبية بإستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم وبإستخدام الحقن المزدوج (محلول هيدروكسيد الصوديوم ومحلول هيبوكلورات الصوديوم) (شكل رقم١ب) .

٢-٢أ أجريت التجربة على محطة رفع لولبية S 14 والتي تدفع مياه المجاري عن طريق خط جاذبية مصنوع من مادة الأسبست طوله ١.٥٠٥ متر الى المحطة اللولبية S 13 وهذه تصب في محطة الضخ الرئيسية A 2 بخط جاذبية طوله ٢.٣١٢ متر ، وتستقبل محطة S14 ما يقارب من ١٠.٠٠٠ متر مكعب باليوم من مياه المجاري بتركيز يعادل ٨ ملجم / لتر من الكبريتيدات المذابة و المحطة مزودة بعدد ٢ مرشح كربوني صغير حر الإنسياب لمعالجة الروائح المنبعثة من المحطة ، أما محطة S 13 فتستقبل ما يقارب ٢٥.٠٠٠ متر مكعب باليوم من مياه المجاري بتركيز يعادل ١٠ملجم/لترمن الكبريتيدات المذابة والمحطة مزودة بعدد ٢ مرشح كربوني مزدوج لمعالجة الروائح المنبعثة من المحطة .

٢-٢ب تم تجميع العينات من مخارج محطة S 13 , S14 ومدخل محطة الضخ الرئيسية A2 على فترتين خلال اليوم أثناء الذروة وأجريت التحاليل المخبرية كما في ٢-٢أ .

٢-٢ج أختيرت نقطة حقن محلول هيدروكسيد الصوديوم في مدخل غرفة البيارة بمحطة S 13 أما نقاط حقن هيبوكلورات الصوديوم فقد أختيرت في غرفة البيارة بمحطة S 13 , S 14 .

٣) المواد المستخدمة وطرق التحليل المخبري :-

٣-١ المواد المستخدمة :

- محلول هيبوكلورات الصوديوم (NaOCl) متوفر تجاريا بتركيز ٦ ٪ ويحتوي على ٥٠ ٪ كلور فعال .
- محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) متوفر تجاريا بتركيز ٥٠ ٪

وتنتج هذه المواد محليا في شركة البتروكيماويات الكويتية (PIC) أما باقي المواد الكيميائية المستخدمة في التحاليل المخبرية فهي من درجة الجودة التحليلية .

٣-٢ كميات مواد الحقن :

٣-٢أ في خطوط ضخ محطة A 14 (الشكل رقم ١أ)

معدل مياه الصرف اليومي	٥٠.٠٠٠ مترمكعب
معدل تركيز الكبريتيدات المذابة	١٨ ملجم / لتر
الكبريتيدات المذابة الكلية	٩٠٠ كجم / يوم
الجرعة الكلية لمحلول هيبوكلورات الصوديوم	٨٣٤ لتر / يوم
مقدار الجرعة تبعا لكمية المياه	١ ملجم / لتر

٣-٢ب في خطوط الجاذبية محطة S 14 (شكل رقم ١ب)

معدل مياه الصرف اليومي	١٠.٠٠٠ مترمكعب
معدل تركيز الكبريتيدات المذابة	٨ ملجم / لتر
الكبريتيدات المذابة الكلية	٨٠ كجم / يوم
الجرعة الكلية لمحلول هيبوكلورات الصوديوم	١٤٠ لتر / يوم
مقدار الجرعة تبعا لكمية المياه	٠.٨٤ ملجم / لتر

٣-٢ج في محطة S 13 (شكل رقم ١ب)

معدل مياه الصرف اليومي	٢٥.٠٠٠ متر مكعب
معدل الكبريتيدات المذابه	١٥ ملجم/لتر
الكبريتيدات المذابه الكليه	٢٥٠ كجم/يوم
الجرعه الكليه لمحلول هيبوكلورات الصوديوم	١٩٢٠ لتر/يوم
مقدار الجرعه تبعا لكمية المياه	٤.٦ ملجم/لتر
مقدار الجرعه عند حقن محلول هيدروكسيد الصوديوم	٢.٣ ملجم/لتر

٣-٢د حقن محلول هيدركسيد الصوديوم لرفع الاس الهيدروجيني من ٧.٥ الى ١٠-١٠.٥ تقريبا ولمده خمس ساعات يوميا يعادل ٤٨٦ لتر وكان الحقن يتم في فترة المساء عندما تكون الخطوط شبه خاليه من المياه .

٣-٣ أما بالنسبة لحقن المواد الكيميائية فقد أستخدم نظام يتكون من

٣-٣أ مضخات حقن PROMINET سعه ١٢٠ لتر/ساعه عدد ٢

سعه ٧٥ لتر/ساعه عدد ٤

سعه ٦.٦ لتر/ساعه عدد ٣

٣-٣ب خزانات خاصه للمواد الكيميائيه

تم تثبيت المضخات في نقاط معينه بحيث تسحب المواد الكيميائية بواسطه أنابيب خاصه وتضخها في الخطوط بالكميه المطلوبه .

٣-٤ طرف التحليل المخبري :

قياس درجة انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين في الهواء ، باستخدام انابيب دريجر (DRAGER) وجهاز سيبر (SABRE TOXIGNARD)للكشف عن الغازات .

- تركيز الكبريتيدات المذابه قيست باستخدام الطريقه الايودوميتريه .
- تركيز الاكسجين الكيميائي المطلوب (COD) تم قياسه باستخدام طريقه ارتداد ثنائي الكرومات .
- الدهون باستخدام طريقة الاستخلاص .
- المواد الصلبه العالقه قيست بطريقة الترشيح وهذه الطريقه جميعها تعتمد على العياريه الامريكية [٢] .

وقد جمعت العينات على فترتين باليوم صباحا ومساء خلال الذروه وحللت في مجاميع مزدوجه .

٤) النتائج

٤-١ نتائج التحليل المخبري :

٤-١ أ تم دراسة اثر حقن هذه المواد كل على حده على نطاق مخبري اولا على الكبريتيدات المذابه والنتائج مسجله في (جدول رقم ٢)والنسب المضافه في الجدول تحقق النسبه الجزيئيه ١:١ من الكبريتيدات المذابه الى محلول هيبوكلورات الصوديوم عند الاس الهيدروجيني ٧.٦ وهي تعطي تناقص ١٠٠ ٪ في الكبريتيدات المذابه بمياه المجاري ، كما كان للحقن تاثير على مواصفات المياه الاخرى دون اي تغيير في الاس الهيدروجيني لمياه المجاري .

٤-١ ب عند استخدام الهيبوكلورات مع محلول هيدروكسيد الصوديوم وجد ان النسبه تصبح ١:٥.٠ من الكبريتيدات المذابه الى هيبوكلورات الصوديوم وهي نسبه كافيه للحصول على ١٠٠ ٪ تناقص في الكبريتيدات المذابه ، هذا بالاضافه الى تأثيرها الواضح على ترسب المواد الصلبه العالقه تاركه مياه مجاري صافيه .

٤-٢- نتائج التجريب الحقلي :

٤-٢ أ في خطوط الضخ (الطرد) :

اظهرت نتائج الحقن الكيميائي تناقصا واضحا في تركيز الكبريتيدات وفي انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين كما هو مبين في (جدول رقم ٣) ففي محطة A 14 وصل التناقص الى ٥٥ ٪ ، ٦٤ ٪ تباعا ، كما لوحظ التناقص في البراميتر الاخرى ،اما في غرفة التحويل فقد كان التناقص اقل حيث وصل الى ٢٦ ٪ في الكبريتيدات المذابه والى ٦٢ ٪ في انبعاث الغاز ، وفي محطة A 15 لم يكن التناقص ملحوظا .

٤-٢ ب في خطوط الجاذبيه :

كانت نتائج الحقن باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم جيده ووصل التناقص في الكبريتيدات المذابه في محطة S 13 الى ٤٦ ٪ اما في حالة الحقن المزدوج فارتفعت الى ٥٧ ٪ بنفس التركيز لمحلول الهيبوكلورات ووصل التناقص في إنبعاث الغاز الى ٤٥ ٪ وارتفع مع الحقن المزدوج ليصل الى ٧٠ ٪ كما هو مبين في (جدول رقم ٣) .

٤-٢ ج كما لوحظ أن استهلاك الكربون المنشط في محطة S 13 قد انخفض بصورة واضحة وزاد العمر الزمني للكربون المنشط ، فقد كان يتم تغيير الكربون في فترة زمنية من ١٠ - ٣٠ يوم ولكن بعد إجراء التجربة الحقلية زادت الفترة الزمنية لتصل الى أربعة شهور تقريبا .

٤-٢ د لوحظ ان المواد الصلبه الداخله للمحطة S 13 اقل منها في المياه الخارجه من المحطة قبل الحقن اي ان هذه المواد يترسب بعضها في غرفة البياره بالمحطة كما هو مبين في (جدول رقم ٤) ووصل التناقص الى ٥٠ ٪ ولكن بعد الحقن لوحظ ان هذه المواد تزيد في المياه الخارجه عنها في الداخله بنسبة ٥٠ ٪ في الخمسة ايام الاولى ثم بدأت تقل ثانية .

٥) تفسير النتائج :

٥-١ هيبوكلورات الصوديوم عامل مؤكسد قوي وعندما يتأين يحرر أيون الهيبوكلوروس كما في المعادلة

$$\{ NaOCl \quad <=========> \quad Na^+ + OCl^- \} \quad ..... \quad (٥-١ م)$$

وهذا الأيون يتفاعل مع كبريتيد الهيدروجين ويحوله الى الكبريت أو الكبريتات كما في المعادلات التالية

$$\{ H_2S + OCl^- \text{-------}> S + H_2O + Cl^- \quad (pH < 7.5)\} \quad (٥-٢ م)$$

$$\{ H_2S + 4\ OCl^- \text{------}> (SO_4)^{-2} + 2\ H^+ + 4\ Cl^- \quad (pH > 7.5)\} \quad (٥-٣ م)$$

وطبقا للمعادلتين (٥-٢ م) ، (٥-٣ م) فان كل جرام من الكبريتيدات يحتاج الى ٥ر١ و ١ر٦ جم من أيون الهيبوكلوروس للأكسدة الكاملة [٣] وفي محطة A 14 كان الأس الهيدروجيني ٢ر٧ ولكن لوحظ ان تركيز ٥ر٠ ملجم/لتر من أيون الهيبوكلوروس كان فعالا في السيطرة على إنبعاث الروائح وعلى تركيز الكبريتيدات المذابة في مياه المجاري بمحطة A 14 بنسبة ٦٤ ٪ ، ٥٥ ٪ تباعا وبنسبة ٥ر٦٢ ٪ ، ٢٦ ٪ في غرفة التحويل تباعا .

٥-٢ يمكننا تفسير ذلك كالآتي

٥-٢أ ان الفتره الزمنيه التي تستغرقها مياه المجاري في خط الضخ من محطه A14 الي غرفه التحويل تعادل ١ر٢٧ ساعه طبقا للحسابات التاليه

طول خط الضخ = ٣ر٦٦٠ متر

سرعة الجريان = ٠ر٨٠ متر / ثانيه

$$\text{زمن بقاء المياه في الخط} = \frac{٣,٦٦٠}{٦٦ * ٦٠ * ٠,٨} = ١,٢٧ \text{ساعة}$$

وهذه الفتره كافيه للتفاعل بين ايونات الهيبوكلوروس والكبريتيدات المذابه بالاضافه الى ان خط الضخ خط مغلق بكامله اي ان نسبة فقد أيونات الهيبو كلوروس يمكن اعتبارها شبه معدومة .

٥-٢ ب هيبوكلورات الصوديوم يعمل كمبيد للجراثيم اذا تواجد بكمية اقل من الكلور المطلوب للاكسده ، وبهذا يكون فعال في السيطرة على نشاط البكتيريا مختزله الكبريتات [٤] وهذا يمكن ان يكون السبب في وجهة نظرنا للسيطره على الكبريتيدات المذابه بهذا التركيز المنخفض .

٥-٢ج ذكر بالتقارير [٥]ان الخلط الجيد للكلور مع مياه المجاري يمكن تحصيله اذا حقن الهيبوكلورات في شلال مائي يعادل ٠,٣ متر وفي هذه التجربه نقاط الحقن تعطي ارتفاع يتراوح بين ٠,٥ - ١,٠ متر .

٥-٢ د بالاشاره الى ٤-٢ أ لم يظهر تناقص ملحوظ على تركيز الكبريتيدات بسبب الخطوط الداخله الى غرفة التحويل والى محطة A 15 والتي تؤدي الى تخفيف تركيز مادة الحقن . (شكل رقم ١أ) .

٥-٣ زيدت جرعة المواد الكيميائية التي حقنت في خطوط الجاذبيه وهذا بالمقابل زاد نسبة التناقص في الكبريتيدات المذابه لتصل الى ٥٣ ٪ وقد اخذنا بالاعتبار ان خطوط الجاذبيه تكثر بها فتحات التهوية وهذا يزيد من فرص تطاير جزء من الكلور الفعال .

٥-٤ في هذه الدراسة نسجل طريقة جديدة للسيطرة على الروائح عن طريق اكسده الكبريتيدات المذابه باستخدام محلول هيبوكلورات الصوديوم جنبا لجنب مع الحقن الدوري لمحلول هيدروكسيد الصوديوم لرفع الاس الهيدروجيني الى ١٠ - ١٠.٥ ولمدة ٥ ساعات وقد سجل بومروي POMEROY [٦] ان رفع الاس الهيدروجيني دوريا الى ١٢ ولمدة نصف ساعة تكفي لمنع تولد الكبريتيدات في خطوط المجاري ، وقد وجدنا تأثير مشابه لذلك خلال التجربه ، فالحقن الدوري لمحلول هيدروكسيد الصوديوم في خطوط المجاري فترة المساء لرفع الاس الهيدروجيني الى ١٠.٥ ساعد كثيرا في انخفاض تركيز الكبريتيدات المذابه بنسبة ٥٧ ٪ بالرغم ان جرعة محلول الهيبوكلورات تناقصت الى النصف تقريبا ، وهذا بالتالي أثر على انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين حيث ان تحلل كبريتيد الهيدروجين مرتبط بالاس الهيدروجيني ففي الوسط القاعدي تبقى الايونات مذابه في المياه طبقا للمعادله :

$$\{H_2S \quad <==========> \quad H^+ \quad + \quad HS^-\} \quad \ldots\ldots \quad ٥-٤ م$$

وهذه الايونات المذابه تتأكسد الى الكبريت او الكبريتات بعد حقن الهيبوكلورات طبقا للمعادلات ٥-٢م و ٥-٣م .
وقد سجل دوج DOGUE [٤] انه من الصعب تعميم كمية الكلور الهيبوكلورات اللازمة للسيطرة على الروائح فأحيانا يمكن الحصول على السيطرة الفعاله المطلوبة بحقن كلور بنسبة ٨٠ ٪ اقل من الكلور المطلوب للاكسدة .

٥-٥ بالاشارة الى ٤-٢ج فان زيادة العمر الزمني للكربون المنشط يمكن تفسيره بسبب اكسده الكبريتيدات المذابه ومنع تولدها اثناء الحقن وبعد الحقن . اما عن تأثير الماده على الاس الهيدروجيني لمياه المجاري فقد وجد ان حقن هيدروكسيد الصوديوم فترة المساء تقلل من هذا التأثير في فترة النهار اي ان الاس الهيدروجيني لمياه المجاري تبقى في حدود التعادل فترة النهار .

٥-٦ بالاشارة الى ٤-٢ د فان ازدياد تركيز المواد الصلبه العالقة بعد الحقن يمكن تفسيره ان المواد الكيميائية ادت الى تمييع الطبقة اللزجة المبطنة للانابيب وهذه
الطبقة تفتتت واختلطت مع المياه الخارجة من المحطة مما زاد من تركيز المواد الصلبه العالقة في بداية الحقن اي الاسبوع الاول وهذا السبب في حقن محلول الهيدروكسيد فترة المساء حتى يكون التأثير اكبر على الطبقة اللزجة المبطنه .

٥-٧ اختيرت نقاط حقن المواد الكيميائية بالنسبه لمحلول هيبوكلورات الصوديوم في غرفة تفتيش المياه الداخله ومصيدة الرمال ٢-١ج وفي غرف البياره ٢-٢ج حتي تكون الفترة كافية للتفاعل بين المواد الكيميائية ومياه المجاري ، اما محلول هيدروكسيد الصوديوم فقد اختيرت نقطة الحقن في مدخل غرفة البياره حتى يمكن التأثير على الطبقة اللزجة المبطنه لغرفة البياره والخطوط الخارجة منها .

٦) الاستنتاج :

٦-١ ان الحقن المزدوج في خطوط الضخ والجاذبيه طريقة فعاله وقليله التكلفه مقارنة بغيرها من المواد الكيميائية (جدول رقم ٥) كما يمكن استخدامه في مناطق الشكوى حيث يؤدي الى نتائج فعاله وسريعه ويمكن استخدامه في الشبكة وفي المحطات .

٦-٢ ملاحظة :

لوحظ من خلال الدراسة ان الحقن المزدوج لمدة شهر مستمر يساعد على منع تولد الروائح لمدة شهرين على الاقل ، حيث لوحظ ان بعد توقيف الحقن لمدة شهر لم تنبعث الروائح من منطقة الدراسة لفترة زادت عن الشهر وسنقوم باجراء دراسات لاحقه لمعرفة الفترة الزمنية اللازمة للسيطرة السنوية على الروائح .

٧) شكر وتقدير :

يتقدم فريق البحث بالشكر والتقدير لكل من ساهم في تسهيل عملنا ونخص بالشكر المهندس / عادل بوحمد /مدير ادارة الشبكات على التعاون الذي ابداه لانهاء البحث بهذه الصورة ، و المهندس / حسين ملك /مدير ادارة التصميم لنصائحه القيمة التي ساعدت على انجاح البحث .كما نتقدم بالشكر للسيد علي بحروه على طباعته وتنسيقه للبحث .

****

القياس	عينة ماء للشرب	محطة التنقية الرئيسية بالكويت		
		الحد الاعلى	الحد الادنى	المتوسط
درجة الحرارة	٤٥	٣٥	٢١	٢٨.٨
الاس الهيدروجيني	٧.٥	—	—	٧.٦
المواد الصلبه الكلية	٥٢٤	٢١٠٠	١٣٠٠	١٧٠١
المواد الصلبه العالقه الكلية	—	٤٥٠	١٩٠	٢٨٠
المواد الصلبه المتطايره	—	٣٥٠	١٢٥	٢٤٥
المواد غير المتطايره	—	١٠٠	٤٠	٦٠
كمية الاكسجين المطلوبه كميائيا	—	٨٠٠	٥٧٠	٦٨٠
كمية الاكسجين المطلوبه بيولوجيا	—	٤٨٥	٣٢٥	٣٩٥
الكبريتات	١٧٠	٣٠٠	١٣٥	٢٠٥
الامونيا	٠.٥٥	١٠١	٤٩	٦٥.٥
النيتروجين الكلي	٦٧	١١٤	٤٩.٣	٧١
القلويه	٢٦	٥١٨	٢٠٠	٣٨٨
الفوسفات	٠.٠٤	٦٣.٧	٣٢	٤٣.٣
الكبريتيدات	—	٤٧	١٠.٢	٢٦.٧
الدهون	—	١٣٥	١٧	٥٣

نقلا عن تقرير تقييم محطة العارضيه لمعالجة مياه المجاري
التقرير النهائي إعداد المكتب الاستشاري
يونيو ١٩٨٧ م ACE,PACE,AE
جدول رقم (١) مواصفات مياه المجاري في الكويت

الحالة التجريبية	البارامیتر ملجم / لتر	التحكم بدون اي مواد كيميائية	تركيـــز الكلـور الفعـال ملجم / لتر				
			١	٢	٥	١٠	٢٠
(١) مياه المجاري	أ-الاس الهيدروجيني	٧.٦	٧.٦	٧.٦	٧.٦	٧.٦	٧.٦
عينه+هيبوكلورات الصوديوم	ب- الكبريتيدات المذابه	٢٠	٨.٢	٦.٧	٥.٠	٢.٦	٠.٠
نسبة التناقص بالكبريتيدات المذابه			(٥٩٪)	(٦٦٪)	(٧٥٪)	(٨٧٪)	(١٠٠٪)
(٢) مياه المجاري	أ- الاس الهيدروجيني	٧.٥	—	—	١٠.٥	١٠.٥	١٠.٥
عينه+هيبوكلورات الصوديوم +هيدروكسيد الصوديوم	ب- الكبريتيدات المذابه	١٨.٢	—	—	٤.٥	٠.٠	٠.٠
نسبة التناقص بالكبريتيدات المذابه					(٧٥٪)	(١٠٠٪)	(١٠٠٪)

جدول رقم (٢) اثر الحقن الكيميائي على الكبريتيدات المذابه على نطاق مخبري

البارامیتر	محطة A-14			غرفة التحويل		
	دون اضافة هيبوكلورات الصوديوم	اضافة هيبوكلورات الصوديوم	النسبه المئوية للتناقص	دون اضافة هيبوكلورات الصوديوم	اضافة هيبوكلورات الصوديوم	النسبه المئوية للتناقص
١- الكبريتيدات المذابه(ملجم/لتر)	١٨	٨,١	٥٥	٦,٥	٤,٨	٢٦,٠
٢- انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين (ج/م)	١٠٠	٦٣	٦٤	٣٠٠	١١٢,٣	٦٢,٥
٣-كمية الاكسجين المطلوبه كيميائيا C.O.D (ملجم/لتر)	٩٠٠	٥٦٧,٥	٣٧	٧٠٠	٤٧٤	٣٢,٣
٤- الامونيا (ملجم/لتر)	٧٠	٤١,٤	٤٠	٨٠	٤٤,٧	٤٤٠
٥- الدهون (ملجم/لتر)	٩٢	٤٩	٤٧	٦٠	٤٠	٣٣

جدول رقم (٣) يبين اثر الحقن الكيميائي على مياه المجاري في خطوط الضخ

البارامیتر	التراكيز (المعدل) (ملجم / لتر) مع النسبه المئوية للتناقص			
	محطة S-14		محطة S-14	
	دون اضافة هيبوكلورات الصوديوم	اضافة هيبوكلورات الصوديوم (% RED)	دون اضافة هيبوكلورات الصوديوم	اضافة هيبوكلورات الصوديوم (% RED)	اضافة هيبوكلورات الصوديوم+هيدروكسيد الصوديوم (%RED)
١- الكبريتيدات المذابه (ملجم / لتر)	٧.٨	٣.٧ (٥٣ ٪)	١٠.٠	٥٤ (٤٦ ٪)	٤.٣ (٥٧ ٪)
٢- انبعاث غازكبريتيد الهيدروجين (ج / م)	—	—	٧٠.٠ مدخل ٢٠٠ مخرج ١٠٠ (٥٠ ٪)	٣٨.٧ (٤٥ ٪)	٢١ (٧٠ ٪) مدخل ٢٠٠ مخرج ٣٠٠ (٥٠ ٪) زيادة
٣- المواد الصلبه العالقه الكليه (ملجم / لتر)	—	—			

جدول رقم (٤) يبين اثر الحقن الكيميائي بمحلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على خطوط الجاذبية .

المادة الكيميائية	الجرعه المقترحه لكل ايون كبريتيد (جم / جم)	التكلفه الشهرية دينار كويتي
بيروكسيد الهيدروجين	١,٢٥ (*١)	٥,٦٢٥
	٤,٠ (*٢)	١٨,٠٠٠
هيبوكلورات الصوديوم	٢,٠	١٧,٠٠٠
هيبوكلورات الكالسيوم	١,٨	١٠,٨٠٠
كبريتات الحديد	٨,٠	١٦,٤٧٠
املاح الحديد	٤,٠	٧,٩٢٠
هيبوكلورات الصوديوم ١٠٠ ملجم / لتر هيدروكسيد الصوديوم	١,٠	١١,٠٠٠

ملاحظات :

* ١) التركيز الذي سجل في المختبر للحصول على تناقص ٠٠ ٪

* ٢) التركيز الفعلي المطلوب للحصول على تناقص ١٠٠٪ لسرعة تفكك المحلول

جدول رقم (٥) مقارنه بين المواد الكيميائيه المختلفه لمعالجة روائح المجاري المنبعثه من كمية من المياه تصل الى ١٠,٠٠٠ متر مكعب بتركيز ٢٠ ملجم / لتر من الكبريتيدات المذابه ،للحصول على تناقص ١٠٠٪ للكبريتيدات المذابه .

قائمة المصطلحات

خط ضخ (طرد)

خط جاذبيه

محطة ضخ رئيسية

محطة رفع فرعيه

T.C غرفة تحويل

A نقطة حقن محلول هيبوكلورات الصوديوم

B نقطة حقن محلول هيدروكسيد الصوديوم

C نقطة جمع عينات مياه المجاري

الرسوم البيانية

اولا: في خطوط الضخ

محطة ضخ A 14 – ٨ صباحا

محطة ضخ A 14 – ٥ مساء

غرفة التحويل – ٨ صباحا

غرفة التحويل – ٥ مساء

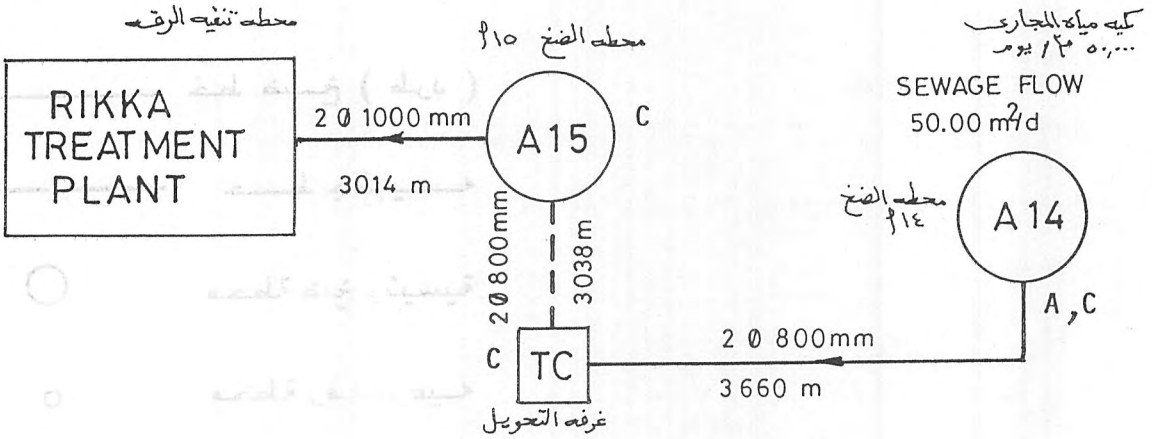
ثانيا: في خطوط الجاذبيه

حقن محلول هيبوكلورات الصوديوم – ٨ صباحا

حقن محلول هيبوكلورات الصوديوم – ٥ مساء

الحقن المزدوج – ٨ صباحا

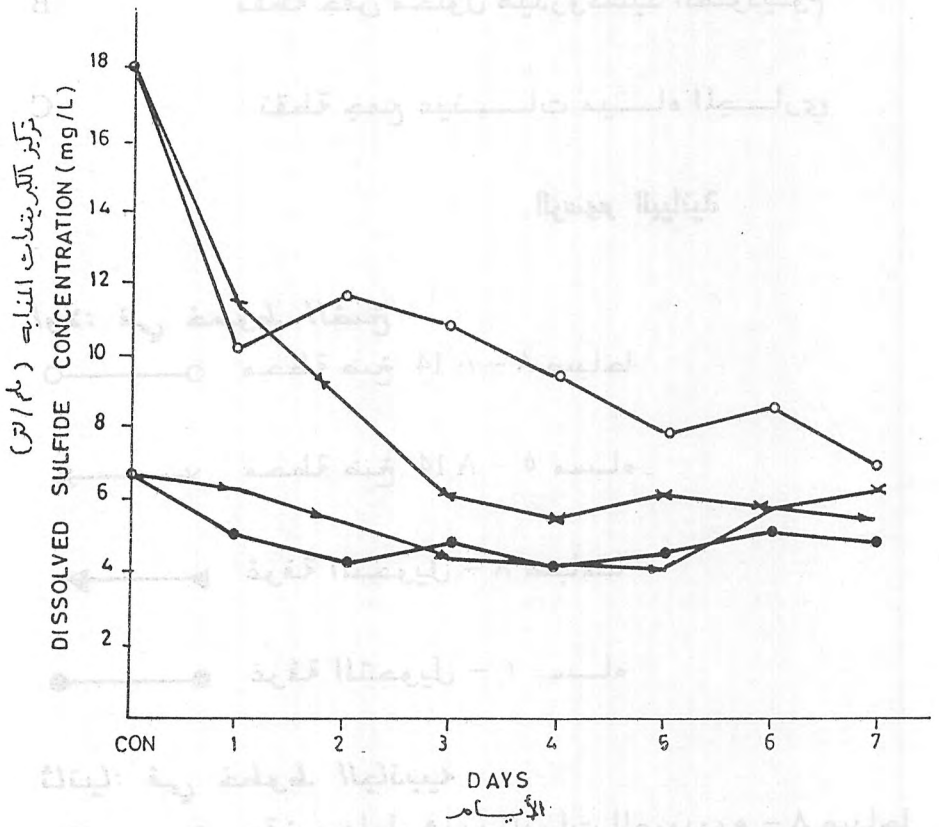
الحقن المزدوج – ٥ مساء



خط الضخ الذى تمت عليه الدراسة

FIG. 1A

شكل ١ (أ)



اثر الحقن بمحلول هيبوكلورات الصوديوم
على تركيز الكبريتيدات المذابة فى محطة A14

FIG. 2A

شكل ٢ (أ)

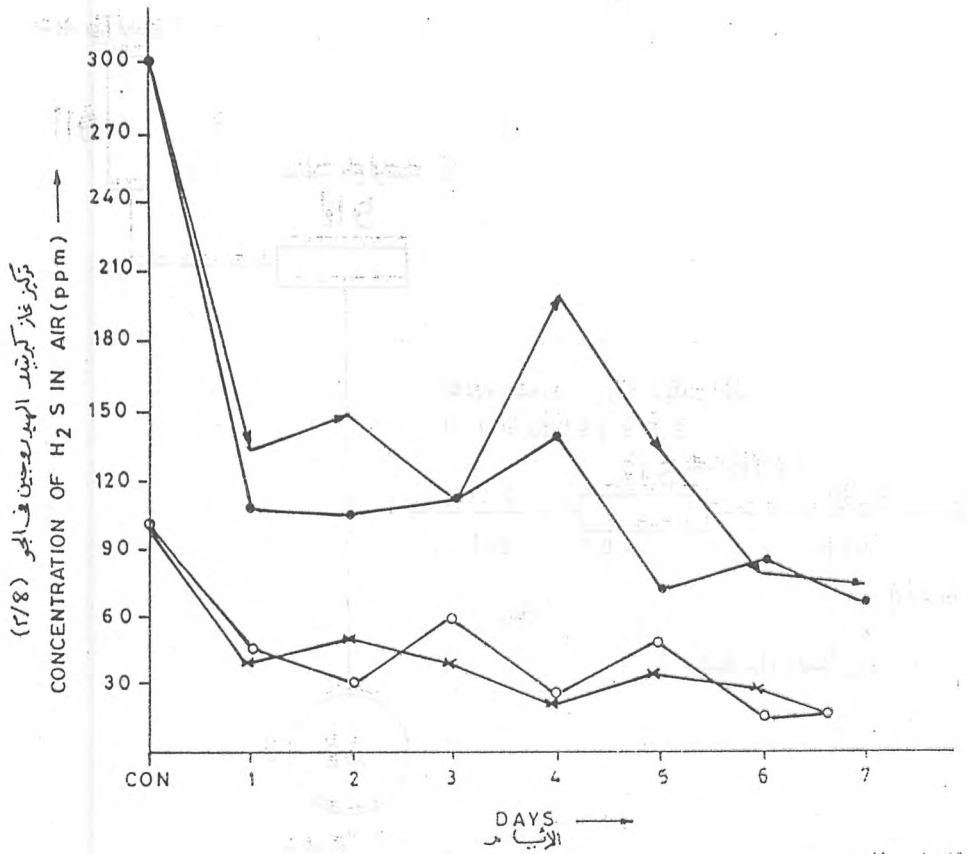


FIG. 3 A

شكل ٣ (P)

اثر الحقن بمحلول هيبوكلورات الصوديوم على انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين فى الجو فى محطة A14

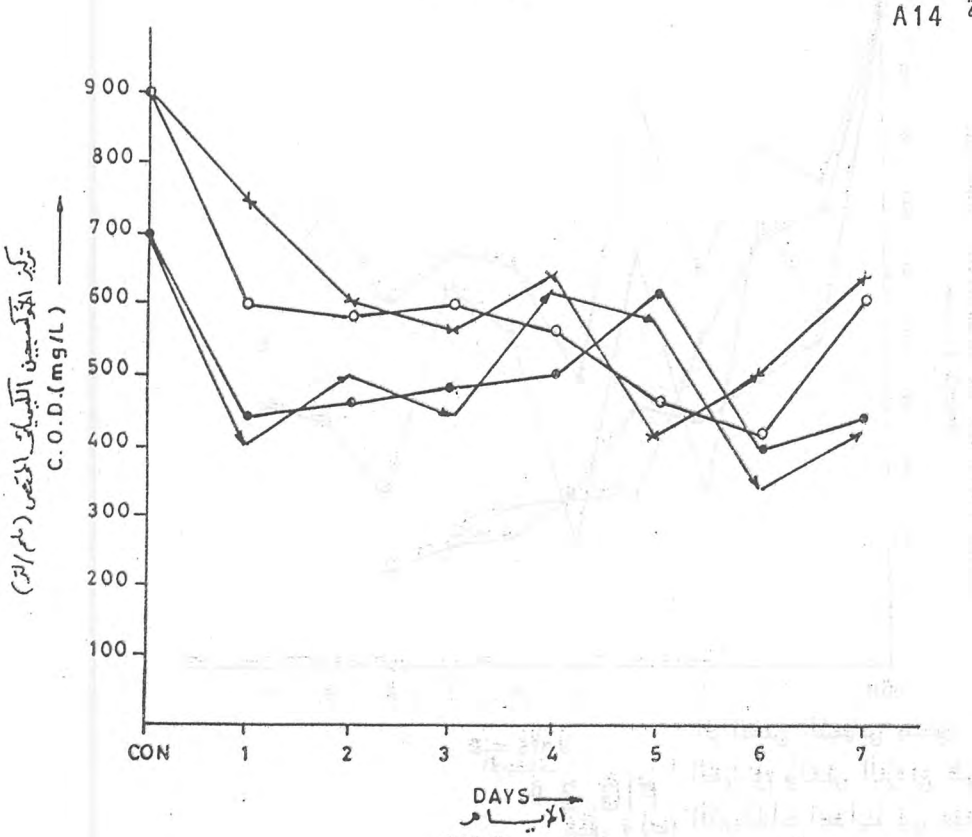


FIG. 4 A

شكل ٤ (P)

اثر الحقن بمحلول هيبوكلورات الصوديوم على الاكسجين الكيميائى المطلوب فى محطة A14

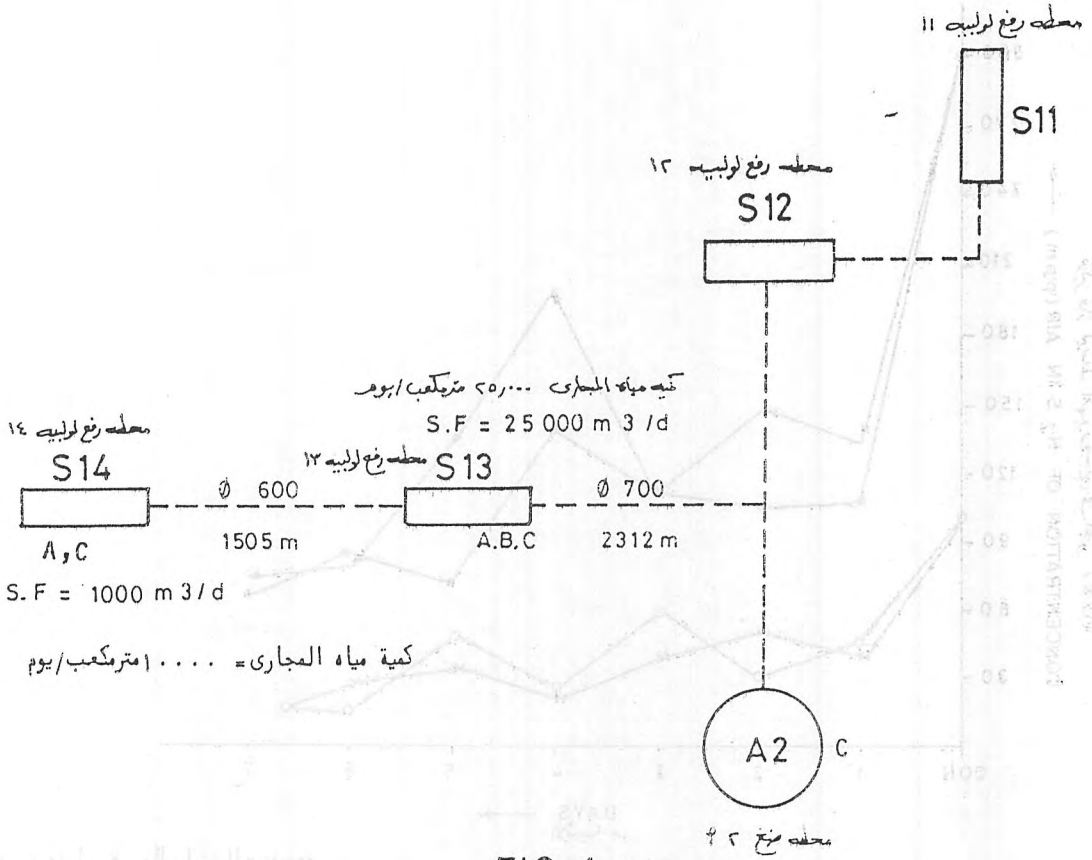


FIG. 1 B

شكل ١ (ب)

خط الجاذبية الذى تمت عليه الدراسة

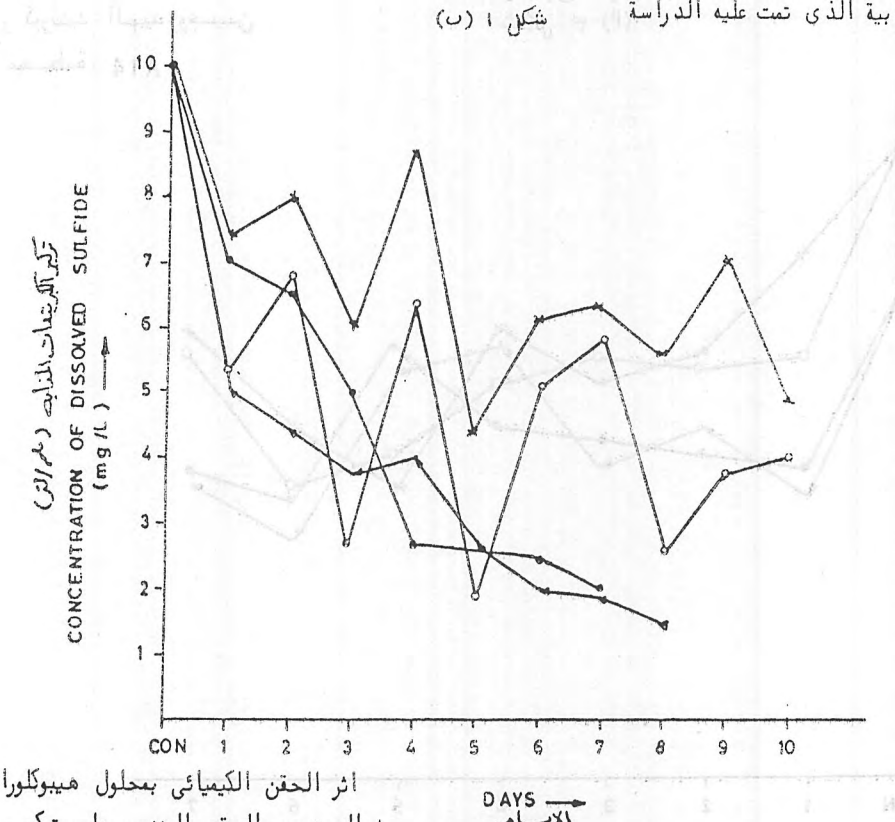


FIG. 2 B

شكل ٢ (ب)

اثر الحقن الكيميائى بمحلول هيبوكلورات الصوديوم والحقن المزدوج على تركيز الكبريتيدات المذابة فى محطة S13

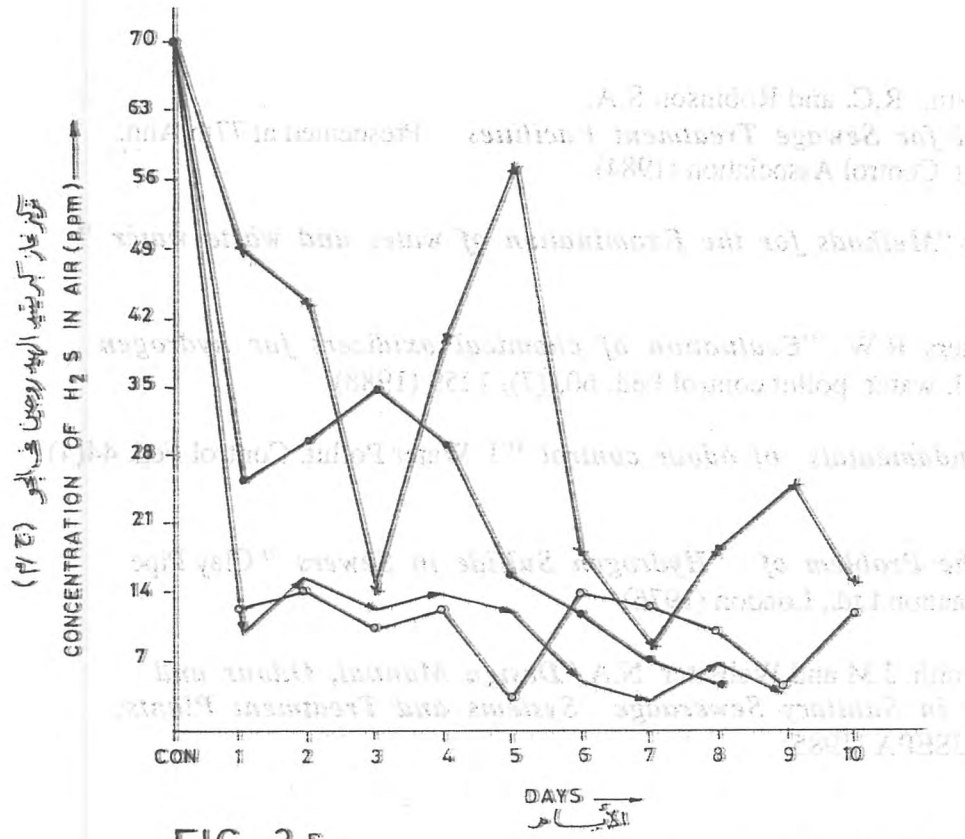


FIG. 3 B
شكل ٣ (ب)

اثر الحقن الكيميائى بمحلول هيبوكلورات الصوديوم
والحقن المزدوج على انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين
فى الجو فى محطة S13

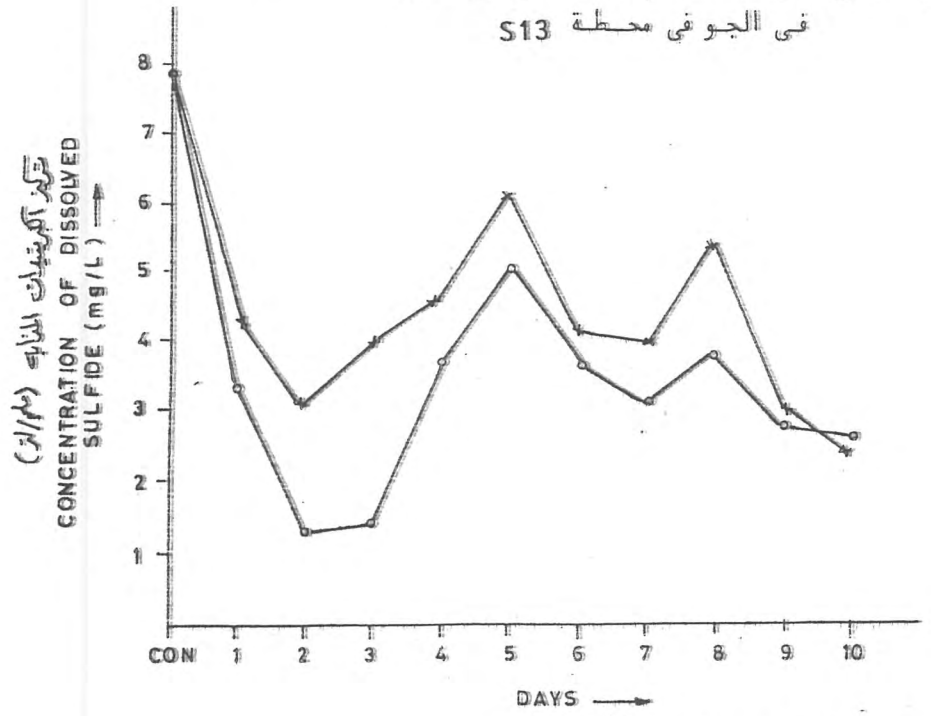


FIG. 4 B
شكل ٤ (ب)

اثر الحقن الكيميائى بمحلول هيبوكلورات
الصوديوم والحقن المزدوج على تركيز
الكبريتيدات المذابة فى محطة S14

References

1. Patterson, R.G, Jain, R,C, and Robinson S.A;
"Odour Control for Sewage Treatment Facilities " Preseented at 77th Ann. Meeting of Air Pollut. Control Association (1984)

2. Standard Methods *"Methods for the Examination of water and waste water "* APHA (1986)

3. Cadena, F and Peters R.W ; *"Evaluation of chemical oxidizers for hydrogen sulfide control "*, J. water pollut control Fed, 60,((7), 1259 (1988)

4. Dague, R.R *"Fundamentals of odour control "* J. Water Pollut. Control Fed. 44(4) 583(1972)

5. Pomeroy R.D *"The Problem of "Hydrogen Sulfide in Sewers "* Clay Pipe Development Associaation Ltd., London (1976)

6. Bowker R.P.G; Smith, J.M and Websster N.A *"Design Manual, Odour and Corrosion Control in Sanitary Seweraage Systems and Treatment Plants*; EPA/625/1-85/018 USEPA (1985)

استخدام الوحدات المتكاملة لمعالجة
مياه الصرف الصحي في التجمعات القروية

الدكتور أحمد فيصل نجيب أصفري

استخدام الوحدات المتكامله لمعالجة مياه الصرف الصحي في التجمعات القرويه

USE OF COMPACT WASTEWATER TREATMENT UNITS IN RURAL AREAS

الدكتور المهندس / أحمد فيصل نجيب أصفري
وزارة الأشغال العامه - دولة الكويت
أستاذ الهندسه المائيه - جامعة حلب (سوريا)

تشكل حماية المناطق الريفيه من أخطار التلوث بمياه الفضلات البشريه جزءا من برامج حماية البيئه، ولذا كان لا بد من وضع الأسس الكفيله بتحقيق ذلك وفق المعايير العالميه المعتمده في هذا المضمار. تبحث هذه الورقه في معايير التصميم للوحدات المتكامله او المدمجه (compact) لمعالجة مياه الصرف الصحي في التجمعات القرويه وتقدم مقارنه فنيه واقتصاديه بين هذا الاسلوب الفني وبين الطرق البدائيه المتبعه حاليا في التخلص من مياه الفضلات البشريه في معظم أرجاء الريف العربي، وذلك انطلاقا من دراسات ميدانيه لمشاريع مماثله أجريت في بعض الأقطار العربيه.

١ - المقدمه :

تحتل المشاكل الناجمه عن التلوث بمياه الفضلات البشريه (sewage) موقعا هاما في برامج التطوير البيئي لدى الدول المتقدمه والناميه على حد سواء، نظرا للأضرار الفادحه المترافقه بتلك الفضلات ان على صحة الانسان او الحيوان او التربه والنبات، وبالتالي على النظام البيئي العام.

ان الغالبيه العظمى من الأمراض الساريه تنتشر بسبب استخدام مياه الصرف الصحي او مياه الفضلات البشريه الخام (raw wastewater) في ري المزروعات وخاصه تلك التي تؤكل نيئه وذلك في المدن الصغيره والتجمعات الريفيه والقرويه. كما يعتبر تلوث التربه والمياه الجوفيه والسطحيه بهذه الفضلات من اهم مصادر الاصابه بالمرض وانتقاله بين أفراد المجتمع.

يبين الجدول (١) السمات الوبائيه لبعض الممرضات المعويه (enteric pathogens) او التي تنتقل عن طرق الجلد (كالبلهارسيا)، وجميع هذه الممرضات تتواجد وتنمو في مياه الفضلات البشريه [1].

العامل الممرض (pathogen)	الحمل المفرغ (آ)	الكمون (ب)	الصمود (ج)	التكاثر داخل العائل البشري	الجرعه المعديه (د)	مناعة العامل الممرض	عائل وسيط
- فيروسات معويه	10^{7}	٠	٣ اشهر	لا	م	نعم	ـــــ
- فيروس التهاب الكبد (A)	10^{6}	٠	؟	لا	م (؟)	نعم	ـــــ
- الديزنتاري	10^{5}	٠	٢٥ يوما	لا	م	لا (؟)	ـــــ
- التيفوئيد	10^{8}	٠	٣ اشهر	نعم	ع	؟	ـــــ
- الكوليرا	10^{7}	٠	شهر (؟)	نعم	ع	نعم (؟)	ـــــ
- ديدان الاسكاريس	10^{4}	١٠ ايام	سنه	لا	م	لا	ـــــ
- الانكلستوما	10^{3}	٧ أيام	٣ اشهر	لا	م	لا	ـــــ
- الديدان السوطيه	10^{3}	٢٠ يوما	٩ اشهر	لا	م	لا	ـــــ
- الديدان الشريطيه	10^{4}	شهران	٩ اشهر	لا	م	لا	البقر والخنزير
- التريما تودا بأنواعها	10^{4}	(٥,١-٤) أشهر	حياة السمكه او القوقع	نعم نعم	م م	لا لا	القواقع والاسماك والنباتات المائيه
- البلهارسيا الدمويه	٤/مللتر بول	٥ أسابيع	يومان	نعم	م	نعم	القواقع

(آ) : هو العدد النموذجي للكائنات في (١) غرام من البراز ماعدا البلهارسيا الدمويه الذي يوجد جرثومه في البول٠
(ب) : الزمن الأدنى النموذجي من الافراغ الى القدره على العدوى٠
(ج) : الفتره بين افراغ العامل الممرض وموته او تعطيله في البيئه عند درجة حراره (٢٠ - ٣٠) مئويه٠
(د) : م / منخفض ($< 10^{2}$) - ع / عالي (10^{2}) - ؟ / غير مؤكد٠

الجدول (١) : السمات الوبائيه لبعض الممرضات المعويه

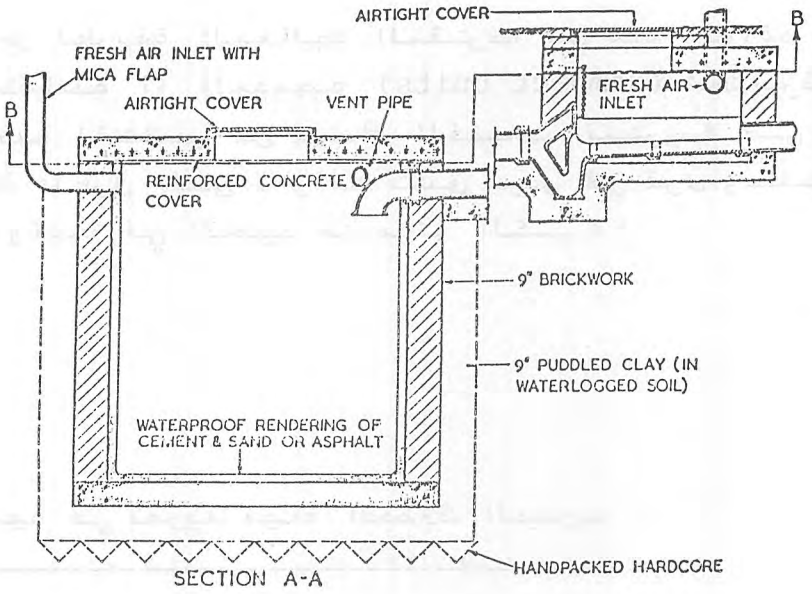
قبل ان نعرض لطريقة المعالجه المقترحه في هذه الورقه باستخدام الوحدات المتكامله او المدمجه (compact units) نستعرض بايجاز الطرق البدائيه للتخلص من مياه الفضلات البشريه في التجمعات القرويه، تلك الطرق التي لا زالت تطبق ليس في قرى وبلدان الوطن العربي فحسب وانما في العديد من مدنه الكبيره.

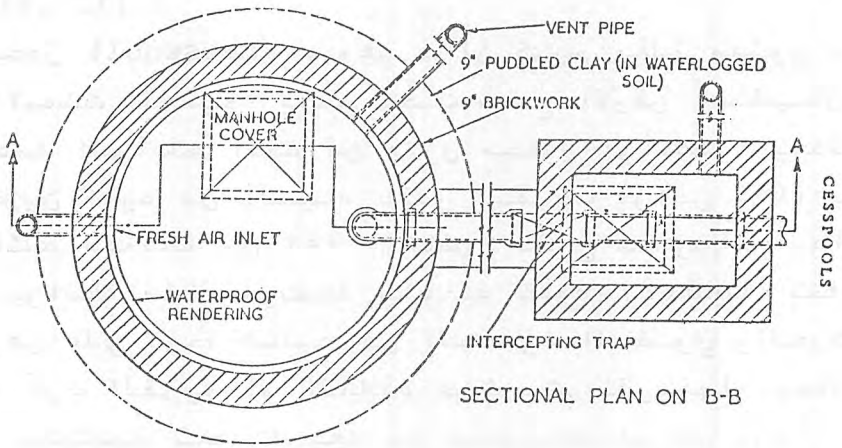
الطرق البدائيه في تصريف مياه الفضلات البشريه :

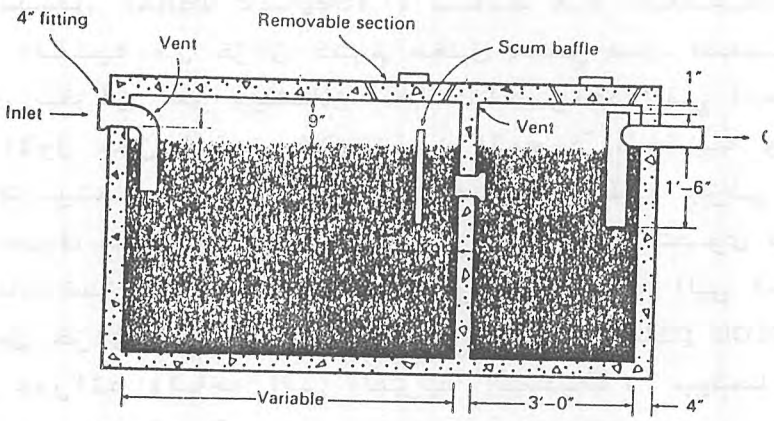
من الطرق الشائعه في التخلص من مياه الفضلات البشريه في المناطق غير المزوده بشكبات للصرف الصحي نعرف المنشآت التاليه الموضحه في الشكل (١)، [2] [3] :

١ - **خزان الحجز (Cesspool)** : وهو خزان كتيم مغلق مصنوع من البناء الحجري او الاسمنت المسلح. يبنى تحت سطح الأرض لاستقبال وتخزين المياه العادمه الواصله اليه من منزل مجاور او اكثر. يحدد حجم هذه المنشأه لتخزين كميه من المياه تقدر بتصريف حوالي (٤٥) يوما من منزل يضم عائله متوسطه من (٥) أشخاص. تفرغ محتويات هدا الخزان بعد امتلائه بواسطة مضخه مرتبطه بشاحنه خاصه (tanker) تنقل تلك المحتويات وهي على درجة عاليه من التلوث العضوي والجرثومي الى مواقع محدده قرب القريه او البلده حيث يتم تفريغها. يعاد استعمال الخزان مرات متتاليه بعد تفريغه من محتوياته في كل مره.

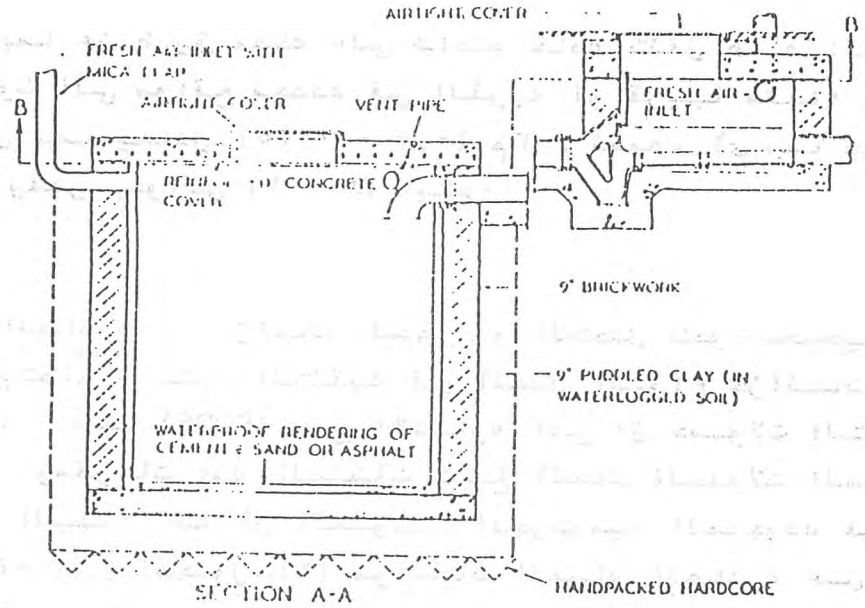
ب - **خزان التحلل (Septic Tank)** : تتألف هذه المنشأه التي تدعى خطأبالحفره الفنيه من خزان كتيم مغلق مبني من الحجر او الاسمنت المسلح يتصل بخزان آخر ويشكلان معا كتله واحده في العاده حيث يتم في الخزان الأول حجز القسم الأعظم من المواد الصلبه والمعلقه في مياه الفضلات بينما يتم في الخزان الثاني ترقيد جزئي للمياه تخرج بعدها عبر مصرف مجمع يتفرع الى مصارف ثانويه تحوى فراغات تسمح بتسرب المياه ضمن التربه المحيطه. وقد يعمد الى استبدال خزان الترقيد بوصل خزان الترسيب الى بئر امتصاصي (absorption pit) ترشح المياه عبر جدرانه وقاعه الى التربه المحيطه، بينما تترسب المواد المعلقه فيه. ومن وقت لآخر يتم تنظيف خزان الترسيب وبئر الامتصاص

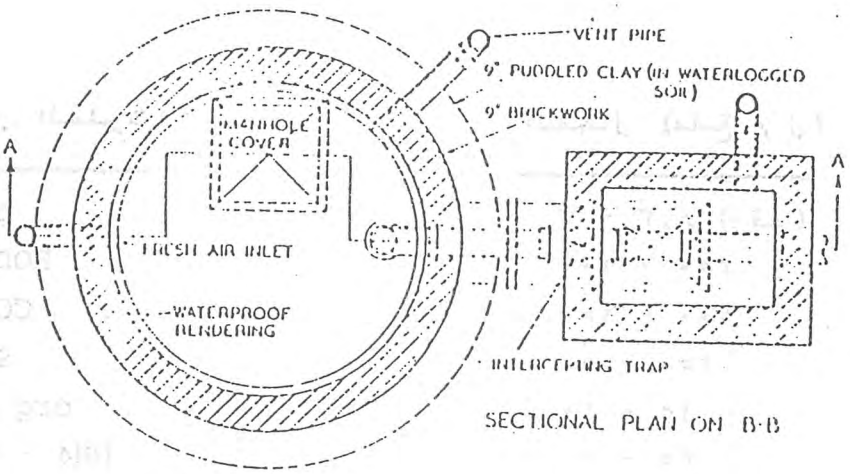


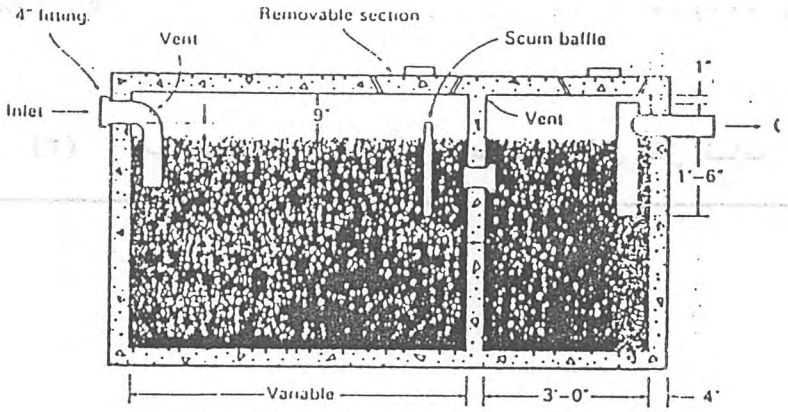




الشكل (١) : خزان الحجز وخزان التحلل







الشكل (١) : خزان الحجز وخزان التحلل

من محتوياتهما عن طريق مضخه الى شاحنه خاصه تنقل هذه المحتويات شديدة التلوث الى مواقع محدده في القريه او قريبا منها. يقدر حجم خزان التحلل بما يعادل (٠,٢٥ - ٠,٥) م٣ / نسمه، أى بما يعادل زمن حجز للمياه يقدر بحوالي (٢ - ٣) أيام.

ان المياه الصادره عن خزانات الحجز او التحلل تحوى مقادير عاليه من الملوثات ولايتجاوز مستوى التنقيه في أفضل أنواع خزانات التحلل (٤٠%) على مقياس الـ (BOD5) مع الاشاره الى ان حمولات التلوث في المواد المترسبه ومفرغات هذه المنشآت تبلغ أضعاف الحمولات الموجوده في المياه الداخله اليها. كما أن الملوثات الجرثوميه الموجوده فيها تبقى عمليا دون ازالة. يبن الجدول (٢) مواصفات المياه الصادره عن خزانات التحلل [4]، كما يبن الجدول (٣) مواصفات مفرغات هذه الخزانات [4].

العنصر الملوث	المجال (ملغ / ل)
pH	٧ - ٨,٣ (رقم)
BOD5	١٠٠ - ٣٥٠
COD	١٥٠ - ٧٠٠
SS	٥٠ - ٣٥٠
org N	١٠ - ١٥
NH4 - N	٢٠ - ٣٥
فوسفات	٢٠ - ٣٠
كلوريدات	٧٠ - ٩٠
شحوم	٥٠ - ١٥٠
E. coli	١٠ - ١٠/١٠٠ ملتر (عدد)

الجدول (٢) : مواصفات المياه الصادره عن خزانات التحلل

العنصر الملوث	التركيز (ملغ / ل)
pH	٧ (عدد)
BOD5	١٠٠٠٠
COD	١٥٠٠٠
SS	١٥٠٠٠
NH3 - N	١٥٠
فوسفات	٦٥
شحوم	٩٠٠٠

الجدول (٣) : مواصفات مفرغات خزانات التحلل

ان هذه الطرق البدائيه في التخلص من مياه الفضلات البشريه لا توفر أدنى مستوى من السلامه البيئيه او المزايا الاقتصاديه نظرا لأنها :

- تؤدى الى تلويث التربه والمياه الجوفيه في الموقع وقد يمتد تأثيرها الضار الى مسافات بعيده.
- تسبب تلويث الهواء بالروائح الكريهه وانتشار الذباب والبعوض ونقل الأمراض في مختلف أنحاء القريه وتقود الى استيطان العديد من البعوض الضار في المنطقه نتيجة التفريغ المتكرر لهذه الفضلات وتراكمها في أماكن المقالب المخصصه قرب القريه.
- يكلف انشاؤها مبالغ كبيره نظرا لتعددها وتبعثرها في القريه كما تتطلب نفقات ملحوظه للتفريغ المتكرر خاصه في المناطق ذات التربه الكتيمه.

٣ - الوحدات المتكامله لمعالجة مياه الفضلات :

على عكس الطرق البدائيه في التخلص من مياه الفضلات، تحقق هذه المنشآت الحديثه درجه عاليه لنقاوة المياه بعد المعالجه. وهي تشمل اساسا على العناصر الرئيسيه التى توجد في محطات المعالجه التقليديه، الا أنها تمتاز باستغلالها الأمثل للمساحه وبالتالي مردودها الاقتصادي العالي اضافه الى اختصارها لعديد من المنشآت المعقده التى توجد في محطات المعالجه الكبيره.

ورغم اختلاف وتنوع تصاميم هذه الوحدات الا أنها تشترك جميعا في شمولها على المكونات الرئيسيه التاليه :

- حجرة التهويه او المعالجه البيولوجيه (Aeration Chamber)
- حجرة الترقيد أو الترسيب (Clarification Chamber)
- حجرة التعقيم (اختياريه) (Disinfection Chamber)
- تجهيزات مساعده (Auxiliaries)

يبين الشكل (٢) مقاطع في بعض النماذج الشائعه لوحدات المعالجه المتكامله [5] [6] تتألف من :

١ - منطقة المدخل (Inlet) : وتشمل على حاجز قضباني (bar screen) لفصل المواد الصلبه كبيرة الحجم نسبيا عن المياه. وهذه المواد تكون في الغالب لا عضويه.

٢ - حجرة التهويه (Aeration Chamber) : حيث يتم تفكيك المواد العضويه بالفعل البكتيري وتحويلها الى كتله حيويه (biomass) ونواتج مستقره لا عضويه.

تشمل هذه الحجره على تجهيزات التهويه المؤلفه من أنابيب توزيع الهواء وفوهات الهواء المذرر (diffused air) ضمن الماء، وأحيانا يستعاض عن ذلك بمراوح للتهويه السطحيه (surface aerators).

٣ - منطقة الاستقرار البيولوجي (stabilization zone) : حيث يؤدى الوضع المبين في الشكل الأول الى تأمين منطقة مثبته بيولوجيا تمهد لدخول المياه من حجرة التهويه الى حجرة الترسيب او الترقيد وكذلك لاعادة الحمأه المترسبه من حجرة الترقيد الى حجرة التهويه لتنشيطها وزيادة فعالية المعالجه.

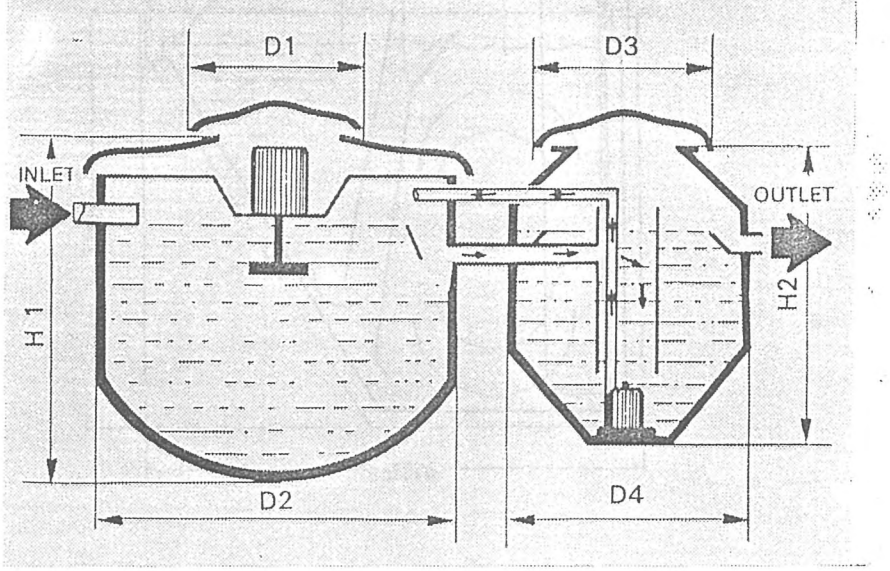
٤ - حجرة الترقيد او الترسيب (Clarification or Sedimentation Chamber): يتم هنا فصل الحمأه المترسبه عن المياه الرائقه قبل خروجها عن طريق هدار المياه المعالجه.

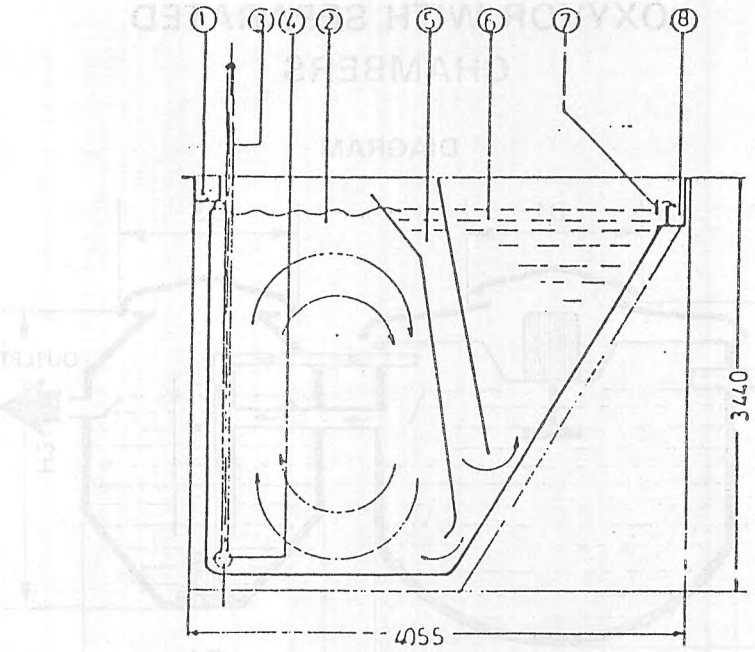
٥ - منطقة المخرج (Outlet) : تتألف عاده من هدار (weir) طولاني او محيطي يوجه المياه الرائقه نحو قناة تجميع تسوقها الى خارج المنشأة.

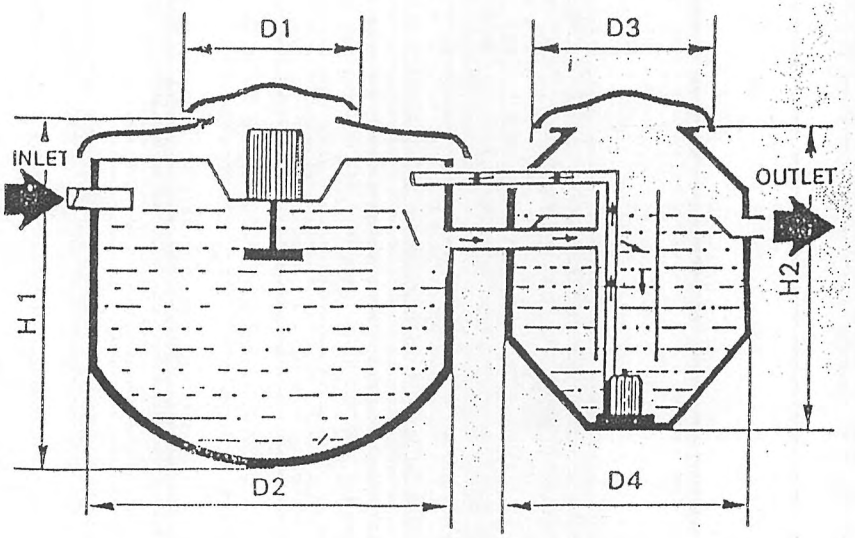
يمكن حسب الحاجه اضافة حجرة تماس (Contact Chamber) يتم فيها تعقيم المياه المعالجه (عادة بالكلور او احد مركباته) قبل تصريفها النهائي او اعادة استخدامها.

OXYVOR WITH SEPARATED CHAMBERS

DIAGRAM







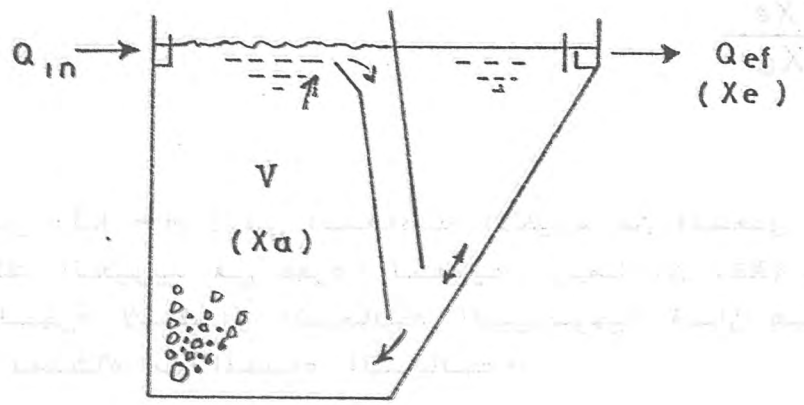
الشكل (٢) : مقاطع في بعض نماذج وحدات المعالجه المتكامله

ان معظم وحدات المعالجه المتكامله او المدمجه تعمل على مبدأ الحمأه المنشطه مع التهويه المديده (extended aeration activated sludge)، اذ ان هذه الطريقه تلائم التصاريف الصغيره (مناطق او قرى ريفيه - تجمعات سكانيه محدوده - ٠٠٠٠) وتتميز بفعاليه ممتازه في الاستقرار البيولوجي لمياه الفضلات وذلك عن طريق :

- تهويه لمده طويله مما يؤدي الى انقاص الـ (BOD5) الى حدود دنيا في المياه المعالجه ٠
- ابقاء الحمأه (sludge) لفتره طويله في المنشأه بسبب زيادة زمن حجز المواد الصلبه (SRT) الى فترات تسمح بالحصول على مياه معالجة حاويه على مقادير عاليه من النترات (NO3) وعلى مقادير قليله جدا من الحمأه ٠

يعطى توازن الكتله الحيويه (biomass) في المنشأه كما يبين الشكل (٣) بالمعادله التاليه :

$$V \frac{dxa}{dt} = v \mu Xa - VKd\ Xa - QXe \qquad (1)$$



الشكل (٣) : توازن الكتله الحيويه في الوحده المتكامله للمعالجه

حيـــث :

V = حجم حجرة التهويه (m3)

Xa = تركيز الكتله الحيويه في حجرة التهويه في لحظه ما (kg/m3)

Xe = تركيز الكتله الحيويه في المياه المعالجه (kg/m3)

μ = معدل النمو النوعي (specific growth rate) للكتله الحيويه في حجرة التهويه (kg new cells/kg cells/day) ووحداته (1/d)٠

kd = معدل الاضمحلال النوعي (specific decay rate) للكتله الحيويه في حجرة التهويه (kg dead cells/kg cells/day) ووحداته (1/d)٠

Q = مقدار الجريان اليومي الوارد الى المحطه (m3/d)٠

تتحقق شروط الاستقرار البيولوجي للمنشأه بالمحافظه على تركيز ثابت للكتله الحيويه في المفاعل (Xa = cte)، وبالتالي تصبح المعادله (1) على افتراض أن نمو وموت الكتله الحيويه يحدثان في حجرة التهويه كما يلي :

$$V \frac{dXa}{dt} = 0$$

$$\mu - kd = \frac{Q Xe}{V Xa} \qquad (2)$$

يعبر الطرف الأيسر (μ - kd) في المعادله الأخيره عن المعدل الصافي لنمو او ازدياد الكتله الحيويه في حجرة التهويه، وبما أن (Xa) يجب ان يبقى ثابتا في هذه الحجره لاستقرار المعالجه البيولوجيه فان هذا الازدياد يتم سحبه خارج المنشأه مع المياه المعالجه٠

يدعى مقلوب المقدار السابق بزمن حجز (بقاء) المواد الصلبه في المنشأه (Solids Retention Time - SRT) او احيانا بعمر الحمأه (sludge age)٠

$$SRT = \frac{1}{\mu - kd} = \frac{V}{Q} \quad \frac{Xa}{Xe} = HRT \quad \frac{Xa}{Xe} \qquad (3)$$

حيث :

HRT = زمن الحجز الهيدروليكي (Hydraulic Retention Time) اى زمن بقاء المياه في حجرة التهويه وواحدته بالأيام (d)٠

يرتبط (SRT) بمعدل ازالة الـ (BOD5) بالعلاقه : [7]

$$\frac{1}{SRT} = a \left(\frac{F}{M} \right) - b \qquad (4)$$

حيث :

a = عامل الانتاج الخلوي (cell yield coefficient) او عامل الاصطناع ويعطى بـ (Kg new cells/kg substrate) ويساوي حوالي (٠,٧)

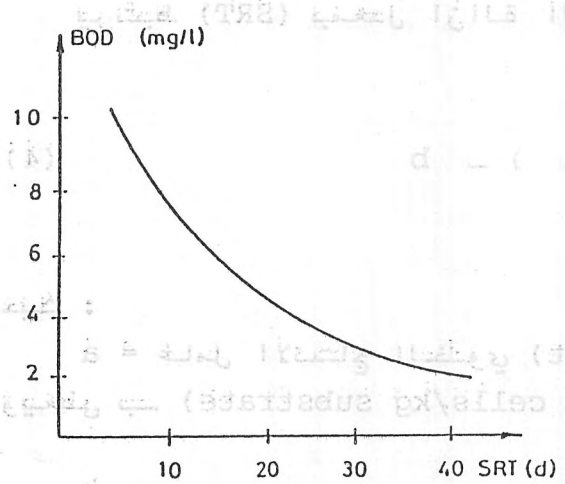
$\frac{F}{M}$ = دليل تحميل الحماه (sludge loading index) ويعطى بـ (kg BOD5r/kg MLSS/d) ووحداته (1/d)

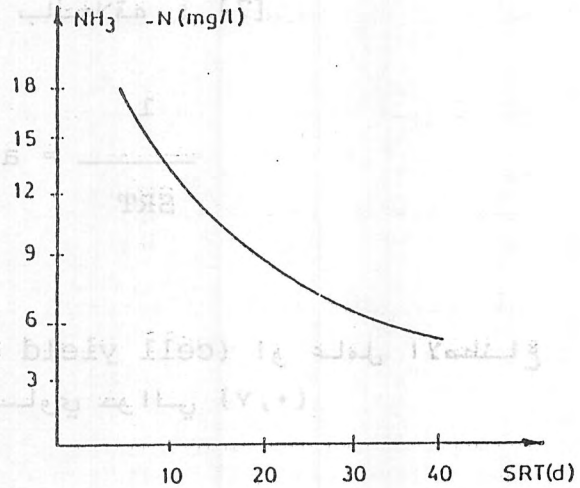
b = عامل الاضمحلال (endogenous respiration)، ووحداته (1/d) ويساوي حوالي (٠,٠٥) ٠

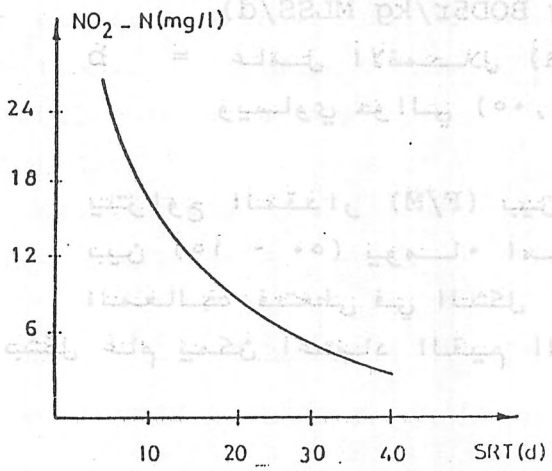
يتراوح المقدار (F/M) بين (٠,١٠ - ٠,١٥) وبالتالي يتراوح (SRT) بين (١٥ - ٥٠) يوما٠ اما تأثيرات (SRT) على مواصفات المياه المعالجه فتعطى في الشكل (٤)٠

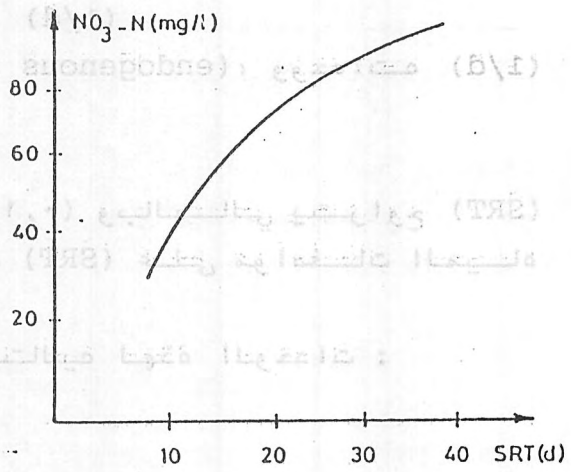
بشكل عام يمكن اعتماد القيم التصميميه التاليه لهذه الوحدات :

- زمن الحجز الهيدروليكي : (١ - ١,٥) يوما٠
- المواد الصلبه في المزيج المعلق (MLSS) : (٣٠٠٠ - ٤٠٠٠) ملغ / ل٠
- دليل تحميل الحماه (F/M) : (٠,١ - ٠,١٥) يوم-١٠
- الطلب الأوكسجيني : (٢ - ٣) كغ (O2) / كغ (BOD5)٠
- الحماه الزائده : (٠,٠٥) كغ حماه / كغ (BOD5) مزال









الشكل (٤) : تأثيرات (SRT) على مواصفات المياه المعالجه

منّ أهم مزايا وحدات المعالجه المتكامله :

- سهولة الانشاء والتشغيل والصيانه وسرعة بناء المنشأه.
- قابلية التصنيع المسبق، اضافه الى امكانية التنفيذ في الموقع.
- قابلية التوسع المستقبلي باضافة وحدات جديده مماثله للوحدات القائمه.
- امكانية التصنيع من مواد مختلفه (اسمنت مسلح - صفائح معدنيه مقاومه للصدأ - زجاج ليفي - مواد مختلطه)
- عدم وجود تجهيزات ميكانيكيه ضخمه او معقده وعدم الحاجه الى قطع تبديليه هامه اثناء فترة الاستثمار.
- عدم الحاجه الى أيدي عامله فنيه عالية الخبره وكذلك عدم الحاجه الى عدد كبير من العمال لتشغيل واستثمار المنشأه.
- عدم انتاج كميات كبيره من الحمأه وبالتالي عدم الحاجه الى منشآت معقده لمعالجة الحمأه.
- فترات متباعده للصيانه والتنظيف.
- عدم انتشار روائح كريهه او ذباب او بعوض في الموقع.
- عدم الحاجه الى مساحات كبيره من الأرض.
- تحملها الجيد للتغيرات المفاجئه في الحموله الهيدروليكيه او العضويه.
- امكانية استخدام المياه المعالجه في ري المزروعات نظرا لمردودها العالي في التنقيه (يتجاوز (٩٠ %) على مقياس الـ (BOD5) و الـ (SS).
- استهلاك قليل من الطاقه الكهربائيه حيث تتراوح الطاقه المركبه لمحطات متكامله تخدم (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه بين (٤ - ٣٠) كيلوواط ساعي.

٤ - مقارنه اقتصاديه :

ان متطلبات الصحه العامه وحماية الفرد والبيئه من اخطار التلوث على المدى القريب والبعيد توجب التخلي عن الاسلوب البدائي المتبع حتى الآن في كافة أرجاء الريف العربي وكثير من المدن العربيه الكبرى. ومن هنا فان المقارنه الاقتصاديه بين الطريقتين تصبح غير وارده من منطلق الاعتبارات الصحيه. ولكن حتى لو قبلنا باجراء دراسة اقتصاديه مقارنه بين الاسلوبين البدائي والحديث في التخلص من مياه الفضلات البشريه فان النتيجه تأتي في صالح اعتماد الاسلوب الجيد.

تنحصر المقارنه الاقتصاديه في دراسة التكاليف لكل من :

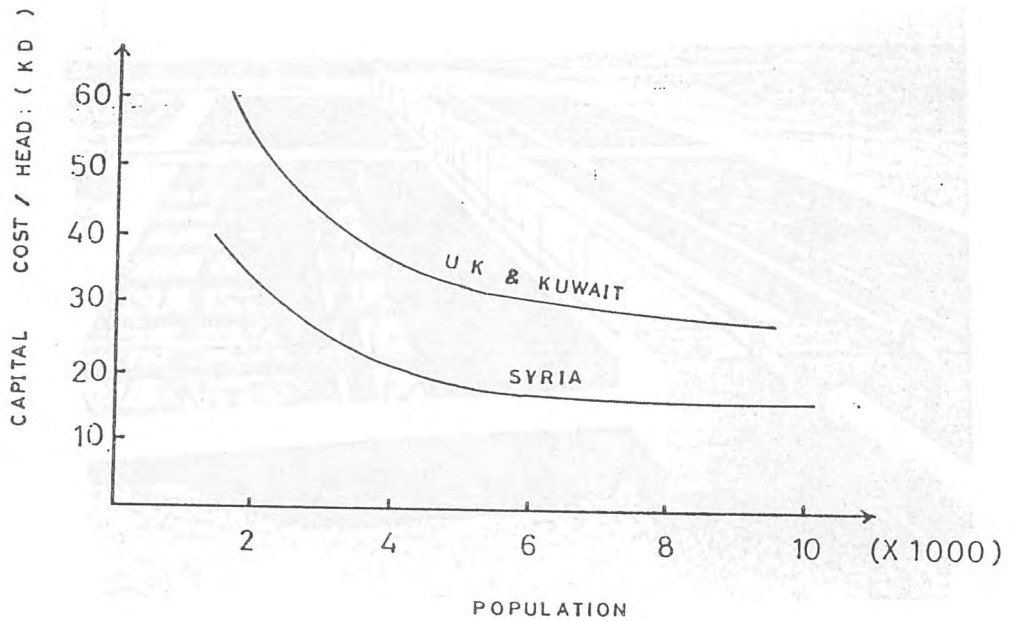
أ - الإنشاء
ب - التشغيل والاستثمار

٤ - أ - التكاليف الانشائيه :

I - الحل البدائي : خزان تحلل + بئر امتصاص :
يشمل الانشاء بشكل عام على أعمال : الحفريات - الردميات - البناء الحجري والاسمنتي - أعمال التوصيل مع المنزل - تجهيزات وأعمال مساعده .
من اجل عائله مكونه من (١٠) أشخاص تقدر الكلفه الاجماليه لبناء المنشأه من دراسات ميدانيه بحوالي (٢٠٠٠) دينارا كويتيا، وهذه الكلفه تقارب مثيلاتها في أقطار الخليج العربي.

II - الحل المقترح : شبكة صرف صحي + محطة معالجه متكامله :
تدخل في تكاليف انشاء شبكة الصرف الصحي لمياه الفضلات البشريه عوامل كثيره (المستوى الاقتصادي في المنطقه - الوضع الطوبوغرافي - توفر المواد الأوليه واليد العامله - ....).
لقد اجريت في سوريا في الفتره (١٩٨٠ - ١٩٨٢) دراسات لشبكات الصرف الصحي لأكثر من (٢٠) قريه وبلده صغيره [8] تراوح عدد سكانها بين (٣٠٠٠ - ٢٥٠٠٠) نسمه وحسبت تكاليف الانشاء في قرى مختلفة السكان

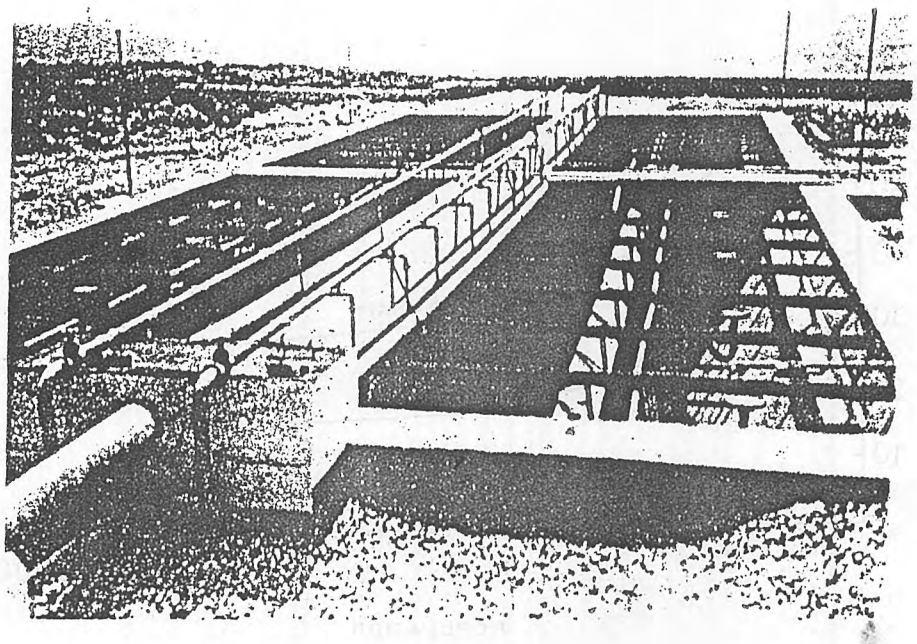
ولكن متشابهة الظروف والموقع، واستنتجت الكلفه التقديريه بالنسبه للشخص الواحد في مختلف تلك القرى. وقد جاءت نتائج هذه الدراسه متقاربه مع دراسات مشابهه اجريت في بريطانيا ونشرت في العام (١٩٧٥) من قبل المعهد البريطاني للتقنيات الهندسيه [9] وذلك بعد اجراء التحويلات السعريه المناسبه وأخذ الزياده الزمنيه لأسعار الكلف والأجور بعين الاعتبار حيث قدرت بحوالي (٢٠٠ %) خلال الفتره (١٩٧٥ - ١٩٩٠). ونظرا لعدم وجود دراسات مماثله لبلدان صغيره في أقطار الخليج العربي اعتبر ان الكلفه متقاربه بين تلك الأقطار وبريطانيا وامكن التوصل الى الشكل (٥) الذي يعطي الكلفه التقديريه لانشاء شبكه للصرف الصحي منسوبه للشخص الواحد من اجل تجمعات سكانيه (٢٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه ومحسوبه على أساس الدينار الكويتي.



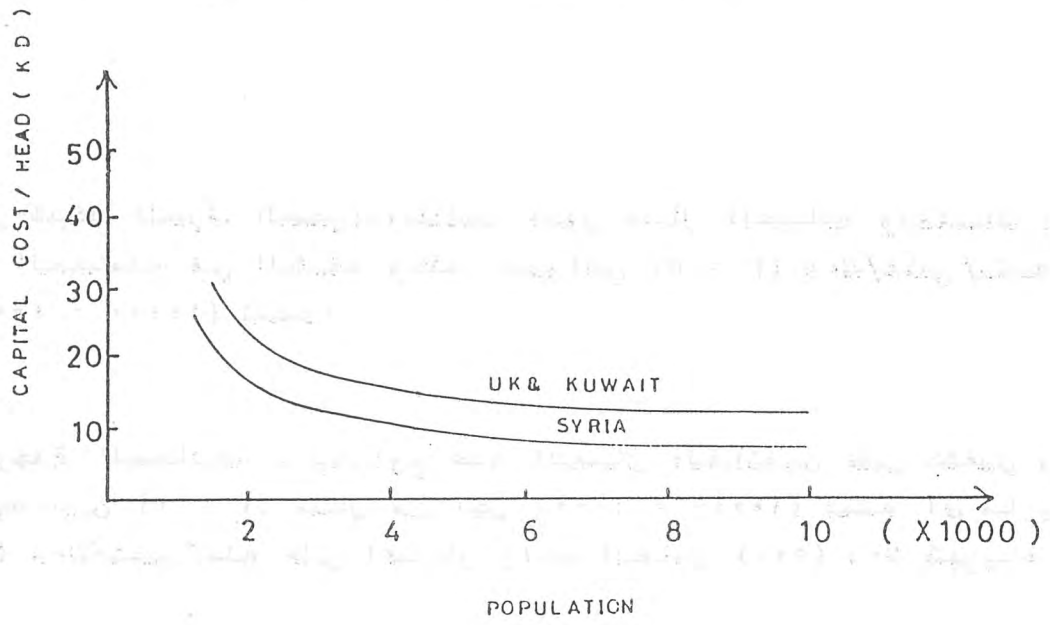
الشكل (٥): الكلفه التقديريه لانشاء شبكة الصرف الصحي بحسب

عـــــدد الســـكـــان

أما بالنسبه لتكاليف انشاء وحدة متكامله للمعالجه فقد حسبت على أساس دراساتٍ ميدانيه لعدد من الوحدات المتكامله لبعض التجمعات السكانيه في سوريا، الشكل (٦)، تراوحت بين (٢٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه وذلك في الفتره (١٩٨٠ - ١٩٩٠) [11] وقد جاءت هذه الدراسات أيضا متوافقه مع دراسات أجريت في بريطانيا من قبل المعهد البريطاني للتقنيات الهندسيه [9] ونشرت في العام (١٩٧٥)، وذلك من اجل تجمعات سكانيه (٢٠٠٠ - ٢٠٠٠٠) نسمه٠ وقد تمت المقارنه ايضا بعد اجراء التحويلات السعريه المناسبه٠ وهنا ايضا يمكن افتراض تقارب في الكلفه بين بريطانيا واقطار الخليج العربي، حيث امكن التوصل الى الشكل (٧) الذي يعطي الكلفه التقديريه لانشاء وحدات متكامله للمعالجه، لتجمعات سكانيه (٢٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه منسوبه للشخص الواحد وبالدينار الكويتي٠



الشكل (٦) : وحدة معالجه متكامله لـ (٥٠٠٠) نسمه - رابطة خريجي الدراسات العليا - الساحل السوري (اللاذقيه) - الشركه العربيه لمعالجة المياه (خضري وشركاه - حلب) - ١٩٩١



الشكل (٧) : الكلفه التقديريه لانشاء وحدات متكامله للمعالجه بحسب عدد السكان

٤ - ب - تكاليف التشغيل والاستثمار :

I - الحل البدائي : يقدر بأن خزان التحلل يحتاج الى عملية تفريغ وتنظيف مرة كل (٦) أشهر وهذه الفتره تختلف بحسب قابلية نفوذ التربه وتقل بنقصانها.

تتراوح كلفة تفريغ وتنظيف المنشأه ونقل المفرغات الى أماكن التجميع بين (٤٠ - ٥٠) دينارا كويتيا أى مايعادل :

$$\frac{٢ \times ٥٠}{١٠} = ١٠ \text{ د.ك / شخص / سنه}$$

II - الحل المقترح : هنا تحسب الكلفه لما يلي :

- استثمار شبكة الصرف الصحي: وتتضمن أجور عمال الصيانه ونفقات اصلاح الأعطال المحتمله في الشبكه وتقدر بحوالي (٥ - ٣) د٠ك/شخص/سنه من أجل (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه٠

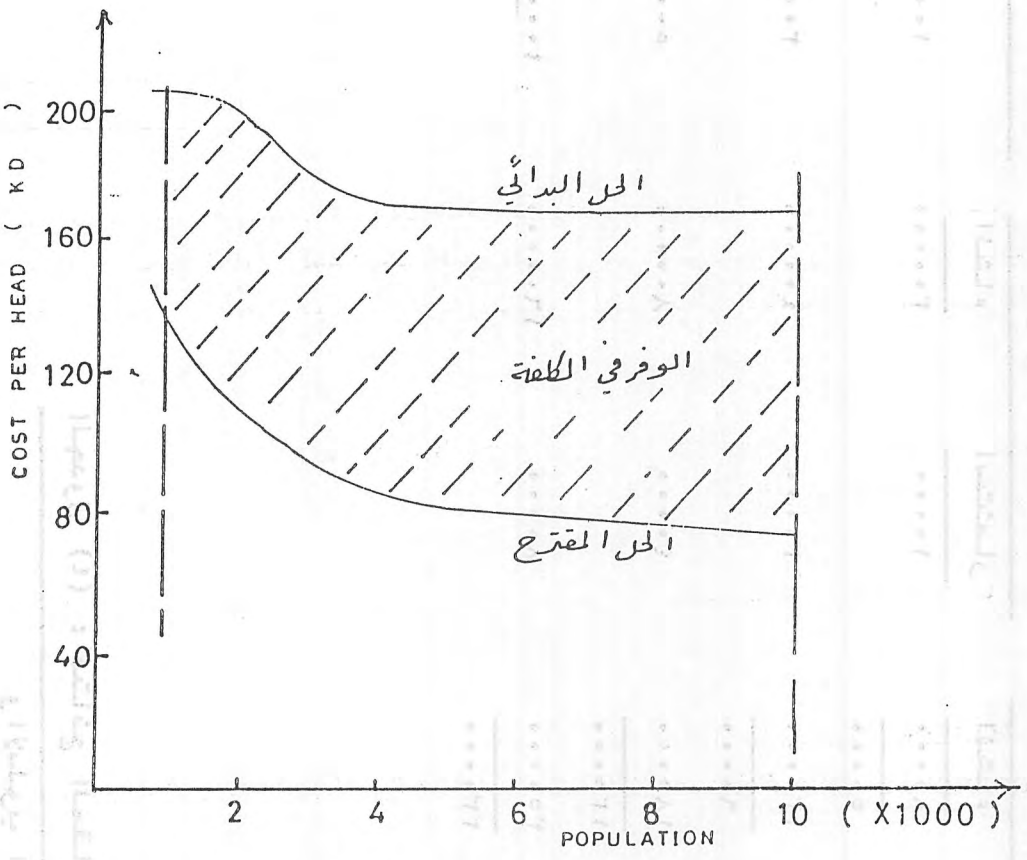
- تشغيل وحدة المعالجه : يتراوح عدد العمال القائمين على تشغيل وحدة المعالجه بين (١ - ٣) عمال من اجل (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه اى ما يعادل (٦ - ٢) د٠ك/شخص/سنه على اعتبار راتب العامل (٥٠٠) د٠ك شهريا٠

- استهلاك الطاقه : ويتراوح بين (٤ ، ٣٠) ك٠و٠س من اجل وحدات معالجة لـ (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه اى مايعادل (٠,٣) د٠ك/سخص/سنه٠
في المناطق التى يزيد عدد سكانها عن (٥٠٠٠) نسمه تم تخفيض الكلفه الاجماليه لانشاء حفر التحلل بنسبة (٢٠ %) نتيجة احتمال اشتراك اكثر من عائله واحده في الاستفاده من حفرة تحلل واحده٠

يبين الجدول (٤) نتائج المقارنه الاقتصاديه بين الطريقة البدائيه والاسلوب المقترح للمعالجه كما يعطي الشكل (٨) تمثيلا تخطيطيا للتكاليف في الطريقتين لتجمعات سكانيه (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠) نسمه٠

عدد السكان	كلفة حفرة التحلل (د٠ك)		كلفة الشبكه مع وحدة المعالجه (د٠ك)		الكلفه الاجماليه للطريقتين (د٠ك/شخص)	
	انشاء	استثمار	انشاء	استثمار	الحل البدائي	الحل المقترح
١٠٠٠	٢٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠	٨٠٠٠٠	١١٣٠٠	٢١٠	١٤١,٣
			٥٠٠٠٠			
٢٠٠٠	٤٠٠٠٠٠	٢٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠	١٦٦٠٠	٢١٠	٩٨,٣
			٦٠٠٠٠			
٥٠٠٠	٨٠٠٠٠٠	٤٠٠٠٠	١٨٥٠٠٠	٣٣٥٠٠	١٦٨	٦٨,٦
			١٢٥٠٠٠			
١٠٠٠٠	١٦٠٠٠٠٠	٨٠٠٠٠	٣٥٠٠٠٠	٥١٠٠٠	١٦٨	٦٣,١
			٢٣٠٠٠٠			

الجدول (٤) : نتائج المقارنه الاقتصاديه بين الطريقه البدائيه والاسلوب المقترح للمعالجه



الـ

والاسلوب المقترح للمعالجه (١٠٠٠ - ١٠٠٠٠٠) نسمه

يلاحظ بوضوح من الجدول (٤) والشكل (٨) التوفير الملحوظ في نفقات الانشاء والاستثمار باعتماد الاسلوب المقترح، علما بأننا لم ندخل في المقارنه الاقتصاديه الفوائد الجمه الناجمه عن امكانية اعادة استخدام المياه المعالجه في الحل المقترح في رى المزروعات وكذلك التوفير في قيمة الأدويه والمضادات الحيويه المستخدمه بكثره عاده في المناطق الملوثه مما يضيف الى مزايا الاسلوب الجديد المقترح.

٥ - الخلاصـــــــه : -

ان المزايا العديده المترافقه باستخدام الوحدات المتكامله في معالجة مياه الصرف الصحي في التجمعات القرويه تدعو الى الشروع بتبني هذا الاسلوب في مختلف القرى والمدن الصغيره ورصد الاعتمادات اللازمه لوضعه موضع التنفيذ كأحد أهم البرامج التي تتبناها البلديات في مكافحة التلوث ورفع المستوى الصحي والاجتماعي في التجمعات الريفيه استكمالا لخطط التنميه البيئيه والاجتماعيه في أرجاء الوطن العربي.

المراجـــــــــع : -

[1] تقرير مجموعه علميه في منظمة الصحه العالميه : الدلائل الصحيه لاستعمال المخلفات السائله في الزراعه وتربية الأحياء المائيه، منظمة الصحه العالميه - المكتب الاقليمي لشرق البحر المتوسط، الاسكندريه - (مصر) ١٩٩٠.

[2] -Cesspools : British Standard Code of Practice CP 302.200 - 1949

[3] أصفري، أحمد فيصل : الهندسه الصحيه والبلديات - جامعة حلب (سوريا) - ١٩٧٣.

[4] -Laak,R; Wastewater Engineering Design for Unsewered Areas, Technomic Publishing Co. Inc., Lancaster (USA)-1986.

[5] أصفري، أحمد فيصل : تصميم محطات معالجة مياه المجاري (٣٢٨ صفحه) - اصدار الشركه العربيه لمعالجة المياه (سوريا) - ١٩٩١.

[6] -Wastewater Purification, Technical Broshure, VOR (France)

[7] -Wastewater Treatment Plant Design, WPCF Manual of Practice No.8 & ASCE Manual on Engineering Practice No.36, (USA) - 1982.

[8] -Draft Report for Shuaiba Industrial Wastewater Treatment Facilities, KEO/ES, (Kuwait) - 1990.

[9] أصفري، أحمد فيصل : تصميم عدد من مشاريع شبكات الصرف الصحي في بعض القرى والمدن السوريه، وحدة العمران والتكنولوجيا، جامعة حلب (سوريا)، ١٩٨٠ - ١٩٨٢.

[10] -British Institute of Engineering Technology, Technical Study (UK),1975

[11] الشركه العربيه لمعالجة المياه (خضري وشركاه) - حلب (سوريا)، ١٩٨١ - ١٩٩٠.

جلسة رقم (٦)

(٣) نسخ تسلج

مجالات الاستفادة من المياه المعالجة

الدكتور صالح محمد المزيني

مجالات الاستفادة من المياة المعالجة

الدكتور / صالح محمد المزيني
مدير دائرة العلوم البيئية - معهد الكويت للأبحاث العلمية
ص . ب ٢٤٨٨٥ - الصفاة - الكويت 13109

تصريف المياة الصحية المعالجة إلى البيئة المائية يسبب لها مشاكل بيئية كثيرة وخطر يهدد صحة الانسان العادى الذى اعتاد على الاستفادة من هذه البيئة وكذلك اهدار كمية كبيرة من المياة المعالجة ، التى من الممكن الاستفادة منها فى مجالات التنمية المختلفة .

وأثبتت الدراسات بان العالم يوجه قصورا فى الموارد المياة العذبة الثابته ، ولهذا أخذت دول العالم المختلفة تنظر فى موارد أخرى لتسد النقص أو لتخفف من الطلب على موارد المياة العذبة الثابتة الحالية .

لهذا بدأ الباحثون ينظرون بعين الاعتبار للاستفادة من المياة الصحية المعالجة بانها مورد آخر من الممكن الاستفادة منه وان تصريف هذا النوع من المياة يعتبر خسارة مادية جسيمة ، لهذا وضعت دوائر الأبحاث والهيئات الحكومية والدولية نقاط توضح مجالات الاستفادة من هذا المورد الحيوى بعد المعالجة وكما ساهمت بوضع برامج لتطوير طرق المعالجة .

لهذا تهدف هذه الورقة إلى القاء الضوء على خطورة تصريف المياة الصحية إلى المسطحات المائية وتبين أهمية الاستفادة من هذه المياة الصحية المعالجة فى مجالات التنمية المختلفة لسد النقص الذى يواجه العالم فى المياه العذبة .

مجـالات الاستفـادة مـــن

الميـاه المعالجـة

الدكتـــور / صالـــح محمـــد المزينـــــى

المحتويـــــات

١ - المقدمـة

٢ - التخلص من مياه الصرف الصحى

٣ - استهلاك المياه العذبة وكمية المياه المعالجة بالكويت

٤ - خطورة تصريف مياه المجارى إلى الخليج العربى

٥ - الاستفادة من مياه المجارى الصحية

٥-١ - استصلاح الارض الفقيرة

٥-٢ - حقن الآبار الارتوازية والجوفية

٥-٣ - انتاج الخلايا الطحلبيه

٥-٤ - أغراض ترفيهية

٥-٥ - اغراض الصناعية كمياه للتبريد

٥-٦ - اغراض ثانوية مثل غسل الشوارع ورش الحدائق العامة

٦ - خلاصـة

٧ - المراجـع

المقدمـــــة

بدأت كثير من دول العالم تنظر فى الاستفادة من المياه المعالجة سواء كانت مياه مجارى صحية وهى المياه المستعملة فى الوحدات السكنية والادارية والمطاعم والفنادق والمبانى العامة (١) ، (٣) أو مياه صناعية معالجة حيث أثبتت الدراسات بان تصريف هذا النوع من المياه يسبب مشاكل بيئية خطرة تهدد صحة الانسان إلى جانب اهدار كمية كبيرة من المياة ، الانسان العادى بحاجة إليها حيث دلت الدراسات انه يوجد فى العالم قصورا فى موارد المياه الثابته وان الماء الذى يغطى اكثر من ٧٠٪ من سطح الأرض إلا أن ٩٧,٢٪ من هذا الماء مالح يتواجد فى البحار والمحيطات وحوالي ١,٧٪ منه متجمد فى القطبين الشمالى والجنوبى وفى قمم بعض الجبال وهذا يعنى أن المياه العذبه المتوفره للانسان والحيوان والنبات لا يزيد تواجدها عن ١٪ (٣) . علما بان هذه الكمية الضئيلة من المياه تتعرض يوميا لتلوث بواسطة الانسان . كما بين تقرير البنك الدولى لعام ١٩٧٥ بان حوالى ٩ مليون شخص فى الدول العالم الثالث تموت بسبب تلوث المياه وسوء التغذية (١) ، (٦) .

لهذا بدأ العلماء ينظرون إلى هذا المورد المائى باهتمام بالغ وبذلك بدأت الهيئات العلمية والحكومية والأهلية تعمل بكل جهد فى دول كثيرة من العالم بعمل دراسات للاستفادة من هذا المورد وأثبتت الدراسات فى هذه المؤسسات العلمية الدولية بان المياه المعالجة من الممكن الاستفادة منها بطرق كثيرة وان صرف هذا النوع من المياه بدون معالجة إلى المسطحات المائية يخلق مشاكل بيئية (٧) ، (٨) ، (١٠) . لهذا وضعت الهيئات الدولية توصيات توضح مجالات الاستفادة من هذا المورد الحيوى بعد المعالجة كما اسهمت الدراسات فى تطوير طرق المعالجة سواء كانت مياه مجارى صحية أو صناعية وهذا بدوره سوف يساعد على سد النقص الذى يواجهه العالم من المياه العذبة .

٢ - التخلص من مياه الصرف الصحى

يتم التخلص من المياه المعالجة الصحية فى المسطحات المائية سواء كانت مالحة منها أو عذبة لذلك أصبحت هذه المسطحات مستودعا دائما يستقبل فيه صرف المياة الصحية المعالجة بدلا من أن تكون مصدرا رئيسيا فى تغذية الانسان العادى ومصدرا رئيسيا لمياه الشرب وجزءا مهما للترويح النفسي للانسان لتواجد الأنشطة البحرية المختلفة ومصدرا رئيسيا فى المحافظة على توازن الغازات الطبيعية ومورد رئيسي فى انتاج المواد الضرورية الحية للكائنات البحرية الحية المختلفة بالاضافة إلى ذلك هناك العديد من المصادر الأرضية التى تصب ملوثاتها وتسبب تلوثا لهذه المسطحات مما يؤدى إلى زيادة فى تراكيز الملوثات فيها وعند الأستفادة من هذا المصدر الرئيسي المائى يحتاج إلى معالجة ومراحل تنقية اكثر تعقيدا عما يكون متعارف عليه مما يزيد من تكاليف تقنية المياه ، مع العلم بان كثير من المدن الواقعة على السواحل تستغل موقعها الجغرافي أسلوبا للتخلص من المخلفات السائلة عن طريق المسطحات المائية البحرية أو المحيطيه أو النهرية اعتقادا منها بان هذه الأجسام كبيرة لها القدرة فى استقبال كميات المياه الصحية المعالجة ولها القدرة فى نفس الوقت فى تخفيض نسبة الملوثات كالمركبات العضوية وغير العضوية والبكتريا الضارة (٢) اعتمادا على أسلوب المد والجزر والتيارات البحرية .

كما ان كميات الملوثات ونوعيتها تلعب دورا مهما فى معالجة هذه المسطحات فيزيائيا أو بيولوجيا أو كيميائيا . وقد بينت الدراسات والأبحاث العلمية عن مدى تدهور الذى أصاب بعض المناطق فى العالم البحرية من جراء تصريف المياة الصحية المعالجة وعلى سبيل المثال فى عام ١٩٧٩ ذكرت الأبحاث عن مدى الخطر الذى يهدد شواطىء البحر الأبيض المتوسط نتيجة صرف المخلفات السائلة بدون معالجة تذكر أو معالجة أولية أو أبتدائية مما أثر تأثيرا ملحوظا على نوعية ونقاوة مياهة (١) ، (٥) .

وهذه الحقائق جعلت دولا كثيرة تنظر وتعيد النظر فى استعمال هذه المياة والاستفادة منها قدر الامكان بعد المعالجة . لذا الهدف الاساسي من معالجة مياة المجارى هو إزالة ما بها من مواد عضوية وملوثات أخرى لكى لا تتاح الفرصة للميكروبات الضارة فرصة لأن تنمو فى جو خال من الاوكسجين وقد يترتب على هذا النمو أخراج الميكروبات وعديد من الغازات السامة مثل كبريتيد

الهيدروجين والهيدروجين وثانى أكسيد الكربون وأول اكسيد الكربون وغاز الميثان (٢) ، (٦) ، (٩) ، هذا وقد يؤدى إلى اخلال فى توازن مكونات المسطحات الحية وغير الحية ويمكن تلخيص عيوب صرف المياة الصرف الصحية إلى المسحطات البحرية (١) كما يلي : -

١ - تساعد على انتشار الأوبئة والأمراض الخطيرة .

٢ - تراكم الكيماويات العضوية وغير العضوية فى الكائنات البحرية الحية .

٣ - يساعد فى زيادة نسبة المواد الصلبة العالقة .

٤ - تدمير كثير من مواقع تكاثر الأسماك .

٥ - نقص فى كمية الأوكسجين الذائب ضرورى لحياه الكائنات الحية .

٦ - أنتشار كميات الأعشاب البحرية لزيادة نسبة المغذيات فى مياه الصرف الصحى .

٧ - عدم استغلال الشواطىء لاغراض الترفيهية لأنها غير صالحة خوفا من تعرض لأمراض الوبائية.

٣ - استهلاك المياة العذبة وكمية المياة المعالجة بالكويت

لا شك أن الماء أصل الحياة لهذا أهتمت حكومة الكويت بتوفير المياة الصالحة للشرب عن طريق انشاء عدة محطات التقطير والاستفادة من المياة الجوفية قليلة الملوحة واستغلال مياة المجارى الصحية المعالجة كمصدر ثالث للزراعة والتحريج (٤) حيث خفض العبء بعض الشيء فى استهلاك المياة قليلة الملوحة .

عندما نقارن استهلاك الماء فى الكويت مع زيادة عدد السكان نجد أن عدد السكان وتطور الحياة عام بعد عام ساعد على زيادة فى استهلاك المياة العذبة وزيادة فى المياة المجارى ، نجد أن عدد سكان الكويت كان يقدر عام ١٩٥٧ بنحو ٢٠٠ ألف نسمة فى عالم ١٩٦٥ وصل عدد حوالي إلى نصف مليون نسمة وإذا نظرنا قليلا فى هذه الأرقام نجد أن الأحصائيات تدل لنا أن عدد سكان الكويت تضاعف بين عام ١٩٥٧ و ١٩٧٦ خمس مرات . أما أستهلاك المياة العذبة خلال نفس الفترة أرتفع عشرون مرة تقريبا (٣) . لذا تطور استهلاك المياة فى الكويت يتطلب الكثير من الجهد والمال لتوفير كميات المياة العذبة لسد الحاجة وهذا بدورة زاد فى كميات مياة المجارى الصحية الذاهبة إلى محطات المعالجة .

توجد فى الكويت حاليا ثلاثة محطات لمعالجة المياة الصحية وهى محطة العارضية ومحطة الرقة ومحطة الجهراء وتستقبل المحطات حاليا حوالى ٧٠٪ من المياة الصحية من المناطق السكنية وبعد المعالجة يتم تصريفها مباشرة إلى البيئة البحرية مما قد يحدث تلوثا بالمياة الخليج العربى ولا يتم الاستفادة من مياة المعالجة إلا نسبة قليلة تقدر بحوالي ٣٠٪ فى مجال الزراعة والتحريج .

٤ - خطـورة تصريـف ميـاة المجـارى إلـى الخليـج العربـى

أهتمت دول المطلة على الخليج العربى من خلال برنامجها للحد من التلوث بعمل برنامج التحكم فى تلوث الخليج من خلال برنامج المنظمة الأقليمية لحماية الخليج العربى والأبحاث والدراسات التى تقوم بها كل دولة مطلة على الخليج وايمانا منها بان تعديل طرق المعالجة والأهتمام بشواطئها ومنع القاء النفايات سوف يؤدى ويساعد على نظافة شواطىء الخليج وحماية مياه الخليج العربى من التلوث حيث يعتبر الخليج العربى بحرا شبه مقفل وعمقه ضحل مقارنه مع بحار العالم الأخرى ولهذا فمياهه تختلط ببطىء مع مياه بحر العرب . وهذه الحقائق جعلت دول المنطقة تنظر بعين الأعتبار لهذا المورد من مياه مجارى الصحية وتعالج مخلفاته السائله وتعيد استعمال مياهه للاستفادة منها فى مجالات مختلفة هادفتا حماية شواطئها من التلوث .

٥ - الاستفـادة مـن ميـاه المجـارى الصحيـة

٥-١ : استصـلاح الأراضـى الفقيـرة

بدأ الاهتمام بدول العالم بطرق التخلص من مياه الصرف الصحي من بينها الأستفادة منه فى استصلاح الأراضي الفقيره مثل الصحارى ، وهذا يعتبر كأحد البدائل للمعالجة لهذه الأراضي من نقص فى مكوناتها المعدنية والغذائية ويرجع السبب فى ذلك إلى الاستفادة من الملوثات الموجودة فى المياه الصحية وهذا بدوره يساعد فى الانتاج الزراعى وكما ان صرف المياه الصحية على الأراضى يساعد فى تخلص من المواد العالقة ويساعد فى تثبيت التربة وزيد من مكوناتها العضوية (١) ، (٢). ومن هذا المنطق من الممكن أن نقول أن استصلاح الأراضى أكثر الطرق شيوعا فى

الاستفادة من المياة المعالجة ويرجع الفضل ايضا بانه يعطى مرونه كبيرة فى اختيار درجة المعالجة حسب نوعية التربة ونوعية المحاصيل المزروعة على استخدام مياة المجارى الصحية المعالجة أو غير المعالجة .

وهناك دولا كثيرة بدأت باستخدام مياة المعالجة الصحية منذ القرن التاسع منها ألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة (١) مما شجع دولا أخرى على الموضى قدوما باستخدام هذه المياة وتوسع فى استخدامها على نطاق واسع وأدى ذلك إلى وضع التشريعيات القانونية التى تنظم فى استخدام هذه المياة وذلك منعا من تلوث مياة السطحية والجوفية وإلى جانب ذلك شجع المواطنين فى استخدام هذه المياة كمورد مائي حيوي فى تشجير والأنتاج الزراعي والحيواني وكما قامت عدة حلقات دراسية وعلمية فى الولايات المتحدة واوربا ودول أخرى تنادى بتوسع باستخدام المياه الصحية وصرفها على الأراضى كأحد البدائل المتوفرة لما له من جوانب اقتصادية وبيئية مفيدة وتجدر الأشارة بانه إلى جانب الولايات المتحدة ودول أوربا طبقت استخدام مياة المجارى الصحية فانه كل من الصين والهند قد استخدمت مياة الصرف الصحي على نطاق واسع بحيث يصل ما نسبته من مياة الصرف الصحي التى تعاد استخدامها إلى اكثر من ٦٥٪ (١) . ولهذا بدأ الباحثون بتطوير طرق صرف المياه الصحي على الأرض على أنها كأحد البدائل تحمى المسطحات المائية من التلوث .

لذا يجب دراسة موقع رى من جميع جوانبه طبوغرافية قبل تصريف مياة المجارى الصحية بحيث تشمل الدراسة طبيعة الأرض واتجاه مياة الجوفية في طبقات الأرض وتوفير معلومات دقيقة عن خواص ومكونات المياة الجوفية ونفاذية التربة حتى يمكن أخذ جميع الاحتياطات الواجبه للحد من انتشار ملوثات مياة المجارى الصحية المرشحة ، وتحكم بقدر الامكان بمنسوب المياة الجوفية كذلك أخذ جميع الاحتياطات لمنع تسرب مياه الصرف الصحي من الوصول إلى مصادر الشرب الرئيسية حتى لا يكون هناك خطورة على الصحة العامة ، كما أنه يجب اختيار المحاصيل الزراعية التى تسقى بالمياه المجارى وتأكد من انها ليست ملوثه خاصة التى تؤكل طازجه ، كما يجب وقاية عمال الزراعة من خطورة الأصابة بالأمراض المعدية من اجراء استخدام هذه المياه ومراقبة الحالة الصحية للحيوانات التى تعتمد فى شربها على المياة الصحية المعالجة وبما ان مياة المجارى غنية بالمواد الغذائية وخاصة النتروجين الذى يساعد فى زيادة طول النبات وارتفاع اوراقه إلا فى بعض الأحيان قد تقلل من انتاجية محاصيل النبات وتؤخر فى نضج ثماره (١) . لهذا يرى الباحثون من الأفضل خلط مياه المجارى بنسبه من المياه الجوفيه أو السطحية لتقليل المواد الغذائية المتواجدة فيه . ولتغلب على

هذه المشكلة ينصح البعض بأنه من الضرورى معالجة مياه الصحية معالجة ثانوية قبل استخدامها وذلك لتقليل مكونات المواد العالقة على التربة وتقليل نسبة المواد النتروجينية التى تؤثر على انتاجية النبات . وإلى جانب الطرق الثانوية للمعالجة فانه توجد طرق مختلفة من الممكن أن تستخدم فى هذا المجال منها بحيرات الأكسدة والبحيرات المهواة التى تهدف فى الغالب على تحسين حالة مياة المجارى الصحية والقضاء على البكتريا الضارة والطفيليات والمواد العالقة والحصول فى النهاية على مياة نظيفة خاليه من شوائب يمكن استخدامها دون أى ضرر يذكر .

٥-٢ : حقن الآبار الارتوازية والجوفية

ويتم شحن الآبار الجوفية بطريقين أما بغمر الأراضى بالمياة المجارى الصحية المعالجة بحيث تترك لفترة حتى يتسرب جزء من هذه المياة للتربة من ثم تنضم فى حركتها مع المياة الجوفية وفى مسارها الطبيعي وخلال تسربها فى طبقات الأرض تفقد هذه المياة المواد العالقة والكائنات الدقيقة وما بها من مركبات غير عضوية مثل الفوسفور ومركبات النتروجين على حبيبات التربة وبعد فترة من الزمن يمكن رفع هذه المياه والاستفادة منها فى أغراض شتى كمورد مائى حيوى .

٥-٣ : انتاج الخلايا الطحلبية

تضخ مياة المجارى إلى البحيرات المهواة حيث تنمو الطحالب فى مياة المجارى فى درجات حرارة ما بين ٢٠ إلى ٣٠ درجة مئوية (١) . ويمكن استخلاص هذه الطحالب مباشرة من هذه البحيرات واستخدامها كغذاء للحيوان ومصدرا للطاقة . ويتحكم فى نمو هذه الطحالب عدة عناصر منها درجة الحرارة ، وكثافة الضوء والعناصر الغذائية المتوفرة فى مياة المجارى . كما ان انتاج كمية كبيرة من الطحالب فى هذه البحيرات يساعد بدرجة كبيرة فى انتاج كميات من غاز الأوكسجين الضرورى لحياة الكائنات الحية وفى نفس الوقت تقوم باستهلاك كميات من غاز ثاني اكسيد الكربون وإزالة نسبة كبيرة من المواد الملوثة لهذه المياه .

٥-٤ : أغـراض ترفيهيـة جماليـة

استغلال مياه المجارى الصحية المعالجة فى انشاء بحيرات صناعية بعد تحسين نوعيتها بعد معالجتها عن طريق توفير وحدات إضافية للمعالجة إذا تتطلب الأمر ويمكن أن تستغل هذه البحيرات فى تربية الأسماك أو فى اغراض ترفيهية أخرى . أما تربية الأسماك فهى طريقة قديمة ولازالت تستخدم فى بلاد كثيرة وفى الحقيقة زاد الاهتمام بهذه الفكرة مع استخدام بحيرات الاكسدة فى معالجة مياة المجارى حيث ساعد فى زيادة تراكيز الطحالب ويعتبر هذا النوع من الطحالب مصدرا غذائيا جيدا للأسماك كما ذكر سابقا ويجب مراعاة أن الأسماك حساسة للظروف البيئية المحيطة بها لذلك يتطلب الأمر مراعاة كمية الاوكسجين الذائبة وغيرها من أمور التى تتعلق بحياة الأسماك ولذلك يتطلب الأمر بمداومة عمل التحاليل الكيمائية والبيولوجية والبكترولوجية لمعرفة مستوى التلوث حتى نتاكد من سلامة الأسماك .

٥-٥ : أغـراض الصناعيـة كميـاة التبريـد

يمكن استغلال مياة المجارى الصحية المعالجة فى عمليات تبريد تربينات والآلآت المستخدمة داخل المصانع وهذا بدوره يساعد على خفض كمية استهلاك المياة العذبة ويمكن هذا يتطلب تحسين فى نوعية مياة المجارى الصحية المستخدمة لتطابق المواصف المطلوبه لهذا يتطلب إضافة بعض الأحيان وحدات معالجة إضافية إلى المياة المعالجة الصحية لتحقيق الأغراض الصناعية والأستفادة من هذه المياه .

٥-٦ : اغـراض ثانويـه مثـل غسيـل الشـوارع والحدائـق العامـة

تشير الدراسات بان معدلات استغلال المياة العذبة فى الأغراض العامة مثل رش الشوارع والنوادى الرياضية والحدائق العامة ومقاومة الحرائق بإزياد نظرا لتطور هذه النشاطات وهذا بدوره يضع ضغطا كبيرا على موارد المياة العذبة المحدودة لهذا فاستغلال مياة المجارى الصحية المعالجة سوف يخفف من معدلات إستهلاك المياة العذبة فى الأغراض سابقة الذكر ويساعد فى استغلال المياة المعالجة .

خلاصـــــــة

يشكل التلوث مشكلة عالمية ولها أسباب عديدة فإزالة التلوث بحد ذاته يحتاج إلى مجهود متواصل حيث أن التلوث يشكل خطرا على الصحة العامة وعلى البيئة ، لذا يجب مكافحته بشتى الوسائل . وتعتبر مياة المجارى الصحية من أكثر ملوثات البيئة خطورة وبخاصة على الانسان لانها تحتوى على العديد من أنواع الملوثات العضوية وغير العضوية والبيولوجية . وتصريف هذه الملوثات إلى المسطحات المائية سوف يخلق خلل فى اتزانها ولهذا يتطلب الأمر معالجة لهذه المياة من أجل الحد من خطورتها والمحافظة على البيئة المائية نظرا لان كميات مياة المعالجة كبيرة . فإعادة استعمالها سوف يوفر كميات كبيرة من المياة تساعد على تخفيض من معدلات استهلاك المياة العذبة ، لهذا فمياه المجارى الصحية من الممكن أن تستخدم فى مجالات متعددة منها استصلاح الأراضى الفقيرة زراعيا ورى المحاصيل الزراعية الغير مثمرة والاغراض الصناعية كالتبريد وفى المجالات الترفيهية مثل رى الحدائق والمنتزهات وتربية الأسماك فى بحيرات صناعية وشحن الآبار الارتوازية الجوفية .

لذا نرى أن استصلاح الأراضى باستخدام مياه المجارى الصحية أكثر الطرق شيوعا فى الاستفادة من المياة المعالجة لانها تعطى مرونه فى اختيار طرق المعالجة على حسب نوع التربة والمحصول .

لذا يجب دراسة البدائل المختلفة عند البدأ فى التخلص من مياة الصرف الصحى أو عند إعادة استعمالها من جميع الجوانب البيئية والأقتصادية قبل البدأ فى اختيار أحد منها .

المراجـــــع

١ - العدوى ، محمد صادق ، هندسة الصرف الصحي (٢) دار صادق للنشـــر ، الاسكندرية ، ١٩٩٠ .

٢ - السلال ، عبدالكريم ، مياة المجارى : معالجتها ، فوائدها وأضرارها ، مجلة البيئة ، العدد التسعون ، السنة التاسعة ، ١٩٩٠ ، ١٩ - ٢١ .

٣ - ملحم ، اياد ، استهلاك الماء ودور المواطن الواعى ، مجلس البيئة ، العدد السابع عشر ، ١٩٨٣ ، ١٧-٢٠ .

٤ - العوضى ، فاطمة م ، ابراهيم ابراهيم ، قضايا رئيسية فى إدارة مصادر المياة فى دولة الكويت ، ندوة الكويت لادارة وتقنية موارد المياة فى المناطق الجافة ، الكويـــت ٥ - ٧ ، أكتوبر ١٩٨٧ .

٥ - زخيا ، جيلدا ، مشكلة التلوث فى البحر الأبيض المتوسط ، معهد الأنمـــاء العربى ١٩٨٢ .

٦ - العدوى ، محمد صادق ، النظم الهندسية للتغذية والمياة ، دار الراتب الجامعية ، بيروت ، ١٩٨٨ .

٧ - دائرة العلوم البيئية ، التلوث فى البيئة البحرية الكويتية ، معهد الكويت للأبحاث العلمية ، مطابع القبس الكويت ، ١٩٩٠ .

٨ - إدارة حماية البيئة ، كيف نحمى مياهنا من التلوث ، قسم التدريب والتوعيـة البيئية - وزارة الصحة العامة - الكويت .

٩ - المدنى ، اسماعيل م ،، محمد ج . أبو شوشه ، مياة المجارى وطرق معالجتها ، جمعية حماية البيئة ، ١٩٩٠ .

١٠ - كولاس ، رنيه ، تلوث المياة ، منشورات عويدات ، بيـــــروت ، ١٩٨١ .

خيارات إعادة استخدام المياه في البحرين

الدكتور سامي دانش، الدكتور أحمد خاطر، محمد الأنصاري

خيارات اعادة استخدام المياه في البحرين

د. سامي دانش - د. أحمد خاطر - باحث محمد الأنصاري
مركز البحرين للدراسات والبحوث
ص.ب. ٤٦٩ المنامة - دولة البحرين

الخلاصة

أدت ندرة الموارد المائية الطبيعية بدولة البحرين مع التزايد المستمر في الطلب على المياه لمواكبة النمو المضطرد والتنمية المتسارعة الى اختلال الميزان المائي ، وأصبح من الضروري اللجوء الى استخدام مصادر المياه الغير تقليدية لتوفير الاحتياجات المائية والمحافظة على استمرارية الموارد الطبيعية المتاحة. ويتم في هذه الورقة تلخيص الوضع المائي في الدولة مع تحليل دور اعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة كمورد اضافي في اصلاح العجز في الميزان المائي وذلك من خلال التقييم الكمي والنوعي لهذا المورد ومناقشة خيارات اعادة الاستخدام للأغراض المختلفة من زراعة وشحن للخزانات الجوفية أو كمصدر لمياه التحلية مع بيان ما يترتب على ذلك من تحسين في الوضع المائي ، ومن ثم استخلاص النتائج والتوصيات في هذا الشأن.

مقدمة

١- تشاهد دولة البحرين كسائر دول الخليج العربي ومنذ مطلع الستينات نموا مضطردا في قطاعات التنمية المختلفة مع تزايد معدلات النمو السكاني وما صاحب ذلك من توسع عمراني وتنمية اجتماعية وإقتصادية متسارعة . وقد أدى ذلك الى تزايد الطلب على المياه باعتبارها عنصرا اساسيا في العملية التنموية .

٢- والبحرين بحكم موقعها الجغرافي والظروف البيئية والمناخية القاحلة لمنطقة الخليج تندرفيها المصادرالطبيعية للمياه . وقد انعكس ذلك على استغلال المياه الجوفية من تكوينات الدمام والتي هي المصدر الطبيعي الوحيد للمياه بالدولة حيث اصبحت الكميات المستخرجة من الخزان الجوفي تفوق

القدرة التعويضية للنظام المائي . ومن ثم اختل الميزان المائي وبات المصدر الطبيعي الوحيد للمياه مهددا مما جعل الاتجاة الى استخدام مصادر المياه غير التقليدية والبديلة من تحلية المياه المالحة ومعالجة مياه الصرف الصحي أمرا ضروريا للوفاء بالاحتياجات المائية كما ونوعا مع المحافظة على موارد المياه الطبيعية من أجل مستقبل تنموي ينعم بالأمن المائي .

٣- ورغم أن إعادة استخدام المياه تمثل موردا واعدا في عصر تتفاقم فيه مشاكل محدودية الموارد الطبيعية للمياه ، إلا أن استثمار هذا المورد لم يلقى الاهتمام الكافي بصفة عامة . ويتطلب ذلك دراسة الخيارات المطروحة والبدائل المتاحة لامكانيات إعادة استخدام المياه في المجالات المختلفة .

٤- وتعرض هذه الورقة الوضع الحالي لمياه الصرف الصحي وعمليات معالجتها وإعادة استخدامها في البحرين ، كما تناقش خيارات إعادة الاستخدام في المجالات المتعددة من زراعة وحقن لتغذية الخزانات الجوفية بالإضافة إلى امكانية استعمالها كمصدر لمياه التحلية . ويتم عرض وتحليل ذلك في ضوء الامكانيات الحالية والاسقاطات المستقبلية لمياه الصرف الصحي كمصدر مائي ، ومن خلال التقييم الكمي والنوعي لهذا المورد . هذا بالإضافة الى تحديد موائمة المورد لأغراض الاستخدام من حيث التأثيرات المترتبة وانعكاس ذلك على إصلاح العجز في الميزان المائي والمساهمة في تنمية موارد المياه بالدولة مع استخلاص النتائج والتوصيات في هذا الشأن بما يخدم صياغة البدائل المقترحة كعنصر أساسي في عملية التخطيط المائي الشامل .

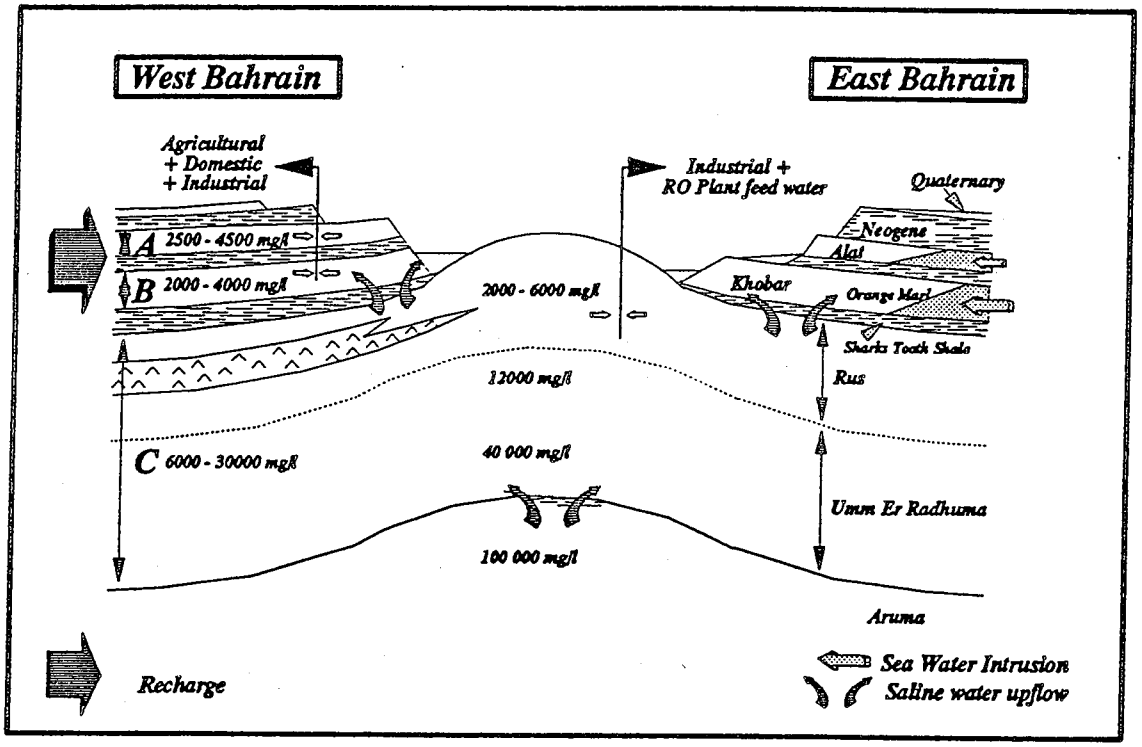
الموزانة المائية لدولة البحرين.

الموارد المائية الطبيعية.

٥- تعتبر المياه الجوفية المورد المائي الطبيعي المتاح بدولة البحرين . والخزان الجوفي المتواجد في البحرين والمعروف بتكوينات الدمام هو امتداد لمناطق التصريف الطبيعي للخزان العربي الشرقي والذي يمتد من المناطق الوسطى بالمملكة العربية السعودية الى المنطقة الشرقية بالمملكة ثم البحرين . وتتدفق مياه هذا الخزان في اتجاة الشرق بالتغذية الطبيعية من الامطار الساقطة على منكشفات الخزان الواقعة بمرتفعات صحراء الدهناء بالمملكة . وتنقسم تكوينات الدمام في البحرين الى نطاقين، الجزء العلوي من التكوينات ويسمى بخزان العلات ويرمز له محليا بالنطاق (ا) ، ويتكون من الحجر الجيري الدولوميتي بسمك يتروح بين ١٥ الى ٢٥ متر وتتروح ملوحة المياه به مابين ٢٥٠٠ الى ٤٥٠٠ ملليجرام/لتر إلا أن انتاجية هذا الخزان محدوده للغاية وذلك نظرا لضعف الخواص الهيدروليكية لعضو العلات .ويلي هذا العضو ما يعرف بخزان الخبر و هو ما يسمى محليا بالنطاق (ب) ، ويتكون من حجر جيري دولوميتي متشقق بسمك من ٤٠ الى ٥٠ متر حيث تتروح ملوحة المياه ما بين ٢٠٠٠ الى٤٠٠٠ ملليجرام/لتر . ونظرا لجودة الخواص الهيدروليكية لعضو الخبر والتي تتمثل في ناقليته العالية بفعل تشقق الصخور فإنه يعتبر الخزان الجوفي الرئيسي المنتج للمياه في البحرين .

٦- وتقع أسفل تكوينات الدمام طبقات أخرى حاملة للمياه تعرف بتكوين الرس - أم الرضمة ويرمز لها محليا بالنطاق (ج) ، ويتراوح سمكها بين ١٠٠ الى ٣٠٠ متر إلا أن الملوحة المرتفعة لهذه المياه والتي تتروح بين ٦٠٠٠ الى ٤٠٫٠٠٠ ملليجرام/لتر يجعل استخدامها مقصورا على عمليات التحلية كمصدر بديل لمياه البحر .

٧- ويبين القطاع الهيدروجيولوجي التخطيطي (شكل رقم ١) نظام الخزانات الجوفية والتي تتعرض الى تداخل مياه البحر على امتداد الساحل الشرقي للبحرين بالإضافة الى الاتصال الهيدروليكي بين النطاقات الحاملة للمياه مع تفاوت ملوحتها . ويخضع الاتزان الديناميكي للنظام المائي من النواحي الكمية والنوعية الى العلاقات التي تفرضها كمية التغذية المتجددة الواردة بالتدفق الطبيعي والضغوط المائية المصاحبة لها والكميات المسحوبة . وتتسبب زيادة المسحوب عن الوارد بالتغذية في خفض الضغوط المائية مما يؤدي الى إختلال الاتزان الديناميكي ويسعى النظام المائي الى الوصول الى حالة اتزان جديدة من خلال تقدم جبهة تداخل مياه البحر داخل الخزان بالإضافة الى التسرب الرأسي من الطبقات العميقة الأكثر ملوحة وبالتالي تتحق ظروف الاتزان الجديدة على حساب تدهور نوعية مياه الخزان نتيجة لتلوثه بالمياه المالحة . ومن ثم يلزم لحماية مورد المياه الجوفية بتكوينات الدمام والمحافظة عليها باعتبارها المورد الطبيعي الوحيد أن يكون السحب منها في حدود التغذية المتجددة والتي تقدر بحوالي ١٠٠ مليون متر مكعب سنويا هي الايراد المائي الطبيعي للدولة [١] .



(شكل رقم ١) قطاع هيدروجيولوجي تخطيطي لنظام الخزانات الجوفية في البحرين

الطلب على المياه.

٨- من الناحية التاريخية ، حتى أواخر الثلاثينات اعتمد المجتمع البحريني على العيون الطبيعية والينابيع المتدفقة في تلبية الطلب على المياه للاستخدامات المختلفة ، وقد اتسم هذا الوضع بالمحافظة على اتزان النظام المائي للخزان الجوفي بتكوينات الدمام ، حيث أن المنصرف من الخزان بالتدفق الطبيعي لا يسمح بتعدي حدود الايراد المتجدد . ويقدر معدل التصريف من الينابيع والعيون المتدفقة في ذلك الوقت بحوالي ٧٠ مليون متر مكعب سنويا [١] . وقد بدأ الاعتماد على حفر الآبار والحصول على الاحتياجات المائية بالتصريف الصناعي مع بداية الاربعينات . وعلى مدى العقود الثلاثة الماضية شكلت صناعة النفط القاعدة الأساسية لما شهده المجتمع البحريني من تحولات جذرية في البنية الاقتصادية والاجتماعية وما صاحب ذلك من تزايد سكاني وتوسع عمراني ونمو مضطرد لقطاعات التنمية المختلفة بالدولة . وادي ذلك الى تزايد الطلب على المياه والاعتماد بصورة رئيسية علي الآبـــار في تأمين متطلبات الاستخدام المختلفة [٢] .

٩- ويوضح الجدول رقم (١) ملخصا تاريخيا للنمو في معدلات استخراج المياه الجوفية في الفترة من ١٩٢٤ الى ١٩٩٠ موزعة على مختلف قطاعات الاستخدام . ويتضح من متابعة هذه الارقام أن معدل الاستخراج الآمن ، والمقدر بحوالي ١٠٠ مليون متر مكعب سنويا وهي كمية التغذية الطبيعية الواردة لحاملة مياه الدمام ، قد تم تجاوزه منذ منتصف الستينات ليصل إجمالي ما يتم استخراجه في مطلع التسعينات الى حوالي ١٨٧ مليون متر مكعب سنويا .

معدلات الاستخراج من حاملة مياه الدمام (مليون متر مكعب)						
المصدر / الاستخدام	بابكو ١٩٥٣	ساتكليف ١٩٦٦	ايتالكونسلت ١٩٧١	جي.دي.سي ١٩٧٩	إدارة مصادر المياه ١٩٨٥	إدارة مصادر المياة ١٩٩٠
القطاع الزراعي	٤٨	٨٩	٩٦	٩٠	٩٩ر٩٠	١٢٤ر٦٦
القطاع السكاني	٥ر١٠	١٦ر٤٥	٢٠ر٩٠	٤١ر١٠	٤٧ر٤٠	٥٦ر٨٠
القطاع الصناعي	١٠ر١٠	٨ر١٥	٨ر٢٠	٧	٤ر٩٠	٥ر٨٦
الاجمـــــــالي	٦٣ر٢٠	١١٣ر٦٠	١٢٥ر١٠	١٣٨ر١٠	١٥٢ر٢٠	١٨٧ر٣٢

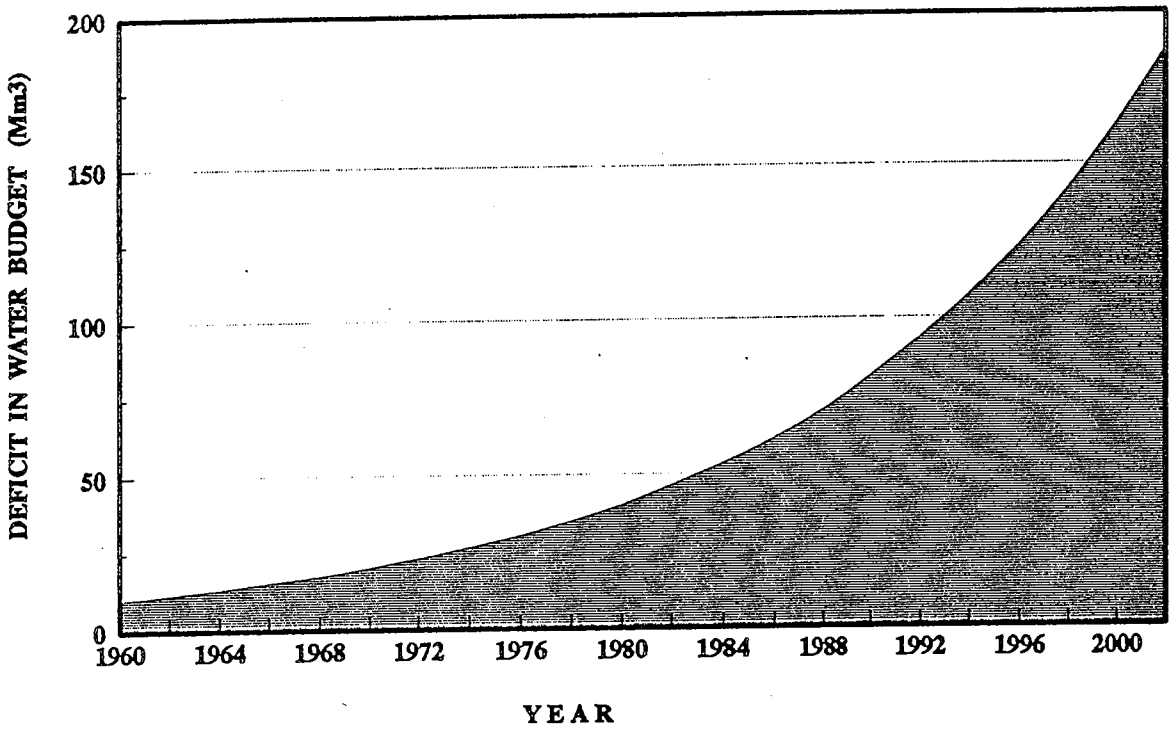
جدول رقم (١) ملخص تاريخي لمعدلات استخراج المياه الجوفية
من حاملة الدمام (١٩٥٣ - ١٩٩٠)

وقد تسبب هذا الوضع في استنزاف مورد المياه الطبيعي الوحيد مما أدى ذلك الى هبوط الضغوط

المائية للخزان بما يتروح بين ٤٠ الى ٧٥٪ من القيم الاصلية للضغوط في وضع الاتزان مما ترتب عليه التدهور المستمر في نوعية مياه الخزان نتيجة لتداخل مياه البحر بالإضافة الى التسرب الرأسي من المياه شديدة الملوحة بالطبقات العميقة .

العجز في الميزان المائي.

١٠- باستعراض كل من الموارد المائية الطبيعية المتاحة والطلب الحالي على المياة لأغراض الاستخدام المختلفة ، باعتبارهما عنصري الايراد والمنصرف للموازنة المائية ، يتضح أن المنصرف قد تعدى المسموح به مما جعل الميزان المائي يعاني عجزا يقدر حاليا بحوالي ٨٧ مليون متر مكعب سنويا . وبتطبيق اسلوب التحليل الارتدادي على بيانات التطور التارخي للعجز في الميزان المائي منذ منتصف الستينات وحتى الآن (شكل رقم ٢) ، يتضح أن النمو في هذا العجز يسلك مسلكا رياضيا كدالة أسية في الزمن وأنه إذا استمر التزايد في معدلات الطلب على المياه للأعوام القادمة على نفس النمط الحالي فإن هذا العجز سوف يصل الي حوالي ١٦٩ مليون متر مكعب بحلول عام ٢٠٠٠م .



(شكل رقم ٢) تطور العجز في الميزان المائي

١١- ونظرا لما ينطوي عليه استمرار تشغيل الخزان الجوفي تحت ظروف العجز المائي الحالي واستنزاف المخزون الجوفي لتعويض هذا العجز من خطر يهدد السلامة المائية للخزان وما ينذر به من فقدان صلاحية هذا المورد الوحيد ، فإ يتحتم تخفيض المسحوب من الخزان وايجاد مصادر مائية

بديلة لتعويض العجز في الميزان المائي . والسبيل الى ذلك هو اللجوء الى مصادر المياه الغير تقليدية من تحلية المياه المالحة واعادة استخدام المياه .

١٢- وقد أدى تدهور نوعية المياه الجوفية والحاجة الى توفير مورد مائي تتناسب نوعيته وأغراض الاستخدام المنزلي الى اللجوء الى تحلية المياه المالحة وخلطها بالمياه الجوفية ، حيث تم انشاء أول محطة لتحلية المياه بالدولة في العام ١٩٧٥م. وتبلغ الطاقة الانتاجية لمحطات التحلية الثلاث الموجودة حاليا حوالي ٦٤ مليون متر مكعب سنويا ومن المقرر زيادة انتاج المياه المحلاة لتأمين الطلب المتزايد على المياه بالقطاع السكاني عن طريق انشاء محطتين اضافيتين بطاقة انتاجية تبلغ ١٥ مليون جالون يوميا لكل منهما ، وبذلك ترتفع الطاقة الانتاجية في العام ١٩٩٥ م الى حوالي ٨٨ مليون متر مكعب سنويا ثم الى حوالي ١٠٢ مليون متر مكعب سنويا بعد الانتهاء من المحطة الثانية في العام ١٩٩٨ م . وجدير بالذكر أن خلط المياه المحلاه بالمياه الجوفية أمر ضروري لمواكبة التزايد المستمر في الطلب على المياه حيث أن توفير هذه الكميات عن طريق التحلية فقط يتطلب رصد استثمارات ضخمة لانشاء محطات جديدة بالاضافة الى زيادة ما تتحمله الدولة من دعم حكومي لسعر الامداد بهذه المياه .

١٣- أما فيما يتعلق باعادة استخدام المياه فقد بدأت هذه التوجيهات في العام ١٩٨٢ م بانشاء محطة توبلي المركزية لمعالجة مياه الصرف الصحي وبهدف اعادة استخدام هذه المياه . وتتناول هذه الورقة بالتفصيل الجهود المبذولة في هذا الصدد مع بيان ما لهذا المصدر من دور في تخفيض العجز في الميزان المائي والخيارات المطروحة لامكانيات اعادة استخدام المياه في الدولة .

مياه الصرف الصحي في البحرين.

الصرف الصحي كمصدر مائي.

١٤- مياه الصرف الصحي في البحرين هي عبارة عن خليط من صرف شبكة المخلفات المنزلية والتي تشكل اكثر من٨٠٪ من الايراد الكلي بالإضافة الى تصريف خطوط الصرف والتي تستقبل ما يرد من خزانات التعفين والمتسرب من مياه جوفية ومياه الامطار ومياه البحر وكذا المياه الناتجة من عمليات الحفر ومواقع الإنشاء . وقد كان يتم صرف هذه الخطوط مباشرة الى البحر الا أنه قد تم توصليها بالشبكة الرئيسية للمجاري لاعتبارات الحد من التلوث البيئي .

١٥- وتعتبر محطة توبلي ، والمسماه بمركز التحكم في تلوث المياه ، المحطة الرئيسية لأعمال معالجة الصرف الصحي بالدولة . والمحطة بقدرتها الحالية مصممة لخدمة تجمع سكاني يبلغ حوالي٤٥٠ر٠٠٠ نسمة مع امكانية التوسع بها مستقبلا لمرحلة قادمة لخدمة ٦٠٠ر٠٠٠ نسمة هي التقدير السكاني المتوقع للعام ٢٠٠٥م . ولأغراض التصميم أخذ في الاعتبار معدل صرف كلي يبلغ ٢٧٢ لتر للفرد يوميا وعلى أساس أن متوسط معدل استهلاك الفرد من المياه للأغراض المنزلية في حدود ٢٢٠ لتر يوميا .

وعليه تم تقدير متوسط كميـــــات مياه الصرف الصحي الخام الواردة للمحطة يوميا [٣] علي النحو المبين في الجدول رقم (٢).

العام	١٩٩٠	١٩٩٢	١٩٩٥	٢٠٠٠	٢٠٠٥
التصريف المتوسط م٣/يوم	١١٠ر٠٠٠	١٢٣ر٠٠٠	١٣٢ر٠٠٠	١٤٥ر٠٠٠	١٦٠ر٠٠٠

جدول رقم (٢) اسقاطات التصريف المتوسط لمياه الصرف الصحي الخام الوراده الى محطة توبلي.

١٦- وعند التعامل مع مياه الصرف الصحي كمصدر مائي للاستخدام فإنه من الضروري عند تحديد التصريف المتاح مراعاة تأمين استمرارية الامداد من المصدر ويتحدد ذلك على اساس ادنى قيم التصريف خلال أشهر العام مع استبعاد التغيرات الموسمية . وتشيرقياسات التصريف الواردة الى محطة توبلي الى أن أدنى قيم للتصريف تقدر بحوالي ٨٠٪ من القيم المتوسطه على مدار العام [٣] . وعلى ذلك فإن التصرفات المتاحة كمصدر مائي للاستخدام يمكن تقديرها على النحو المبين في الجدول رقم (٣) . وتمثل هذه التقديرات مايمكن إضافته الى موارد المياه بالدولة للمساهمة في خفض العجز في الميزان المائي من خلال إعادة الاستخدام .

العـــام	١٩٩٠	١٩٩٢	١٩٩٥	٢٠٠٠	٢٠٠٥
التصريف المتاح للاستخدام مليون متر مكعب سنويا	٣٢	٣٦	٣٩	٤٢	٤٧

جدول رقم (٣) التصرفات المتاحة من مياه الصرف الصحي كمصدر مائي للاستخدام.

أعمال معالجة الصرف الصحي

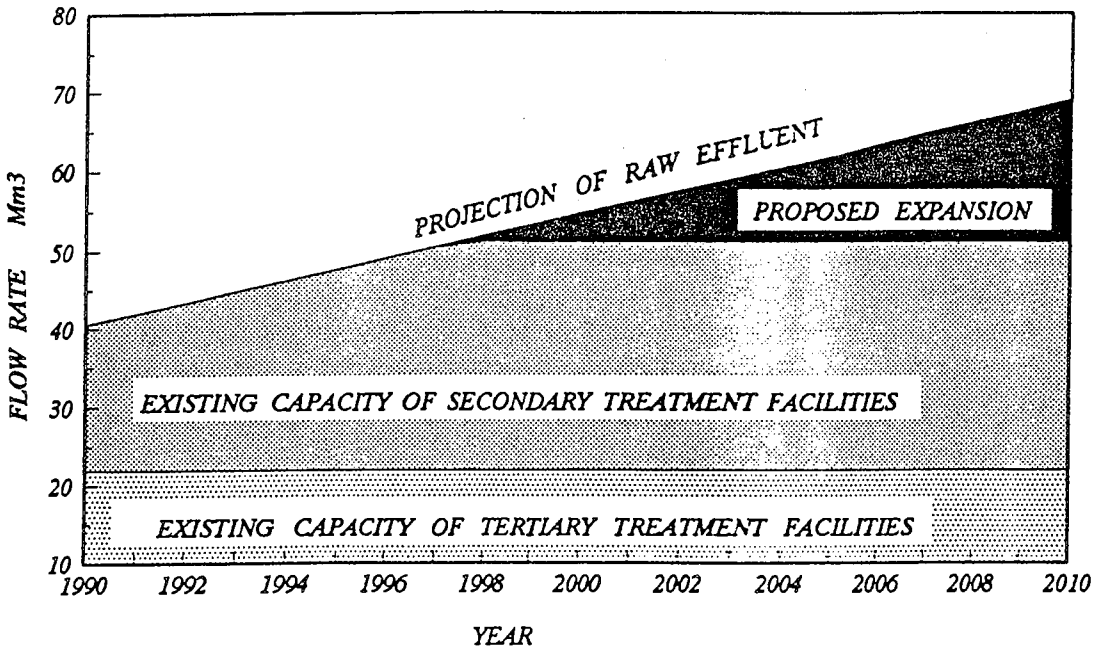
١٧- بعد إجراء المعالجة الثنائية بالطريقة التقليدية في محطة توبلي يتم تحويل ما يرد من المحروقات جزئيا أو كليا إما الي تجهيزات المعالجة الثلاثة لإعادة الاستخدام ، أو صرفه الى البحر بعد أن يتم تعقيمه بالكلور . وتتم المعالجة الثلاثية بالتحويل الى حوض التجميع لمضخات الدفق المعالج ثنائيا حيث تضخ الى قناة تغذية المرشحات مع كلورتها أوليا للتحكم في نمو الطحالب بالمرشحات . ويتم الترشيح في مرشحات ثنائية الوسط مكونه من فحم الانثراسيت والرمال ثم ينقل الدفق الى خزانات التعقيم بالأوزون ويلي ذلك المرور بخزانات الكلوره النهائية للمحافظة على النسبة المحدده للكلور المتبقي بنظام النقل والتخزين والتوزيع . ويمكن تلخيص القدرة الحالية لأعمال المعالجة الثلاثية بمحطة توبلي على النحو المبين في الجدول رقم (٤).

أعمال المعالجة الثلاثية الحالية	عدد الوحدات وقدرتها	القدرة الاعتيادية الكلية	القدرة القصوى الكلية
مضخات الدفق المعالج ثنائيا	٣ مضخات قدرة كل منها ٧٠٠ل/ث ٢ مضخة قدرة كل منها ١٧٥ل/ث	٠٠٠ر١٣٦م٣ /يوم	٠٠٠ر١٥١م٣/يوم
مرشحات ثنائية الوسط	١٠ مرشحات بمساحة سطحية ٥٥ م٢ لكل منها	٦٠٠ر١٠٥م٣ /يوم	٤٠٠ر١٥٨م٣/يوم
نظام الكلوره	٢ كلوره بمعدل تغذية ٢٠ جم لكل	٤٤٠ر٨٦م٣ /يوم	٠٠٠ر١٤٤م٣/يوم
نظام التازون	٢ مولد أوزون بقدرة من ٥ر١٢ الي ٥ر١٧ كجم/ساعة لكل منها خزان تازون بحجرتين سعة كل منها ٨٦٠م٣	من ٦٧٠ر٤٦م٣ /يوم الى ٧٠٠ر٨٥م٣/يوم من ٥٠٠ر٨٢م٣/يوم الى ٠٠٠ر١٦٥م٣/يوم	٠٠٠ر١٢٠م٣/يوم ٠٠٠ر١٦٥م٣/يوم

جدول رقم (٤) – القدرة الحالية لأعمال المعالجة الثلاثية بمحطة توبلي.

١٨- والنظام الحالي لنقل وتخزين وتوزيع مياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثيا يتكون من محطة الضخ الرئيسية ، والتي تقوم بالضخ مباشرة من خزان الكلورة داخل المحطة ، ثم شبكة التوزيع التي تقوم بتغذية خزانات اعادة الاستخدام الواقعة بالمناطق الزراعية. وتبلغ القدرة القصوى لمحطة الضخ ٢٠٨ر٦٢م٣/يوم على أساس التشغيل لمدة ٢٤ ساعة يوميا. وامكانيات التخزين المتاحة حاليا تشمل خمسة خزانات بسعة تخزينية ٤٠٠٠ متر مكعب لكل خزان ، والتي توجد بمناطق عذاري ، حوارات عالي ، البحير وبوري.

١٩- رغم أن الطاقة الانتاجية للمعالجة الثنائية بمحطة توبلي تبلغ في المتوسط حوالي ١٤٠ر٠٠٠ متر مكعب يوميا، فانه يتضح مما سبق أن القدرة التشغيلية لأعمال المعالجة الثلاثية في المرحلة الحالية يمكنها فقط أن تتناول بالمعالجة تصريف في حدود ٨٠٠٠٠٠ متر مكعب يوميا تحت ظروف التشغيل الاعتيادية. الا أن الطاقة الانتاجية الفعلية للمعالجة الثلاثية لا يمكن أن تتعدى ٦٠٠٠٠٠ متر مكعب يوميا وهو ما يسمح به القدرة القصوى لتصريف محطة الضخ الرئيسية. ومن ثم يتضح أهمية التوسعة المقترحة لزيادة الطاقة الانتاجية لمحطة توبلي وخاصة ما هو مقترح للتوسع في أعمال المعالجة الثلاثية بما يسمح بالتناول الكامل للتصريف المعالج ثنائيا [٣]. واذا ما أخذ في الاعتبار اسقاطات كميات مياه الصرف الصحي الخام فان ذلك يتطلب الانتهاء من أعمال التوسعة بمحطة توبلي بحلول العام ١٩٩٧م على أقصى تقدير كما هو موضح بالشكل رقم (٣).



(شكل رقم ٣) اسقاطات كميات مياه الصرف الصحي الخام
والقدرة الانتاجية لأعمال المعالجة الحالية

نوعية مياه الصرف الصحي المعالجة.

٢٠- تشكل الصفات النوعية لمياه الصرف الصحي المعالجة عاملا أساسيا في اعادة استخدام هذه المياه وذلك من ناحية المواءمة لأغراض الاستخدام وما قد ينطوي عليه اعادة الاستخدام من مخاطرعلى الصحة العامة . ويتم اجراء كافة التحاليل المعملية القياسية بصفة دورية على المراحل المختلفة لعمليات المعالجة بمحطة توبلي . والجداول رقم (٧.٦.٥) تعطي نموذجا لنتائج هذه التحاليل بدءا من التصريف الخام الى ما بعد المعالجة الثلاثية . وتؤكد نتائج التحاليل الدورية أن المياه المعالجة ثلاثيا تتمتع بمواصفات نوعية تتطابق والمعايير العالمية الموصى بها لاعادة استخدام هذه المياه ، ويمكن تلخيص ذلك على النحو التالي :

- كان تركيز الأملاح الكلية المذابة في حدود ٥٠٠٠ مجم/ل عند بداية تشغيل المحطة في العام ١٩٨٢م ، ولقد تحقق ما كان متوقعا من تحسن ملوحة المياه لتصبح الآن في حدود ٣٠٠٠ مجم/ل ، كما أنه من المتوقع أن يستمر الانخفاض في تركيز الأملاح ليصبح في حدود ٢٢٠٠ مجم/ل بحلول العام ٢٠٠٠م .

- الدفق المعالج متوازن بدرجة عالية ويتطابق في ذلك مع أكثر المعايير العالمية تحفظا من ناحية المحتوى المنخفض للعكارة والأموتيا والمواد العضوية بما يؤكد فاعلية عملية التعقيم بالمحطة . هذا بالاضافة الى أن محتوى النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم يقع في نطاق الحدود المسموح بها ولا يشكل أية عائق لاعادة الاستخدام .

TUBLI WATER POLLUTION CONTROL CENTRE

RAW SEWAGE JULY 1991

DATE	FLOW	TEMP	H2S	PH	COND	TSS	VSS	COD	BOD	NH3	BOD L.KG	SS L.KG	COD/BOD	TANKER DISCHARGE PH	TANKER DISCHARGE H2S
01-Jul-91	137689	32	8.8	7.4	4100	191	147	448	208	21.7	28639	26299	2.15	7.4	42.0
02-Jul-91	115000	32	11.2	7.5	4100	141	113	380	183	23.1	21210	16342	2.08	7.3	43.2
03-Jul-91	161151	32	12.6	7.3	4000	215			228		34462	32497		7.5	52.0
04-Jul-91	159590			7.3	3700	303		804	248	21.2	39578	48356	3.24		
05-Jul-91	156666			7.3	4000	159	128	400	196	22.2	30560	24910	2.05		
06-Jul-91	133432	31	10.0	7.3	3800	194	166	500	210	22.5	28021	25886	2.38	7.4	46.1
07-Jul-91	132472	31	20.1	7.4	4000	179	137	404	178	21.8	23580	23712	2.27	7.8	60.0
08-Jul-91	132801	31	9.8	7.4	4000	205	156	408	220	20.9	29216	27224	1.85	7.5	39.0
09-Jul-91	142649	31	11.0	7.4	4000	164	116	336	195	22.6	27797	23378	1.72	12.0	59.1
10-Jul-91	130751	31	9.4	7.2	4100	196			268		35041	25689		11.9	52.1
11-Jul-91	132600			7.2	4000	208			203		26896	27560			
12-Jul-91	126100				4200	179		372	175		22068	22572	2.13		
13-Jul-91	126647			7.4	4200	137	113	332	157	21.5	19884	17351	2.11		
14-Jul-91	146062	31	15.4	7.3	4100	216	165	400	183	21.3	31403	31549	2.19	7.8	56.0
15-Jul-91	132191	31	8.2	7.4	4100	177	144	380	215	20.4	22208	23398	1.77	7.4	25.5
16-Jul-91	136300	31	12.3	7.3	4200	168		356	166	22.4	28974	23402	2.12	7.4	20.5
17-Jul-91	111489	31	10.8	7.2	4200	247			208		24305	27538		11.4	56.8
18-Jul-91	119000			7.2	4300	184		404	218	21.3	23800	21896	1.85		
19-Jul-91	121950			7.4	4000	183	152	448	200	23.0	26219	22317	2.24		
20-Jul-91	136281	31	16.6	7.1	4300	139			215		19488	18943		12.4	67.9
21-Jul-91	128869			7.3	4700	183			143		18886	23583			
22-Jul-91	131600			7.3	4500	119	99	380	145	23.1	25004	15660	2.48		
23-Jul-91	142750	32	14.8	7.3	4000	223	175	488	190	21.3	23982	31833	2.57	8.2	57.0
24-Jul-91	139761	31	12.3	7.3	4300	148			168		24468	20685		7.5	43.6
25-Jul-91	127089			7.3	4900	196		368	175	17.9	15886	24909	2.10		
26-Jul-91	115300			7.3	4900	152	114	348	125	19.5	14413	17526	2.78		
27-Jul-91	134410	32	10.0	7.3	4900	157	126	388	190	22.4	25538	21102	2.04	9.4	47.0
28-Jul-91	135501	32	9.6	7.4	4800	153	116	372	160		21680	20732	2.33	9.2	44.2
29-Jul-91	139600	32	11.3	7.5	4700	179	133	428	175	20.5	24430	24988	2.45	12.6	49.8
30-Jul-91	152087	32	10.8	7.3	4800	178	137	384	160	20.5	24334	27071	2.40	7.4	47.6
31-Jul-91	140651	32	10.2	7.2	4800	160			205		28833	22504		7.2	36.6
MIN	111489	31	8.2	7.1	3700	119	99	332	125	17.9	14413	15660	1.72	7.2	20.5
MAX	159590	32	20.1	7.5	4900	303	166	804	268	23.1	39578	48356	3.24	12.6	67.9
AVR	134586	31	11.8	7.3	4261	182	136	413	191	21.5	25503	24668	2.2	8.8	47.3

جدول رقم (٥) نموذج لنتائج التحاليل الدورية لمياه الصرف الصحي الخام

TUBLI WATER POLLUTION CONTROL CENTRE

SECONDARY EFFLUENT JULY 1991

DATE	TEMP	DO	PH	TURB	COND	TSS	VSS	COD	BOD	NH3	Br-
01-Jul-91	28.5	4.3	7.7	0.4	3800	1	1	20	1.2	0.30	8.9
02-Jul-91	29.0	4.1	7.8	0.4	3800	1	1	64	1.4	0.06	9.8
03-Jul-91	29.0	4.6	7.7	0.5	4000	1			2.8		
04-Jul-91			7.7	0.3	3800	1		40	1.2	0.15	13.7
05-Jul-91			7.8	0.4	3700	3	2	56	0.8	0.09	12.0
06-Jul-91	27.5	3.3	7.8	0.5	3700	3	2	64	1.4	0.11	13.6
07-Jul-91	28.0	3.0	7.9	0.5	3700	3	1	36	1.0	0.18	13.7
08-Jul-91	28.0	4.0	7.9	0.8	3900	6	3	40	2.8	0.11	13.0
09-Jul-91	28.0	3.8	7.9	0.4	3800	3	1	28	1.6	0.16	13.4
10-Jul-91	28.0	3.8	7.7	0.5	4000	4			2.2		
11-Jul-91			7.6	0.6	3800	2			1.0		
12-Jul-91				0.6	4000	2		56	1.2		
13-Jul-91			7.8	0.5	3900	2	1	56	1.6	0.13	11.1
14-Jul-91	28.5	4.0	7.8	1.0	4000	3	2	44	0.8	0.25	9.3
15-Jul-91	29.0	2.7	7.8	1.1	3900	2	1	40	2.6	0.20	10.6
16-Jul-91	29.0	3.6	7.8	0.4	4100	2		48	1.6	0.21	10.3
17-Jul-91	29.0	3.2	7.7	0.4	4000	1			1.2		
18-Jul-91			7.7	0.3	4100	2		28	1.6	0.34	
19-Jul-91			7.7	0.4	4000	2	1	44	1.4	0.16	10.2
20-Jul-91	29.0	2.5	7.6	0.5	4000	2			1.8		
21-Jul-91			7.3	0.4	3900	1			0.2		
22-Jul-91			7.7	0.4	3900	1	1	28	1.2	0.11	11.6
23-Jul-91	29.0	2.5	7.7	0.4	3900	2	1	44	0.8	0.08	11.7
24-Jul-91	29.0	1.9	7.8	0.5	3800	1			1.6		
25-Jul-91			7.7	0.6	3700	3		44	1.6	0.17	
26-Jul-91			7.8	0.5	3900	2	2	48	1.2	0.19	10.9
27-Jul-91	29.0	2.6	7.7	1.0	4000	7	5	56	4.2	0.27	12.7
28-Jul-91	29.0	2.2	7.9	1.0	4000	3	2	40	1.4	0.88	10.3
29-Jul-91	29.0	1.7	7.8	0.6	4000	3	2	44	2.2	0.80	11.9
30-Jul-91	29.0	2.1	7.9	0.7	4000	6	5	56	1.8	0.79	11.8
31-Jul-91	28.5	2.2	7.7	0.6	4400				2.0		
MIN	27.5	1.3	7.3	0.3	3700	1	1	20	0.2	0.06	8.9
MAX	29.0	4.6	7.9	1.1	4400	7	5	64	4.2	0.88	13.7
AVR	28.7	3.1	7.7	0.5	3919	2	2	45	1.6	0.26	11.5

جدول رقم (٦) نموذج لنتائج التحاليل الدورية للتصريف المعالج ثنائيا

TERTIARY EFFLUENT JULY 1991

PH	TURB	COND	TSS	VSS	COD	BOD	NH3	Br-
7.7	0.1	3900	1	<1	36	1.4	0.02	8.6
7.5	0.2	3800				1.4	0.08	7.6
7.9	0.2	3900				1.4	0.03	9.6
7.8	0.2	4100				1.8		
7.6	0.2	3900				1.2		
7.7	0.1	3800				1.2	0.05	11.3
7.6	0.2	3800				2.2	0.04	11.2
7.8	0.2	3800	1	<1	36	0.8	0.06	11.9
7.9	0.2	4000			32	1.4	0.04	11.5
7.7	0.2	3900				0.8	0.06	12.2
7.6	0.2	4000				1.2		
7.5	0.2	3900				0.6		
8.1	0.2	4100				1.2		
7.6	0.2	4100				1.8	0.05	9.9
7.7	0.1	4000	1	1	36	0.4	0.07	8.8
7.5	0.1	4000			40	2.0	0.05	9.1
7.6	0.2	4100				1.0	0.06	9.3
7.5	0.2	4100				1.2		
7.6	0.1	4200				1.8		
7.5	0.2	3900				1.6	0.06	11.7
7.6	0.2	4100				1.2		
7.7	0.2	3900			24	0.6		
7.8	0.2	4000	1	<1		1.6	0.05	11.0
7.7	0.2	3900				1.8	0.03	11.6
7.5	0.2	3900				1.0		
7.4	0.2	3900				1.8		
7.6	0.2	3900				0.8	0.07	10.5
7.6	0.2	4000				1.6	0.05	11.3
7.9	0.2	4100	1	0.4	44	1.8	0.04	11.2
7.7	0.2	4000				1.6	0.39	11.3
7.5	0.3	4000				1.6	0.08	10.7
7.4	0.1	3800	1	<1	24	0.4	0.02	7.6
8.1	0.3	4200	1	1	44	2.2	0.39	12.2
7.6	0.2	3968	1	<1	35	1.4	0.07	10.5

جدول رقم (٧) نموذج لنتائج التحاليل الدورية للتصريف المعالج ثلاثيا

- محتوى المعادن الثقيلة بصفة عامة لا يشكل أي خطورة أو قيود على اعادة استخدام المياه للأغراض المختلفة ، الا أنه يوصى بمراقبة التغيرات في تركيز كل من الكادميوم والموليبدينوم والبورون لاقتراب التركيز الحالي لهذه العناصر من الحدود المسموح بها .

- الصفات البكتريولوجية والفيروسية مطابقة لما توصى به أكثر المعايير العالمية تحفظا ولا تشكل أي قيود على اعادة الاستخدام من هذه الناحية ، الا أنه ما تشير اليه التحاليل من تواجد الديدان الطفيلية في بعض الأحيان يشكل خطرا رئيسيا على صحة مستخدمي المياه ، ويجب الالتزام في هذا الصدد بما ورد بدليل منظمة الصحة العالمية المنشور حديثا [٤] من حيث ضرورة القضاء على هذه الظاهرة ويمكن الوصول الى ذلك من خلال تحسين كفاءة عملية الترشيح وزيادة جرعات الكلور النهائية أو اعطاء جرعات اضافية من الكلور في خزانات الاستخدام مباشرة ، مع ضرورة عمل الاجراءات الوقائية لمستخدمي المياه .

خيارات اعادة استخدام المياه.

الاستخدام لأغراض الري.

٢١- يعتبر القطاع الزراعي المستهلك الأول لمورد المياه الجوفية وصاحب النصيب الأكبر من العجز في الميزان المائي ، والذي يتم تعويضه بزيادة المسحوب من المخزون الجوفي ، اذ تبلغ نسبة استهلاك هذا القطاع ما يزيد عن ٦٦٪ من اجمالي الكميات المسحوبة من الخزان الجوفي . وبذلك فان تخفيف العبء عن المياه الجوفية يتطلب بالدرجة الأولى توجيه ما يتم توفيره من موارد مائية غير تقليدية الى القطاع الزراعي ليتحقق أكبر قدر من المساهمة في تعويض العجز في الميزان المائي .

٢٢- وانطلاقا من هذه الحقيقة ، فقد استهدفت أعمال معالجة مياه الصرف الصحي بمحطة توبلي منذ بداية تشغيلها أن يتم اعادة استخدام المياه المعالجة ثلاثيا لأغراض الري . وتم التخطيط لذلك على أساس أن القدرة الانتاجية للمحطة في مرحلتها الحالية يمكنها المساهمة في امداد ٧٥٠ هكتار من الأراضي الزراعية باحتياجاتها المائية وهو ما يمثل حوالي ٢٥٪ من المساحة الفعلية المنزرعة حاليابالدولة . وبذلك يمكن للطاقة الانتاجية الحالية من المياه المعالجة ثلاثيا تعويض ٢٥٪ من العجز الحالي في الميزان المائي . هذا بالاضافة الى أن ادخال التوسعات المستقبلية المقترحة لزيادة الطاقة الانتاجية سوف يسمح بزيادة المساحة الممكن ريها بالمياه المعالجة الى ١٧٥٠ هكتار بما يحقق انخفاضا في المسحوب من الخزان الجوفي يقدر بحوالي ٦٠٪ من والاحتياجات المائية الحالية للقطاع الزراعي .

٢٣- ورغم ما توفره مياه الصرف الصحي المعالجة من مورد اضافي فعال فقد حالت بعض المصاعب ، والتي من أهمها اتمام مشروعات توصيل مياه المعالجة الى مناطق الاستخدام ، دون تحقيق ما كان مستهدفا ، حيث يبلغ ما يتم حاليا اعادة استخدامه لأغراض الري بالقطاع الزراعي فقط حوالي

١٥٫٠٠٠ متر مكعب يوميا بالاضافة الى ٥٠٠٠ متر مكعب يوميا يتم استخدامها بالقطاع البلدي لأغراض الزراعة التجميلية ، أي ان اجمالي ما يعاد استخدامه من مياه لا يتعدى ٣٠٪ من الطاقة الانتاجية لأعمال المعالجة الثلاثية بالمحطة حاليا في حين يتم صرف ٤٤٫٠٠٠ متر مكعب يوميا من المياه المعالجة الى البحر دون الاستفادة منها . ونظرا للدور الفعال الذي يمكن أن يحققه هذا المورد الاضافي من خلال استخدامه لأغراض الري بالقطاع الزراعي وما يترتب عليه من تحسين الوضع المائي بالدولة فلابد أن تتوحد الجهود لحل المشاكل التي تواجه اعادة استخدام هذه المياه بكامل طاقتها .

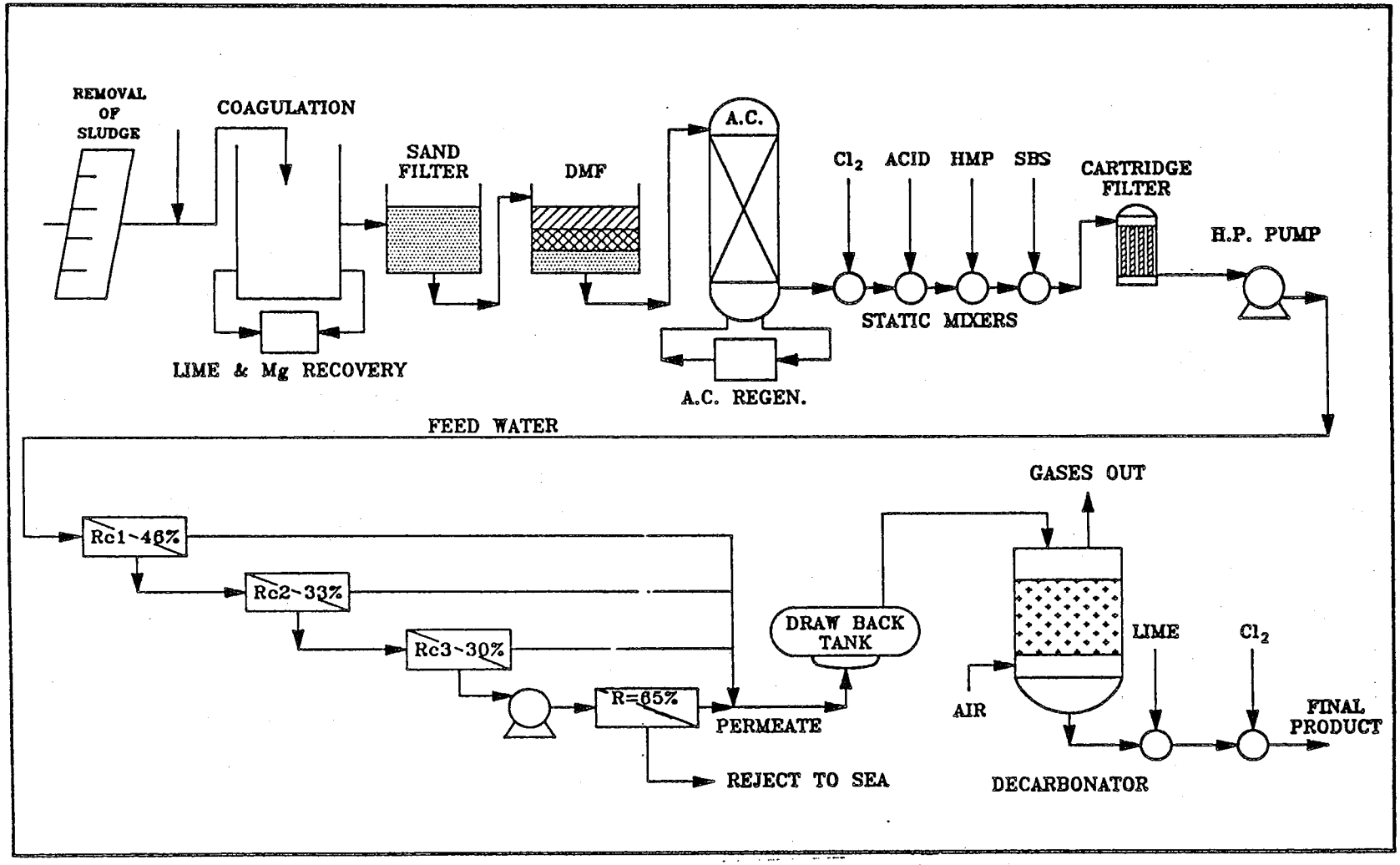
الاستخدام لتغذية المياه الجوفية.

٢٤- يعد استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في تغذية الخزانات الجوفية من أفضل طرق اعادة استخدام المياه وأكثرها شيوعا . الا أن ذلك يستلزم توفر الظروف الهيدروجيولوجية المناسبة لمتطلبات عملية الشحن وتبعا لهذه الظروف يتم الشحن اما عن طريق تمرير المياه في أحواض أو قنوات مكشوفة ومتصلة بالطبقات الحاملة للمياه الجوفية أومن خلال الضخ العكسي باستخدام آبار خاصة بالشحن . وتتحدد الطرق المناسبة للشحن بعد التعرف على الخواص الهيدروليكية للطبقات السطحية والطبقات الحاملة للمياه وضغوط المستويات المائية الجوفية والتغير بها على مدار العام . وعادة ما يتم اجراء التجارب لتحديد القدرة الاستيعابية لمواقع الشحن المقترحة والطرق المناسبة والمفاضلة بينهم . كما يوصى ألا يكون السحب من هذه المياه الا بعد السماح بمكوثها في الخزان الجوفي لفترات قد تصل الى ٤٠٠ يوم [٥] مع ضرورة اجراء التحاليل الدورية للتأكد من خلو المياه الجوفية من أية ملوثات .

٢٥- ويمكن للمياه المعالجة ثنائيا في محطة توبلي والتي يتم صرفها الى البحر لزيادتها عن القدرة الحالية لأعمال المعالجة الثلاثية الاستفادة منها باعادة استخدامها في شحن الخزانات الجوفية مما يوفر موردا اضافيا في الموازنة المائية يقدر بحوالي ٢٢ مليون متر مكعب سنويا . واذا ما تم شحن هذه المياه في الخزان الجوفي الرئيسي بتكوينات الدمام فان ذلك سوف يحقق خفضا يقدر بحوالي ٢٥٪ من العجز المائي الحالي بالاضافة الى ما سوف يصاحب ذلك من تحسن في نوعية المياه الجوفية . ولا شك أن مثل هذه الاضافة الى الموارد المائية تستوجب عمل الدراسات والتجارب لاختبار امكانية تحقيق ذلك

الاستخدام كمصدر لمياه التحلية.

٢٦- أدى التطور الكبير في كفاءة أغشية التناضح العكسي وقدرتها على طرد العناصر الغير مرغوب فيها الى جعل فكرة استخدام مياه الصرف الصحي كمصدر للتحلية أمرا ممكنا من الناحية الفنية ومقبولا من الناحية العملية . الا أن نجاح هذه التقنية يعتمد الى حد كبير على مدى كفاءة عمليات المعالجة الأولية في التخلص من المعلقات والعكارة وعسر الماء والرواسب البيولوجية والزيوت والنيترات والبكتيريا حتى يتوفر المصدر الملائم للتحلية [٦].



(شكل رقم ٤) رسم تخطيطي لأعمال المعالجة ونظام

تحلية مياه الصرف الصحي

٢٧- والشكل التخطيطي رقم (٤) يوضح مقترح لما يجب أن تشمله أعمال المعالجة الأولية والتي تبدأ بعملية التصفية وفصل الأوساخ ثم اضافة كيميائيات التخثير وجمع المعلقات الغروية يليها المرشحات حيث يتم حجز الرقائق حتى أقطار ١٠ ميكرومتر ، وبعدها يمرر الدفق الى الفحم الحيواني المنشط لعزل الزيوت وبحيث لا تزيد نسبة تواجدها عن ٥ر٠ الى ٩ر١ جزء في المليون. كما يتم التخلص من الأكسجين الكيميائي بنسبة ٦٥٪ والتخلص من العضويات العامة بنسبة ٥٨٪ والتخلص من الفينول بنسبة ٩٩٪. وفي مرحلة ما قبل التحلية مباشرة تعقم المياه بالكلور كما تعالج كيميائيا للقضاء على القشور الكلسية. وبعد ذلك تضخ المياه بعد رفع ضغطها الى أغشية التحلية حيث تخرج المياه المحلاة الى خزان الارتداد ويتم اضافة هيدروكسيد الكالسيوم وجرعات التعقيم النهائي بالكلور.

٢٨- ويمكن استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة ثنائيا من محطة توبلي ، والتي يتم صرفها الى البحر حاليا ، كمصدر لمياه التحلية باستخدام تقنية التناضح العكسي . ويقترح أن يتبع في ذلك نظام التحلية المرحلية كما هو موضح بالرسم التخطيطي بالشكل رقم (٤) حيث يتم في المرحلة الأولى منها استخدام مجموعة الأغشية الملائمة للمياه قليلة الملوحة من النوع المماثل لأغشية (دوبونت ٩) ، وفي المرحلة الثانية يتم استخدام مجموعة الأغشية الملائمة للمياه عالية الملوحة من النوع المماثل لأغشية (دوبونت ١٠) حتى يتم استكمال عملية التحلية الى مستوى الاستعاضة الكلي للانتاج والمطلوب تحقيقه. وقد تم استخدام المعادلات التصميمية [٧]، [٨] في عمل الحسابات المبدئية باعتبار مستوى استعاضة ٩٠٪ للانتاج الكلي يقابله مستوى استعاضة ٧٥٪ لأغشية المرحلة الأولى وباعتبار أن مستوى الاستعاضة لأغشية المرحلة الثانية يثبت عند ٦٥٪ لتفادي تراكم الأملاح الكبريتية ، وتبلغ كمية المياه الممكن انتاجها من تحلية مياه الصرف الصحي تحت هذه الظروف حوالي ٦٢٠٠٠ متر مكعب يوميا. وتشير الحسابات الى أن الطاقة اللازمة لذلك تبلغ حوالي ١٤٠ ميغاوات وأن سعر انتاج المياه بالمواصفات التي تسمح بها منظمة الصحة العالمية لن يتعدى ١٥٠ فلس لكل متر مكعب في حين يبلغ سعر انتاج المتر المكعب لتحلية المياه الجوفية بملوحة ١٣٠٠٠ مجم/ل حوالي ٢٩٠ فلس مما يؤكد الجدوى الاقتصادية لتحلية مياه الصرف الصحي المعالجة ثنائيا اذا ما قورنت بالتحلية التقليدية للمياه المالحة.

النتائج والتوصيات.

٢٩- باستعراض الوضع المائي في دولة البحرين يتبين أن الميزان المائي يعاني عجزا حاليا يقدر بحوالي ٨٧ مليون متر مكعب سنويا ، وأن هذا العجز قد بدأ في الظهور منذ منتصف الستينات وأخذ في التزايد نتيجة لزيادة الطلب على المياه عن الموارد الطبيعية المتاحة. ويتم تعويض هذا العجز باستنزاف المخزون الجوفي مما أخل باتزان النظام المائي الطبيعي وأدى الى تدهور نوعية المياه الجوفية وبات المصدر الطبيعي الوحيد للمياه مهددا بفقدان صلاحيته للاستخدام.

٣٠- يعتمد اصلاح الموازنة المائية للدولة على ضرورة تخفيض العجز في الميزان المائي عن طريق

ترشيد الاستهلاك بتضييق الفجوة بين الطلب والاحتياج ، هذا بالاضافة الى سرعة توفير المصادر البديلة من موارد غير تقليدية لتعويض العجز. وتعتبر اعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة موردا اضافيا يجب المسارعة في ادخاله بالموازنة المائية واستغلاله بكامل طاقته نظرا لما لذلك من دور فعال في تحسين الوضع المائي والذي لا يتحمل اهدار أي مورد اضافي.

٣١- بطرح ومناقشة الخيارات الممكنة لاعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة يتضح ضرورة العمل على توجيه المياه المعالجة ثلاثيا من محطة توبلي وبكامل قدرتها الانتاجية الحالية الى القطاع الزراعي للوفاء باحتياجات الري باعتبار أن هذا القطاع هو المستهلك الأول للمياه ، وسوف يسهم ذلك في تعويض ٢٥٪ من العجز الحالي في الميزان المائي من خلال ما يوفره من مورد اضافي يقدر بحوالي ٢٢ مليون متر مكعب سنويا. أما فيما يتعلق بانتاج المحطة من المياه المعالجة ثنائيا ، فان اعادة استخدام هذه المياه يمثل زيادة اضافية للايراد المائي تقدر بحوالي ٢٨ مليون متر مكعب سنويا ، لذلك فانه يوصى بعمل دراسات الجدوى الفنية والاقتصادية للمفاضلة بين اعادة استخدام المياه المعالجة ثنائيا في تغذية الخزانات الجوفية أو كمصدر لمياه التحلية وبذلك يمكن تعظيم الفائدة من اعادة استخدام المياه.

٣٢- رغم أن مياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثيا بمحطة توبلي تتطابق والمواصفات العالمية من حيث اعادة الاستخدام ، الا أن ظهور مشكلة الديدان الطفيلية في بعض الأحيان تتطلب سرعة ادخال التعديلات اللازمة على أعمال المعالجة الحالية للقضاء على هذه المشكلة مع ضرورة اتخاذ الاجراءات الوقائية المناسبة لحماية الصحة العامة لمستخدمي المياه وبذلك تتوفر الشروط الكاملة لاعادة استخدام هذا المورد الاضافي دون قيود.

٣٣- تشير اسقاطات كميات مياه الصرف الصحي الخام الى ضرورة تنفيذ التوسعات المقترحة لمحطة توبلي وزيادة القدرة الانتاجية لأعمال المعالجة بها قبل حلول العام ١٩٩٧م ، حتى يمكن استيعاب الزيادة المتوقعة من هذه الكميات ، ومن ثم تحقيق اضافات جديدة للايراد المائي من خلال اعادة استخدام هذه المياه.

المراجع:

1- Ground water Development consultants (GDC), Umm Er Rhaduma Study - Bahrain Assignment, Volume 3, Ministry of Commerce and Agriculture, State of Bahrain, 1979.

٢- النعيمي ، مبارك أمان ، تقرير عن الموارد المائية بدولة البحرين ، ادارة مصادر المياه - وزارة التجارة والزراعة - دولة البحرين ، ١٩٨٨م.

3- Associated Consulting Engineers (ACE), Report on Treated Effluent Utilization - Phase II, Ministry of Commerce and Agriculture - Ministry of Works, Power and Water, State of Bahrain, 1989.

4- WHO, Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Technical Report Series 778, WHO, Geneva, 1986.

5- Shuval, H. I., Health Factors in the Re-use of Waste Water for Agricultural, Industrial and Municipal Purposes - Problems in Community Waste Management, Public Health Papers, No. 38, WHO, Geneva, 1969, pp. 76.

6- Ghabris, A. H. & etal, Municipal Wastewater Renovation by Reverse Osmosis- State of the Art, 4th Congress on Desalination and Water Reuse, IDA, Kuwait, 1989.

7- Wade, N. M., RO design Optimization, Desalination, Vol. 64, 3, 1987.

8- Al-Zubaidi, A. A. Z., Parametric Cost Analysis Study of Seawater Reverse Osmosis Systems Design in Kuwait, Desalination, Vol. IV, 11, 1989.

أعتبارات

أعادة استخدام المياة المبتذله فى الزراعة

أعداد

دكتور مهندس / سامر مخيمر
مجموعة ابحاث معالجة وتحلية المياة
هيئة الطاقة الذرية - القاهرة

دكتور مهندس / جمال ابراهيم
كلية الهندسة - جامعة المنوفية - مصر

مقدمة :

تهدف هذه الدراسة الى استعراض الجوانب الاساسية المتعلقة بقضية اعادة استخدام المياه المبتذلة فى الرى أو بمعنى أخر تبعات احتواء مياه الرى على نسبة من المياه المبتذلة المعالجة كليا او جزئيا أو المياه المبتذلة الخام.

ويكتسب هذا الموضوع اهميته من الزوايا التالية :-

× ان تزايد ندرة المياه فى المنطقة العربية بوجه عام يستلزم التخطيط المتكامل للاستفادة من البدائل المتاحه - والتى من بينها - اعادة استخدام المياه المبتذله .

× ان عدم مواكبة التطور فى اعمال معالجة المياه المبتذلة للنمو السريع فى معدلات استهلاك المياه النقية ،قد ساهم فى تسرب وامتزاج المياه المبتذله ومياه الرى .

وتناول هذه القضية بهدف الوصول الى نظرة اكثر شمولا حول طبيعتها يقتضى دراسة جميع جوانبها وابعادها الرئيسية وفرز عناصرها ، مع التركز على الجوهرى منها .

وقد تم تناول القضية من زوايا ثلاث - فمن الزوايا البيئية اهتمت الدراسة بتأثيرات اعادة استخدام المياه المبتذلة البيولوجية والبكتريولوجيه ، وايضا تاثيرات الملوحة والمعادن الثقيله على التربة والمحاصيل المروية بالمياه المبتذلة أو المعالجة كليا او جزئيا .

ومن الزوايا الصحيه اهتمت الدراسة بتحديد نوع وحجم المخاطر الصحية الناجمة عن اعادة استخدام المياه المبتذله فى الرى .

اعتبارات إعادة استخدام المياه المبتذلة في الزراعة

الدكتور سامي مخيمر، الدكتور جمال إبراهيم

ثم تناولت اثر مختلف طرق المعالجة فى ودورها ازاحة تلك المخاطر
ومن الزوايا الانتاجية ، اهتمت الدراسة بعدد من القضايا الاساسية :
- اختيار المحاصيل الملائمة للرى باستخدام المياه المبتذلة .
- تكنيك الرى الملائم لنوعية المياه المستخدمة .
مع التعرض لبعض المؤشرات الاقتصادية لشروع اعادة استخدام المياه المبتذلة فى الرى .

ولعل هذه الدراسة تقدم بذلك بعض المؤشرات العامة والمحاذير الخاصة بمشروعات استصلاح الاراضى عند اعادة استخدام المياه المبتذلة المعالجة أو مياه الصرف الزراعى التى يخالطها بعض من المياه المبتذلة .

أن معايير معالجة المياه المبتذلة بغرض اعادة استخدامها فى الزراعة تختلف عن المعايير الاساسية لعمليات المعالجة التقليدية بهدف حماية البيئة من التلوث ، فقد لايصلح ناتج المعالجة التقليدية للرى من الزوايا الصحية والانتاجية - وبالتالى تطرح قضية استخدام المياه المبتذلة المعالجة فى الزراعة اعادة ترتيب أولويات المعالجة.

تمهيد :

مع تزايد الحاجه الى المياه ، وفى نفس الوقت تزايد استهلاك المياه ، تتفاقم مشكلة الصرف الصحى حدة وصعوبة ، حيث لابد من توفير نظام تجميع ومعالجة وتداول للمياه المعالجة ، ومع افتراض امكانية توفير الدولة للاستثمارات اللازمة لانشاء نظام للصرف الصحى تتضمن التجميع والمعالجة فان السؤال الملح الذى يطرح نفسه هو :- ما مصير هذه المياه المعالجة ؟
ان البدائل المتاحه لتداول مياه الصرف الصحى المعالجة هى :-
أ - خلط مياه الصرف الصحى المعالجة على المصارف الزراعية .
ب - اعادة استخدام مياه الصرف الصحى المعالجة فى رى المناطق المستصلحه والاراضى الزراعية المحيطة بتلك التجمعات السكانية .
جـ- صرف مياه الصرف الصحى المعالجة على المسطحات المائية ، وهذا البديل لايصلح الا لبعض الاماكن المحدودة على السواحل مثلا .

وانا ما تتبعنا مياه الصرف الزراعى - صرفا سطحيا أم مغطى - يتضح أن معظم مياه المجارى المعالجة تصل الى المصارف الزراعية حيث يتم استخدامها جزئيا فى الزراعة ، سواء عن عمد أو بغير قصد ، بعد خلطها بمياه المصارف الزراعية بدرجة متفاوته تتوقف على مقدار تصرفات كل من مصدر مياه المجارى أو الصرف الزراعى.

ولهذا يندر فى مصر أن تكون مياه الصرف الزراعى خالصة ، انا غالبا ما تصلها مياه صرف صحى نتيجة لكونها أحد البدائل المتيسرة للتخلص من مياه الصرف الصحى وتزداد المشكله خطورة حين يتم خلط مياه صرف صحى غير معالجة أو معالجة جزئيا فقط .

لهذا تعتبر دراسة أساليب تداول مياه الصرف الصحى أمرا لاسفر منه ومهمة متداخله مع دراسة عمليات أعادة استخدام مياه الصرف الزراعى فى الرى والاستصلاح ولهذا تجب معرفة المخاطر الصحيه وكيفية تقليلها.

أولا : المخاطر الصحية لاستخدام مياه المجارى فى الزراعة :

من المعروف أن مياه المجارى تحتوى عادة على أغلب طوائف الميكروبات والمسببات المرضية المعرفه ، مثل الميكروبات المسببه لحمى التيفود والدزنتاريا والدوسنتاريا وأمراض الجهاز التنفسى ، وجميع الامراض المتوطنة مثل البلهارسيا والاسكارس وغيرها . وتتراوح نسب وجودها بين 10^{5} ميكروب فى كل لتر الى 10^{7} أو أكثر فى اللتر . وعمليات المعالجة التقليدية يمكنها تخفيض المحتوى الميكروبى بنسب عاليه تتراوح بين ٩٠-٩٩٪ ، ولكن الامور لا تقاس بهذا النسب ، فهى تعطى انطباعا خاطئا وتضلل القارئ . فمثلا اذا كانت هناك مياه ذات محتوى ميكروبى يبلغ 10^{6} ميكروب فى اللتر ، فان تخفيضا مقداره ٩٩٪ منها يعنى أن الباقى فى المياه لا يزال 10^{4} ميكروب في اللتر ، وهو رقم مرتفع للغاية ، يعتبر مصدر خطر حقيقى ، لذا فمن الافضل والادق اتباع طرق استخدام التركيز عن اتباع طريقه النسبة فى وصف المحتوى الميكروبى .

وعند اعادة استخدام مياه المجارى المعالجة فى الرى ، فان العديد من المسببات المرضية يستمر نشاطها وتستمد حياتها عدة اسابيع ، وقد تستمر فى بعض الاحيان - مثل بيض الاسكارس وبعض أنواع الجراثيم الى أكثر من عام كامل فى التربة . وعلى الرغم من أن بقاء المسببات المرضية فى المحاصيل تعتبر قصيرة ، الا أنها قد تمتد عدة أيام ، بل وعدة أسابيع فى حالة الزراعات التى تتمتع بثبات نسبة الرطوبة ، وخصوصا الزراعات المحمية وزراعات الخضروات . ولا يتوقف انتشار المسببات المرضية فى التربة فقط ، بل يمتد الى المحاصيل ذاتها ليظهر فى أسواق الاستهلاك .

ومن الامثلة المشهورة التى تؤكد علي خطر استخدام المجارى - دون تخفيض للمخاطر الصحيه - فى الرى والزراعة ما حدث فى صيف ١٩٧٠ فى القدس عندما انتشرت الكوليرا وأصبحت ظاهرة وبائية ، فقد أكتشف أكثر من ٢٥٠ حالة كوليرا خلال ستة أسابيع فقط من ظهورها ، وعند فحص مياه الشرب وجد أنها آمنه وخاليه من أى أثر للميكروب المسبب للمرض ، ولكن عند فحص المحاصيل الخضريه التى تم ريها بمياه المجارى (غير مطابقة للمواصفات المحمول بها هناك) وجد أنها السبب المرجح فى عمليات الانتشار السريعه للكوليرا التى قدمت الى البلد بشكل فردى من الخارج ، وبدأت الانتشار من خلال المجارى الى الخضروات المزروعة . وقد وجد ميكروب الكوليرا فى عينات من المجارى فى المنطقة التى انتشر فيها الوباء . كما أظهرت الاختبارات على عينات من التربه وجود ميكروب الكوليرا ، وعند فحص عينات من الخضروات التى تمت زراعتها على مياه المجارى وجد ايضا ميكروب الكوليرا .

وانا كانت اعادة استخدام مياه المجارى بالطريقه غير السليمه التى تمت فى القدس هى انتشار الكوليرا وتحولها الى وباء ، فان هذا الاستخدام غير السليم وغير الامن لمياه المجارى له أخطاره على العاملين الزراعيين

فى الاراضى التى يتم ريها بمياه المجارى غير الآمنه . فقد لوحظ فى الهند انتشار الانكلستوما والامراض المعوية المختلفه بين الحاملين الزراعيين فى مزارع المجارى . وقد كان لحادة السير بدون احذية دورها الهام فى توسع وانتشار تلك الامراض الطفيليه بين العمال .

وعند اعادة استخدام المجارى - دون تخفيض لمخاطرها الصحيه - فى رى الاعشاب فى المناطق الحضريه الصالحه لتربية الماشية والرعى بوجه عام . فان عددا من المشاكل الصحية تظل برؤوسها من جراء هذا الاستخدام غير السليم . فقد حدث فى الشمارك عام ١٩٥٢ انتشار لمرض المرارة الحيوانية بين قطعان الماشيه التى كانت ترعى على عشب تم ريه بمياه مجارى غير معدية صحيه. ومعروف ان بعض الامراض التى تصيب الحيوان تؤثر على الانسان المستهلك لمنتجات الحيوان المريض . هذا بالاضافة الى الاثار الاقتصاديه الضاره على الثروه الحيوانية .

عند اعادة استخدام مياه المجارى دون معالجة فى مزارع تربية الاسماك ظهر ايضا العديد من المخاطر الصحيه. فمن الزاوية الميكروبيولوجيه هناك امران مرتبطان تمام الارتباط . احدهما امكانية انتقال مسببات المرض من خلال الاسماك وقشورها الى داخل مطابخ المستهلكين . والثانى عندما يستوطن مرض من الامراض المتوطنة يحتاج الى القواقع لتقوم بدور الحائل الوسيط . فوجود تلك القواقع يؤدى الى انتقال التلوث الى الانسان واصابته بالمرض .

ان اعادة استخدام مياه المجارى دون معالجة صحية هو امر شديد الخطوره على صحه الحامه . وبالتالى على المجتمع ككل . وفى نفس الوقت فان التخلص من مياه المجارى دون أى شكل من أشكال الاستفاده منها يعتبر تبديدا لموارد هامه . فمياه المجارى تحتوى على العديد من العناصر الغذائية الصالحه والمناسبة فى الزراعة . ويمكن فى حالة استخدامها تحسين الانتاجيه الزراعية أو توفير بعض الاسمدة . أو الاثنين معا .

ثانيا : أولويات المخاطر الصحيحه فى مصر والبلدان النامية :

من المعروف ان الديدان الطفيليه من أهم المسببات المرضية وأكثرها انتشارا فى البلدان النامية . ومن الممكن ان تكون المخاطر الصحيه محدوده والسيطرة عليها ميسورة فى حالة الاصابه لمرة واحدة بالمرض . ولكن انتشار الحالات غير الصحيه وقصور جوانب العلاج الوعى الصحى . بالاضافة الى الفقر وتأثيرات التخلف الاخرى . تجعل الاصابه المتكررة بالديدان الطفيليه هى القاعدة فى ارياف البلاد النامية . والاصابة المتكررة تحدد ببالغ الضرر على المصابين بالديدان . خصوصا من الاطفال صغار السن فالاصابة بالانيميا يعتبر عرضا مألوفا للاصابة بالديدان فى المناطق الموبوءة . وبالطبع فان هناك اعراضا غاية فى الخطورة تنتج عن الاصابة بالديدان الطفيليه . من بينهما - على سبيل المثال - الاصابه بسرطان المثانه وتليف الكبد للمصابين بالبلهارسيا البولية . وفى بلادنا يعتبر سرطان المثانه أكثر انواع السرطان انتشارا . على الرغم من انخفاض وتدنى نسبة الاصابة بهذا الداء الخطير فى معظم بلاد العالم . و السبب الرئيسى فى ذلك يرجع لانتشار مرض البلهارسيا فى الريف المصرى .

والامراض المعوية - سواء التى تتسبب فى الفيروسات أو البكتريا المعوية - سريعة الانتشار ايضا فى البلدان النامية ويرجع ذلك بالطبع الى اوضاع الفقر والتخلف ، والتى ينتج عنها ضمن ما ينتج - الافتقار الى مسكن صحى ، والكثافه السكانيه المرتفعه فى تلك المنازل غير الصحية التى توفر ظروفا مناسبة لانتقال العدوى بتلك الامراض البكتيرية أو الفيروسية .

وفى مصر وفى البلدان النامية على وجه العموم ، حيث تنتشر الامراض المتوطنة ، يمكن ترتيب المخاطر (x) الصحية التى تأتى عند استخدام مياه المجارى فى الزراعه كما يلى :-

١ - أعلى المخاطر تأتى من الامراض التى تسببها الديدان الطفيليه مثل البلهارسيا والاسكارس .

٢ - المخاطر المتوسطة تأتى من الاصابه بالنزلات المعوية والاسهال الذى تسببه البكتريا المعوية .

٣ - أقل المخاطر يأتى من الاصابة بالفيروسات .

أما فى المناطق التى لاتوجد بها امراض متوطنة ، فان المخاطر الصحيه التى تصاحب استخدام مياه المجارى فى الرى تنحصر تقريبا فى الامراض المعوية التى تسببها البكتريا والفيروسات المعوية .

ويمكن ايجاز الاثار الصحية لاعادة استخدام مياه المجارى فى الزراعه فى النقاط التاليه :

١ - أن خضروات السلاطة ومختلف أنواع الخضروات التى تروى بمياه المجارى الخام وتؤكل دون تسخين وطبخ ، تسهم وتؤثر فى نقل الامراض الطفيليه مثل الاسكارس والترايكيورس وايضا الامراض الميكروبيه مثل الكوليرا والتيفود . وهناك ايضا بعض الحالات غير الاكيدة بين أستهلاك تلك المحاصيل وبين بعض الامراض البكتيرية الاخرى .

٢ - أن المراعى التى تروى بمياه المجارى الخام يمكنها أن تسهم فى نقل الدوده الشريطية الى الانسان من خلال اللحوم غير المطبوخه ، وبالاضافه الى هذا فان هناك خسائر اقتصادية على مستوى القطيع الذى يرعى على تلك المجارى .

٣ - أن عمال مزارع المجارى ، أى المزارع التى تروى بالمجارى الخام والذين اعتادوا السير حفاه الاقدام اثناء الحمل ، من الممكن ان يصابوا بالانكلستوما ، والاصابه المتكرره بهذا الطفيليات تقلل من قدرتهم على الحمل .

٤ - أن عمال المزارع التى تروى بالمجارى ، والذين يتسمون بانخفاض فى مستوى وعيهم الصحى ، ويسلكون سلوكا غير صحى فى أغلب الاحوال ، من الممكن تكرار اصابتهم بالاسكارس والترايكيورس وغيرها من الطفيليات ، كما يتعرضون أيضا للاصابة بسهولة بالأمراض البكتيرية مثل الكوليرا وغيرها .

٥ - أن أسر وأهالى وجيران عمال الزراعة فى مزارع المجارى ومن يحتكون بهم بشكل أو بآخر ، يتعرضون بالضرورة للعديد من الامراض ، وأن كانت بدرجة أقل من عمال الزراعة انفسهم ، وذلك من خلال الاتصال غير المباشر مع الحمال أو الاتصال المباشر بالتربة المروية بالمجارى الخام .

٦ - أن القيام بعملية ترسيب ناجحة لمياه المجارى الخام قبل استخدامها فى الرى يمكنه ان يؤمن عدم انتشار الاصابة بالامراض الطفيليه الى درجة كبيرة .

(x) لايقصد بهذا الترتيب خطورة الأمراض المختلفه الناجمة عن أى من المسببات المعروفة :

طفيليه أو بكتيرية أو فيروسية ، ولكن الهدف الاساسى هو تصنيف الامراض من زاوية اتساع رقعة الاصابة بها ، وبالتالى وزنها النسبى فى (سلة) المخاطر الصحية - أن جاز التعبير .

ثالثا : أثر معالجة مياه المجارى على المسببات المرضية :

١ - ازالة الطفيليات بالترسيب :

أن عمليات التصفيه الاولية للمجارى التى تتم فى محطات المعالجة لا تؤثر تقريبا على الطفيليات . أما فى احواض الترسيب الابتدائى ، والذى تتراوح مدة البقاء فيه بين ساعتين وثلاث ساعات ، فان الطفيليات تترسب مباشرة نتيجة لانها تتميز بكثافة نسبية عالية (حوالى ١ر١) أو نتيجة لالتصاقها بالمواد الصلبة الموجودة فى المجارى ، والتى تكون فى طريقها الى الترسيب . لكن وجود بعض المواد غير المهيأة للترسيب فى المجارى يؤدى الى عدم انسجام وتجانس عملية الترسيب ، وغالبا ما يكون هذا سببا فى اختلافا نتائج الدراسات المعملية عن الدراسات من واقع المحطات القائمة ، فالدراسات المعملية تبالغ فى أغلب الاحيان فى كفاءة عمليات الترسيب الابتدائى فى المحطات فى القدرة على التخلص من الطفيليات .

وعلى أية حال ، فاحواض الترسيب الابتدائى تقوم بخفض مستوى الطفيليات فى المجارى بنسبة مقبوله ولكنها غير كافية على الاطلاق . وقد سجلت الارقام بخصوص كفاءة التخلص من الطفيليات أن ٥٠٪ من الطفيليات يتم التخلص منها فى عمليات الترسيب الابتدائى . وترتفع النسبه لتصل الى أكثر من ٧٠٪ بقليل اذا استخدمت فى المنازل عمليات معالجة أولية من خلال خزانات التحليل . وبالطبع لاتتصرف مجموعة الطفيليات وكأنها كيان واحد ، بل أنها تختلف عن بعضها فى الكثير من الصفات والخصائص - فمثلا عندما يسجل لحوض الترسيب الابتدايى كفاءة تصل الى ٧٠٪ فى بيض الاسكارس والانكلستوما ، فان كفاءة تخليص المجارى من اكياس الانتاميبا المتحوصله فى نفس الحوض لاتزيد عن ٥٠٪ .

ومن المفيد - من الزوايا الهندسية - دراسة معدلات ترسيب مختلف أنواع الطفيليات حتى يصبح من الممكن تقييم فاعلية وحدات وأنظمة المعالجة فى عملية التخلص من مختلف أنواع الطفيليات الواردة مع المجارى.
وباستخدام المعلومات المتاحه عن حجم وكثافة البيض ، مع افتراض التوزيع المتجانس والشكل المتجانس ، وباستخدام قانون ستوك المعروف الذى يصف العلاقة بين معدات ترسيب الجسم الصلب مع كثافته والظروف الهيدروليكيه والفيزيائية الاخرى المحيطة امكن حساب سرعات الترسيب لستة انواع من الطفيليات الهامه وهى : الاسكارس ، والدودة الخطافيه (الانكلستوما) ، والترايكيورس ، والبلهارسيا ، والشريطية ، وأكياس الانتاميبا هستولتيكا .

جدول (١)

سرعات ترسيب أنواع الطفيليات المختلفه

نوع الطفيل	كثافته	الشكل المفترض	سرعة الترسيب م / ساعة
أسكارس	١,١١	كروى	٠,٦٥
الدوده الخطافيه (الانكلستوما)	١,٠٥٥	كروى	٠,٢٩
الترايكيورس	١,١٥	أسطوانية	١,٥٣
البلهارسيا	١,١٨	أسطوانية	١٢,٥٥
الدودة الشريطية	١,١	كروى	٠,٣٦
الانتاميبا هوستلوتيكا			
حجم صغير (أ)	١,١	كروى	٠,٠٠٧
حجم كبير (ب)	١,١	كروى	٠,١١

ب = ٤ أضعاف أ

من الجدول رقم (١) يتضح مدى الاختلاف بين انواع الطفيليات فى قابليتها للترسيب . ففى حين ترسب بويضات البلهارسيا بسرعة ١٢,٥٥ متر كل ساعة مما يعكس سهولة شديدة فى الفصل بالترسيب ، فان أكياس الانتاميبا من الحجم الصغير تترسب بسرعة ٧ مم كل ساعة ، مما يؤكد احتياجها لمرسب ذى كفاءة عالية ومدة بقاء كبيرة للغاية .

اما بالنسبة لأحواض الترسيب الابتدائية فيمكنها ترسيب بيض البلهارسيا والترايكيورس بكفاءة عالية ، كما يمكنها ترسيب بيض الاسكارس والدوده الخطافيه والشريطيه بشكل جزئى . وغالبا ما يتم ترسيب أكياس الانتاميبا بصورة ضحيفه فى أحواض الترسيب الابتدائية .

٢ - كفاءة عمليات المعالجة التقليدية فى ازالة الطفيليات والمسببات المرضية الميكروبية :

انا استثنينا برك الاكسدة الطبيعية فان الطرق الثانوية لمعالجة المجارى يمكن تقسيمها الى طريقتين رئيسيتين هما : الحمأة النشطة و الترشيح البيولوجى . والمرشحات البيولوجيه بمفردها (أى دون ارتباطها بعمليات الترسيب التاليه لها) لم تظهر كفاءة فى عملية ازالة الكائنات الحيوانية وحيدة الخليه المعروفة بالبروتوزوا ، أو بيض الديدان الطفيليه ، بينما اكياس الانتاميبا هوستلوتيكا أزيلت بنسب تتراوح بين ٨٣-٩٩٪ والنسب المرتفعه هنا تعزى الى عملية الترسيب الملحقه بالمرشح البيولوجى .

وعملية المعالجة بواسطة الحمأة النشطة فى حد ذاتها لاتظهر أى كفاءة فى التخلص من الطفيليات ، لكن جزءا هاما من البيض والبروتوزوا يتم ترسيبه فى أحواض الترسيب الملحقه بحوض التهوية . وتتراوح كفاءة التخلص من البيض بين ٨٠-١٠٠٪ فى تلك الاحواض .

وسوف نتناول بشيء من التفصيل دور وأثر بحيرات الاكسدة في عملية القضاء على المسببات المرضية واخراج منتج نهائي قليل الضرر (أقل ما يمكن) على الصحه العامه عند استخدامها في ري الاراضي الزراعية .

٣ - ١ التخلص من الطفيليات بواسطة برك الاكسدة الطبيعية :

أن برك الاكسدة التي تتراوح مدة بقاء المياه فيها بين خمسة ايام وثلاثين يوما ، يمكنها أن تكون أكثر فاعليه في تخليص المياه من الطفيليات عن الطرق التقليدية لمعالجة المجاري . فمن زاوية القدرة على ترسيب الطفيليات . فان مدة بقاء المجاري في تلك البرك تفوق بما لايقاس مدد بقاء المياه في احواض الترسيب المرتبطة بالعمليات التقليدية في البرك ، فان الزمن يقاس بالايام ، اما في احواض الترسيب ، سواء الابتدائية أو الثانوية فان الزمن يقاس بالساعات . ففي احواض الترسيب الابتدائية تتراوح مدد بقاء المياه من ساعة على ساعتين ، وفي الاحواض الثانوية المرتبطة بوحدات النهوية أو بالمرشحات البيولوجية فان الزمن يتراوح بين ساعة وساعة ونصف . لذا فكفاءة عملية ترسيب الطفيليات في البرك افضل من جميع العمليات التقليدية .

ومن زاوية ثانية فان مدة البقاء ، التي تصل احيانا الى اكثر من ثلاثين يوما ، توفر ظروفا جيدة للقضاء على جانب هام من المسببات المرضية التي يمكنها الخروج مع المياه المعالجة على وجه العموم ، حيث ان الكثير من المسببات لا يستطيع البقاء مؤثرا أو ضارا في ذلك النوع من البرك . فمثلا وجد أن اكياس الانتاميبا هوستوليتيكا يمكن القضاء عليها تماما في برك اكسدة مدة بقاء المياه فيها حوالي عشرين يوما . وحتى عندما ترتفع تركيزات المسببات المرضية ، فان كفاءة البرك في التخلص منها تظل كما هي . ففي الهند مثلا - حيث تركيز الطفيليات في المجاري مرتفع جدا بالقياس الى البلدان المتقدمه -(من ١٠٠ الى ١٠٠٠ في اللتر) ، فقد وجد ان برك الاكسدة التي تتميز بمدة بقاء للمياه لا يقل عن سبعة ايام قد حققت كفاءة منقطعة النظير في ازاحة الخطر من استخدام المياه في الزراعة .

وفي دراسة لنظام من برك الاكسدة مكون من ثلاثة بحيرات لها نفس الحجم ومدة البقاء الكلية ستة ايام ، وجد ان الطفيليات : الاسكارس ، والدودة الخطافيه ، والترايكيورس ، والبلهارسيا ، والشريطية ، واكياس الانتاميبا هوستوليكا قد اختفت تماما من المياه الخارجه من البرك على الرغم من ان تركيزات تلك الطفيليات في المجاري الخام كانت مرتفعه . اما يرقات الدود الخطافي فقد وجدت بصورة ملحوظة ، في حين ان بيضها قد اختفى تماما في البركة الثالثه . هذا ، وقد وجد ان اكثر من ٩٠٪ من الاكلستوما قد تمت ازالته . والملاحظة الهامه هنا أن البركتين : الاولى والثانيه قد ضمنا بترسيب (جميع) بيض الطفيليات ، في حين لم يكشف عن وجود البيض في البركة الثالثه .

وقد اكدت جميع الدراسات على كفاءة برك الاكسدة في ترسيب والقضاء على الطفيليات ، فمعظم الحيوانات الاوليه (البروتوزوا) وبعض الديدان يمكنها ان تترسب تماما في خلال ثلاثة الى ستة ايام . أما يرقات الديدان فانها غالبا ما تظهر في المياه المعالجة التي تخرج من البرك نتيجة لفقس البيض الحي بصورة ملحوظة فيرقات (سركاريا) البلهارسيا يمكنها ان تسبح بسرعة ٧٠٠ سم / ساعة ، لكنها لا يمكنها أن تبقى على قيد الحياة لمدة تزيد عن عشر ساعات وهي عائمة .

وعند استخدام البرك غير الهوائية ، فقد وجد أنها ذات أثر متميز على بيض الطفيليات عن برك الاكسدة الهوائية أو استخدام البرك غير الهوائية ، وقد أوصت الدراسات على ان وضع بركة غير هوائية فى البداية قبل الفعل المزدوج و البرك الهوائية يكون أكثر فاعلية فى ازالة الطفيليات .

ومن المعروف أن يرقات الدودة الخطافيه تستطيع البقاء لمدة تصل الى ستة عشر يوما فى البركة الهوائيه ، لهذا فان مدة بقاء أقل من عشرة ايام لوحظ فى مخرجها ظهور تلك اليرقات ، كما أن البركة الهوائية يمكنها ترسيب أغلب بيض البلهارسيا ، أما فى برك الفعل المزدوج فان البيض يفقس ويتحول الى طور المرسيديا ، وهذا الطور أما أن يموت أو أن يصيب قوقعا ما يقوم بدور العائل الوسيط ، والسركاريا - أو الطور الذى يخرج من القواقع ليصيب الانسان ، فانه يموت فى خلال ٤٨ ساعة اذا لم يصادف الانسان عائلها الاساسى . وهكذا ، فان البرك الهوائية تحتاج ما لايقل عن ٢٠ يوما كمدة بقاء حتى تستطيع القيام بدورها فى ازالة الطفيليات.

على اية حال ، يمكن القول أن بركة غير هوائية لها مدة بقاء بين يوم أو اثنين يتبعها بركة فعل مزدوج لها مدة بقاء سبعة ايام تعتبر الحد الادنى المقبول لمعالجة المجارى قبل استخدامها فى الرى والزراعة ، أو حتى تربية الاسماك .

وقد استقرت كافة الاراء على ان برك الاكسدة الطبيعية تعتبر من أهم الادوات الفعاله فى علاج المجارى وتخفيض المخاطر الصحيه الناجمه عن استخدامها فى حالتها الخام فى الزراعة والرى .

٣-٢ أثر الاكسده على البكتريا :-

يمكن تلخيص النتائج الهامه التى وصل اليها العديد من الباحثين فى مجال دراسة بقاء البكتريا المسببة للأمراض فى برك الاكسدة الطبيعية فى النقاط التاليه :

أ - برك الاكسدة غير الهوائية يمكنها القضاء على نسبة لا تقل عن ٤٥٪ وتصل الى ٨٥٪ من بكتريا القولون فى فترة ٢.٥ الى خمسة ايام عند مختلف درجات الحرارة .

ب - برك الفعل المزدوج الهوائية يمكنها ازاحة من ٨٠ الى ٩٩٪ من بكتريا القولون فى فترة تتراوح بين عشرة ايام وسبعة وثلاثين يوما فى مختلف درجات الحرارة .

جـ - والبكتريا المعروفه باسم الاستربتوكوكاى تظهر نفس النسبة السابقه تقريبا مثل بكتريا القولون لجميع أنواع البرك ، واحيانا تزيد .

د - يمكن ازالة ٩٩,٩٩٪ من بكتريا القولون لو أستخدمت ثلاث برك أو أكثر على التوالى .

هـ - بركة واحدة أو اثنتين على التوالى يمكنها ازالة ما بين ٩٠ الى ٩٩٪ من السالمونيللا ، أغلب البكتريا المسببه للامراض .

و - الازاحة الكاملة للمسببات المرضية من البكتريا ، يمكن الوصول اليها عند استخدام مدة بقاء تزيد عن الثلاثين يوما ، وتصل الى اربعين يوما عند درجات حرارة أكبر من ٢٥ درجة مئوية .

ز - ان خمس برك على التوالى كل منها لها خمسة ايام مدة بقاء ، يمكنها تخفيض بكتريا القولون والاستربتوكوكس الى أقل من ١٠٠ لكل ١٠٠ ملليلتر .

وفى النهاية ، فان برك الاكسدة يمكنها أن تصل الى أى درجة من درجات النقاء التى يرغب فيها ، مع ملاحظة ان أغلب التطبيقات الزراعية لا تحتاج الى درجة رفيعة من النقاء للمياه المستخدمة .

٤ - خواص المخرجات فى عمليات المعالجة التقليدية :

من المعروف أن الاملاح التى تضاف الى المياه المنزلية خلال استخدامها لا يتم لها أى عمليات اختزال اثناء اعمال المعالجة التقليدية ، كما أن اختزال المسببات المرضية لا يتم بكفاءة مقبولة فى أغلب الاحيان ، وبالمقابل فان تركيزات الاكسجين الكيماوى والحيوى وتركيزات المواد الصلبة العالقة يتم تخفيضها بدرجات كبيرة ، كما يتم فى بعض الاحيان - عند استخدام أعمال متقدمة للمعالجة - تحويل مركبات النيتروجين والفوسفور الى صور ملائمة وغير ضارة .

جدول (٢)
خواص مياه المجارى الخارجة من الوحدات والعمليات المختلفة

نوع المعالجة وطريقة التشغيل	الاكسجين الحيوى المتص مجم / لتر	المواد الصلبة مجم/لتر	بكتريا القولون لكل ١٠٠ لتر	الاكسجين الكيماوى مجم/لتر
مجارى خام	٣٠٠	٣٧٠	$^{٧}١٠$	٤٥٠
المصافى الدقيقة	٢٧٠-٢٨٥	٢١٥-٢٦٥	$^{٧}١٠$	٤٠٥-٤٢٠
اضافة الكلور للمجارى	٢١٠-٢٥٥	-	$^{٦}١٠-^{٥}١٠\times٥$	-
الخام أو الخارجة من				
الترسيب				
ترسيب ابتدائى ٢ ساعات	١٨٠-٢٢٥	٨٠-١٦٠	$^{٦}١٠\times٥-^{٦}١٠$	٢٩٠-٣٦٠
ترسيب كيميائى	٤٥-١٥٠	٣٠-٨٠	$^{٦}١٠\times٢-^{٦}١٠\times٦$	٢٥-١٧٠
مرشحات متبوعة بترسيب	٣٠-٩٠	٢٠-٣٥(أ)	$^{٥}١٠-٨-^{٥}١٠-٥$	٩٠-٢٢٥
ثانوى ٧٠-٩٠٪				
تنشيط حمأة متبوعة	١٥-٦٠	١٥-٢٠(أ)	$^{٥}١٠$	٩٠-٢٢٥
بترسيب ثانوى ٨٠-٩٥٪				
برك الاكسدة الطبيعية	١٥-٣٠	١٥-٤٠(ب)	$^{٣}١٠$	٩٠-١٣٥
(٢٠ يوم على التوالى)				
اضافة الكلور بعد المعالجة	-	-	١٠-١٠٠(ج)	-

أ- معظمها بكتيرية .

ب- معظمها طفيلية .

جـ- فى بعض الحالات تم الحصول على صفر لمحتوى بكتريا القولون .

وجدول (٢) يوضح مقدرة كل من عمليات المعالجة الفيزيائية والحيوية والكيميائية على اختزال الملوثات المتنوعه لمياه المجارى . ويلاحظ من هذا الجدول أن أغلب المواد الصلبه العالقه يتم التخلص منها فى عمليات الترسيب والترويق . كما أنه من الواضح أن استخدام سلسلة من بحيرات التثبيت يعتبر أفضل الطرق لانتاج مخرجات على درجة كبيرة من الجودة .

جدول (٣)

الكفاءة النسبة للعمليات المختلفة لمعالجة المجارى

نوع المعالجة	كفاءة نقص الاكسجين الحيوى ٪	كفاءة فصل المواد الصلبة	البكتريا ٪	الاكسجين الكيماوى ٪
التصفية	١٠-٥	٢٠-٢	صفر	١٠-٥
كلورة المجارى الخام	٣٠-١٥		٩٥-٩٠	٣٥-٢٠
الترسيب الطبيعى	٤٠-٢٥	٧٠-٤٠	x٩٠-٥٠	٧٠-٤٠
الترسيب الكيماوى	٨٥-٥٠	٩٠-٧٠	٨٠-٤٠	٨٠-٥٠
المرشحات البيولوجية مع الترسيب	٩٠-٧٠	٩٠-٧٠	٩٠-٨٠	٨٠-٦٠
الحماه النشطه مع الترسيب	٩٥-٨٠	٩٥-٨٠	xx٩٩	٨٠-٦٠
بحيرات التثبيت	٩٥-٩٠	٩٥-٨٥	xxx٩٩ر٩	٨٠-٧٠
كلورة المياه المعالجة	-	-	٩٩-٩٨	-

x على أساس مدة بقاء من ٣ - ٦ ساعات .

xx يمكنها أن تقل الى ٨٠٪ فى حالة التهوية الضحيفة ويمكنها أن تصل الى ٩٩.٩٪ فى حالة التهوية الممتدة.

xxx لسلسلة من البحيرات من ٣ الى ٤ ، مدة بقاء من ١٥ الى ٢٠ يوما أو أكثر .

وجدول (٣) يوضح نتائج العمليات التى اجريت على خام مجارى ذى مواصفات متوسطة عند استخدام أغلب العمليات المعروفه فى معالجة المجارى . ومن الواضح من متابعة بيانات الجدول أن جميع الطرق المذكورة لا تعطى نتائج ملائمة من

الزوايا الصحية باستثناء استخدام برك الاكسدة الطبيعية . كما أن عمليات الكلورة للمياه الناتجة المعالجات المختلفة تفي بالغرض من الناحية الصحية . على أساس مدة بقاء ٣ - ٦ ساعات يمكنها أن تقل الى ٩٠٪ في حالة التهوية الضعيفة ويمكنها أن تصل الى ٩٩،٩٪ في حالة التهوية الممتدة لسلسلة من البحيرات من ٣ الى ٤ ، ومدة بقاء من ١٥ الى ٢٠ يوما أو أكثر .

رابعا : السياسات التي يمكن اتباعها لتقليل المخاطر الصحية الناجمة عن استخدام مياه المجاري الخام في

الزراعة :

في العديد من تجارب استخدام مياه الصرف الصحي في الزراعة (مزرعة الجبل الاصفر - تجربة أبو رواش في مصر) ، لا تتم أي عمليات معالجة لمياه الصرف الصحي ، بل تستخدم بصورتها الخام ، لهذا فان هناك بعض السياسات التي تقلل الى حد كبير من الخطر الصحي في حالة اتباعها ، وهي :-

١ - لابد من وضع قيود على نوع المزروعات التي تروى بمياه المجاري الخام ، ويستبعد نهائيا أي نوع من المزروعات التي تستخدم في الطعام - سواء للانسان أو الحيوان - دون طهي ، مثل خضراوات السلاطه .

٢ - تعديل طريقة الري بحيث تسمح بأقل تلامس بين المياه والمحاصيل المزروعة .

٣ - تحقيم المحاصيل التي يمكنها نقل الامراض في الاسواق المركزية أو في المنازل .

٤ - رفع الوعي الصحي بين عمال الزراعة وتوعيهم بهدف تعديل العادات الصحية مثل السير بدون احذية وخلافه ، لزيادة فرص تجنبهم الاصابة بالامراض .

٥ - توفير تسهيلات طبية مناسبة تسمح بتحصين عمال الزراعة وتوعيهم ضد بعض الامراض التي يمكن أن تنتقل اليهم من خلال مياه المجاري ، والفحص الدوري لهم وعلاجهم السريع في حال الاصابة باي مرض .

ان اختيار المحاصيل المناسبة للزراعة على المجاري الخام ، وايضا طريقة الري المناسب ، والتي تسمح بأقل تلامس بين مياه المجاري والمحاصيل المروية تلعبان الدور الاساسي في تقليل الخطر من استخدام مياه المجاري الخام . وفي حالة القيام باي عمليات تخزين لمياه المجاري الخام قبل استخدامها ، فان المسببات المرضية الأكثر أهمية (الطفيليات) يقل أثرها بشكل كبير تبعا لطريقة ومدة تخزين مياه المجاري .

١ - أساليب الري :

من المعروف أن مياه المجاري عند استخدامها في الري ، تمد التربة بالعديد من العناصر الهامة التي تفتقدها ، مثل النيتروجين ، كما تمدها بنسبة كبيرة من احتياجاتها من الفوسفور والبوتاسيوم ، بالاضافة الى العديد من انواع المغذيات المختلفة . وبالطبع فتلك العناصر تمثل قيمة اقتصادية لا يمكن اهمالها ، وخصوصا في حالة البلدان النامية والتي تجد مشكلة حقيقية في تدبير احتياجاتها من الاسمدة المختلفة ، وذلك بسبب قصور أوضاعها الانتاجية وصعوبة تدبير النقد الاجنبي اللازم لاستيراد تلك المخصبات . ورغم أن استخدام مياه المجاري في الزراعة يساهم في تحسين فلاحة التربة وزيادة خصوبتها ، الا أن بعض المشاكل تطل برؤوسها ، مثل مشكلة تراكم بعض العناصر الضارة في التربة والمحاصيل المروية على مياه المجاري ، مثل

البورون والكالسيوم وغيرها . كما أن زيادة تركيز الصوديوم في المياه يؤثر بالسلب على تركيب التربة ويقلل من خصوبتها ان استخدام طريقة الري بالغمر في حالة مياه الصرف الصحي يؤدي الى فقد جانب كبير من تلك المياه ، وأيضا يساهم في تلويث الخضراوات ومحاصيل الجذور ، ويعرض الفلاحين أو العمال الزراعيين الى التلامس مع تلك المياه أكثر من أي طريقة أخرى للري . أما طريقة الري التي أسميناها بتنقيط التربة فيمكنها أن تقلل من تلوث النبات والانسان ، وأفضل الطرق في تقليل امكانية تلامس الحاصيل والحاملين مع مياه المجاري هي طريقه الري بالتنقيط . كما ان هذه الطريقه يمكنها استهلاك مياه أقل بكثير من الطرق الاخرى . وبالرغم من هذه الميزات التي تتمتع بها طريق الري بالتنقيط فان تكاليف تطبيقها

مرتفعه من زوايا التكاليف الثابته ونوعية المياه ، فهي تحتاج الى مياه خاليه تقريبا من المواد الصلبه المعلقه حتى يتسنى لها العمل بكفاءة . وطريقة الري بالرش تتميز بانها طريقه لا تحتاج الى عمالة كبيرة ، وبالتالي فهي تناسب المناطق التي تعاني من نقص في الايدي العاملة . وطريقة الري بالرش تحتاج الى مضخات للوصول بالمياه المدفعه في المواسير الى الضغط المناسب . ومن زاوية التلوث ، فان المحاصيل الارضية واشجار الموالح والعنب ، وأيضا الحاملين الزراعيين يتعرضون لرذاذ الماء الذي يحمل معه بعض الخاطر على الصحه العامه . ويمكن تفادي تلوث الاشجار بتقليل الضغط ، وبالتالي خفض أعلى مستوى يمكن أن يصل اليه الرذاذ المنطلق من الرشاشات . وأخيرا ، فان انتشار رذاذ الماء في الجو يسمح بنقل مخاطر تلك المياه الى مسافات أكبر قليلا من حدود الارض المزروعة بمياه المجاري .

خامسا : معالجة مياه المجاري وتحقيق الاولويات :-

يتبغي علي أي عمليات تستهدف معالجة مياه الصرف الصحي بغرض اعادة استخدامها في الزراعة أن تراعي الاولويات الاتيه من الزوايا الصحيه :

١ - الازالة التامة للمخاطر التي تأتي من الاصابة بالديدان .

٢ - ازالة مؤثرة وفعاله للمسببات المرضية البكتيرية والفيروسيه .

٣ - ازالة الرائحة وتقليل المشاكل المتعلقه مثل انتشار الحشرات وغيرها .

أن هذه المعايير الاساسيه تختلف عن المعايير التصميميه لعمليات المعالجة التقليدية بهدف تقليل التلوث ، فالاولوية تأتي لتخفيض الاكسجين الحيوي المنتص والاكسجين الكيماوي ، والارتفاع بمستوى الاكسيجين الذائب الى نسبة مقبوله .

أن عمليات المعالجة التقليدية التي تستخدم منشآت ضخمه ومعدات ميكانيكية وطاقة كبيرة ، لا يمكنها تحقيق أولويات أعادة الاستخدام الزراعي ، وبالمقابل فان استخدام برك الاكسدة الطبيعية يمكنه أن يحقق جميع أغراض الاستخدام الزراعي ، في حين أن مرشحات الرمل البطيئة السريان يمكنها تحقيق الاولوية الاولى بنجاح ، وتحتاج الى عملية تكميلية مثل الكلور لتحقيق الاولويات المتبقية لمواجهة الاستخدام الزراعي.

على اية حالة ، فان نظام برك الاكسدة الطبيعية تم تصميمه على أسس جيدة ، ويمكنه العمل بكفاءة ، ويستطيع التخلص تماما من الديدان والطفيليات ، كما تصل كفاءة التخلص من البكتريا الى ٩٩٩ ، ٩٩٪ ومن الفيروسات الى ٩٩٪ ، ايضا يمكنه انتاج مياه عديمة الرائحة وغنية بالموارد المغذية وجذابة للاستخدام الزراعي من مختلف الاوجه .

Options for Treated Wastewater Reuse in Post-War Kuwait

Nader Al-Awadhi , Kazmer Puskas, Hussein Malek

OPTIONS FOR TREATED WASTEWATER REUSE IN POST-WAR KUWAIT

Nader Al-Awadhi, Department Manager, Kuwait Institute for Scientific Research; Kazmer Puskas, Research Scientist, Kuwait Insitute for Scientific Research; Hussein Malek, Director of the Treatment Plants, Ministry of Public Works.

Abstract

1. The circumstances in post-war Kuwait have altered various factors related to water resources, water demand, and wastewater generation. Specifically, the war has resulted in reduced population, delay of many water-related infrastructure projects, and damaged to wastewater treatment plants, all of which have resulted in decreased wastewater available for reuse. The war also altered important factor influencing water reuse including governmental policy, and various technical, economic, environmental, and health considerations. It is concluded that greenery irrigation, especially along highways and other roadsides, would be the preferred reuse option in the short-term, with long term reuse directed towards agricultural production or integrated waste treatment technologies such as landfarming and composting.

Introduction

2. Efficient wastewater reuse is an important consideration in Kuwait to restore and conserve the nation's water resources. However, re-evaluation of this process is required because the Iraq war has resulted in significant changes in the availability of water resources, size of water demands, and methods of water allocation. For example, the war has resulted in the quantity of municipal and industrial wastewaters being reduced in the short term, and probably also in the long term. Demand for treated wastewater has been altered by changes in priorities in the various sectors of Kuwait's economy. All of these changes have resulted in the reuse of treated wastewater becoming an important element in Kuwait's total water management.

3. The feasability of wastewater reuse is influenced strongly by governmental policy, and various technical, economic, environmental, and health considerations. In this paper, these factors are analysed in relation to Kuwait's post-war environment.

Treated Wastewater Effluent Resources

Municipal Wastewater Generation

4. Flowrates of the treated wastewater effluent can be estimated from water consumption for various uses. Two water supply systems are present in Kuwait. The first of these is for fresh water, which is comprised of distilled water to which smaller quantities of fresh underground and brackish water are added. This freshwater is used for all municipal and industrial demands requiring potable water. The second system is for brackish water which is utilized for amenity uses by households, irrigation (agricultural, forest and greenbelt), and industrial demands. A portion of the brackish water used by industry is returned to the municipal sewers which contributes markedly to the dissolved inorganic solids content of the Kuwaiti wastewaters. A significant fraction of the fresh water can be assumed to be collected in sanitary sewers for treatment; this fraction is estimated to be approximately 65 percent of the fresh water supply when on-going sewer projects are completed. Little of the freshwater distributed from water filling stations is recoverable. This represented 17 percent of water consumption in 1988 [1]; however, its relative size to other freshwater useage is decreasing as distribution networks become more comprehensive.

5. The annual water consumption, and the resulting wastewater and treated wastewater flows are affected by the following factors: population, per capita water consumption, percent of population discharging to the public sewer, use of water for household amenity purposes, brackish water availability, and industrial expansion.

6. Many of these factors have been influenced by the war. The population determines directly the water consumption and wastewater generation as shown in Figure 1. During the past decade, close correlations exist between the mid-year population, fresh and brackish water consumption, and municipal wastewater generation [1] [2]. Municipal wastewater flowrates show some effect of the surge in the brackish water usage during the years 1986-88, illustrating that some portion of the brackish water is discharged into the municipal sewer system.

7. Water consumption per capita and municipal wastewater generation per capita have stabilized from 1988 to 1990 as shown in Figure 2. The municipal wastewater flows are expected to remain in the range of 120-140 liters per capita per day up to the completion of the Municipal Master Plan [3] when the percent of population discharging to the public sewer will be significantly increased. At that time, the wastewater generation is estimated to be 70-80 percent of the water consumption per capita or 220-250 liters per day, on the

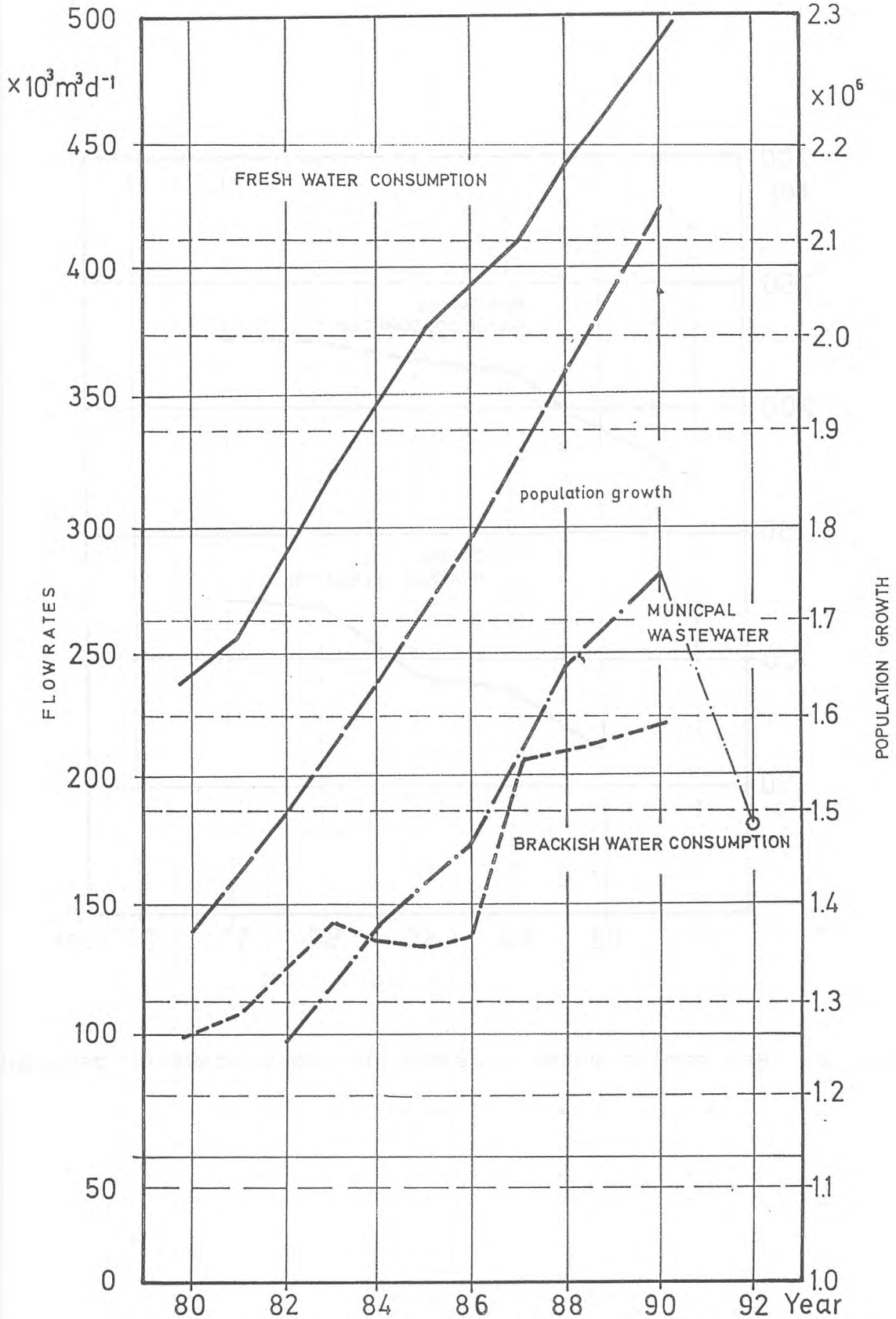


Fig. 1. Relationship between flowrates and population growth

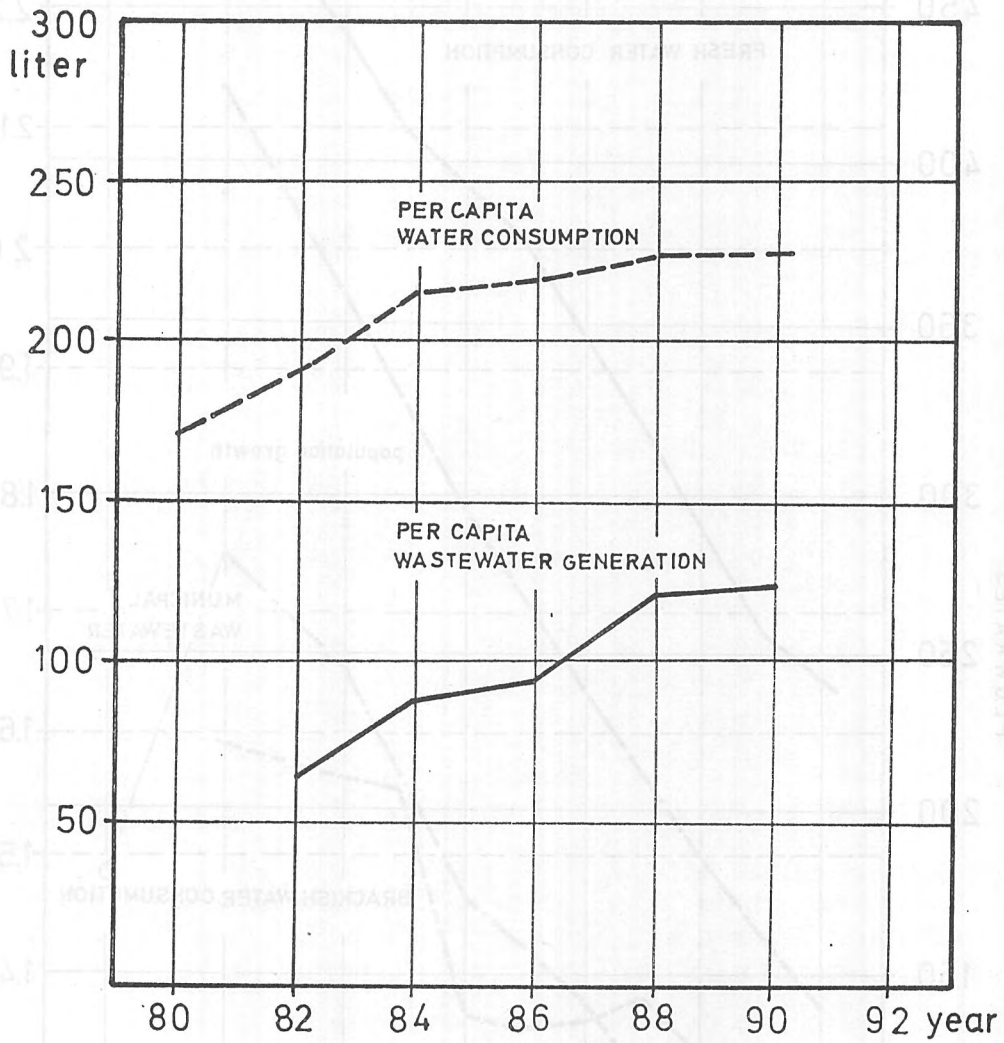


Fig. 2. Per capita water consumption and wastewater generation

basis of the experience demonstrated in Fig. 2 and predicted development in Kuwait. The average wastewater generation is composed from 50-100 liter per capita per day and 250-500 liter per capita per day ranges characteristic for areas with various life style in Kuwait. The future predictions can be influenced by the change of those values. Based on the above study of the relation between wastewater generation and the population growth which is the most dominating factor, the daily wastewater generation can be calculated by the following equations:

$$W = (0.12 - 0.14) \times P \quad (m^3d^{-1}) \qquad (1)$$

at the presently existing drainage system, and

$$W = (0.22 - 0.25) \times P \quad (m^3d^{-1}) \qquad (2)$$

after the completion of the Municipal Master Plan when areas connected to the wastewater collection systems will be increased by 60-70%. P is the population growth in million in the equations.

8. The present municipal wastewater generation is 175-190 m^3d^{-1} including 35-40 m^3d^{-1} industrial wastewater routed to the municipal wastewater system.

9. Taking into account the presently determined population growth limit as 1.4 million inhabitants for the coming decades, and using the above equations, the municipal wastewater generation will be in a range of 170-200 x 10^3 m^3d^{-1} till the completion of the Municipal Master Plan and might be 300-350 x 10^{-3} m^3d^{-1} after its completion. The quality of the municipal wastewater is similar to that before the war.

10. In Kuwait, municipal sewage is treated at three main plants: Ardiya, Rekha, and Jahra. The design data and prewar operation characteristics are shown in Table 1. Presently, the wastewater flows at all the plants are less than before the war. All the three treatment plants are equipped with pre-, secondary, and tertiary treatment with separate sludge treatment facilities. The tertiary treatment sections involve primary chlorination, sand filtration, and secondary chlorination, and are capable of providing treated wastewater effluent for greenery and agricultural irrigation. Presently, the operation of the plants still suffers from war-related damages and only some portion of the treated wastewater satisfies the quality criteria for irrigation water.

11. The main source of the municipal sewage arriving at the three main treatment plants is from domestic (household) sources. In addition, some industrial sources, especially in the Shuwaikh area, feed quantities of wastewater amounting to 30 percent of the flow into the sewers. Minor inputs include truck loads of hauled liquid wastes from remote sites, and infiltration of either rain and irrigation water.

12. According to the Municipal Master Plan, two large treatment plants will handle the total amount of the municipal

wastewater generated from Kuwait City and surrounding settlements.

Industrial Wastewater Generation and Treatment

13. The major portion of the industrial wastewater is generated from the Shuaiba Industrial Area (Table 2). A Central Wastewater Treatment Facility (CWWTF) will treat the industrial and sanitary wastewater and provide a treated effluent satisfactory for greenery irrigation [4] [5]. The implementation of the project is war-delayed and the most probable starting date of its operation will be in the late 1990's.

14. The other industrial areas (Shuwaikh, Sabhan, Sulaibiya and Shaggaya) generate less wastewater, but the treated effluents can be reused for greenery irrigation in the neighbouring areas [6]. The wastewater generated in Shuwaikh is collected and treated together with the domestic wastewater at Ardiya Treatment Plant.

15. The Sabhan Industrial Area has several industries generating significant amount of wastewater. Many of the industries were badly damaged during the war, and the rapid rebuilding of the area is in progress. The flowrates for this industrial area, as shown in Table 2, only can be considered as approximate because the after-war structures of the industrial activity and development of that area are still uncertain.

16. In the Sulaibiya and the Shaggaya Industrial Areas, the agricultural and food industries are the major wastewater generators. The effluents can be used for irrigation after on-site treatment. Both areas were heavily damaged during the war, with industries in the Shaggaya area being almost totally demolished. The rebuilding of the industries will be a longer process, and the wastewater generation rates are uncertain. For the Sulaibiya area, rough estimates of the wastewater generation are given in Table 2 based on the pre-war structure of the industrial activity.

Consideration for the Water Quality Criteria for Selection of the Reuse Options

17. The quality criteria for treated wastewater for various uses are important factors for determination of the environmental, technical and economic feasibility of options. Recommended quality criteria, as summarized in Tables 3 and 4, are set to ensure safe utlization in the long-term without health hazards or adverse effects on the environment.

Table 1. Design and Operation (1989) Characteristics of the Main Sewage Treatment Plants

Plant Characteristics	Ardiya	Rekkha	Jahra
Design hydraulic load (m^3d^{-1})	150,000	100,000	66,000
Design BOD_5 (mg l^{-1})	233*	200	230
Operating Average daily flow (m^3d^{-1})	175,000	60,000	30,000
Operating Average BOD_5 (mg l^{-1})	450	400	400
Hydraulic load (%)	116	60	45
BOD_5 loading (%)**	200	120	79
Irrigation water production (m^3d^{-1})	60,000	60,000	25,000
Treated/partially treated water discharged (m^3d^{-1})	115,000	0	5,000
Variation in raw sewage flow vs average flow (%)	+ 20	+ 25	+ 15

* Average (1st phase 200 mg l^{-1} / 2nd phase 300 mg l^{-1})
** Includes hydraulic flow factor.

Table 2. Industrial Wastewater Effluents

Industrial Area	Flow rate m^3d^{-1}	Estimated future flowrate m^3d^{-1}	Effluent Quality by Year 2000
Shuaiba	31,000	35,000	Treated
Sabhan	2,000	5,000	Partially treated
Sulaibiya	200	2,000	Untreated
Shaggaya	-	?	-

Table 3. Recommended Treated Wastewater Quality Criteria for Greenery Irrigation

Parameters	Max. Conc* (mg/l)	Desirable (mg/l)	Average** conc. (mg/l)	Average*** conc. (mg/l)
Major Pollutants				
COD	150	75	ND	ND
BOD	30	10	10	20
TSS	15	8	10	15
TDS	4500	1500	ND	2500
TKN	20	10	ND	120
NH_3 $-^N$	10	1	3	40
Total-N	40	20	ND	ND
Oil	5	2	ND	ND
H_2S	0.1	Absent	ND	ND
Phenol	0.1	Absent	ND	ND
Residual chlorine	ND	1 (for 12 h)	ND	ND
Other Parameters:				
pH	6-9 units	6-8 units		
Temperature	10-45°C	24-40°C		
Fecal coliform	23/100 ml	3/100 ml		
Cysts and ova for Pathogens	- ND	0/100 ml		
Viral removal efficiency	100%	100%		
Sodium absorption ratio	10 mg/l	8 mg/l		

ND = not determined
* Criteria recommended by Shuaiba Area Authority in codes of practice and Environmental Guidelines.
** Criteria recommended by Ministry of Public Works (MPW).
*** Criteria recommended by Public Authority for Agriculture and Fishery Affairs (PAAF)

Table 4. Recommended Maximum Concentration of Micro Pollutants in Irrigation Water

Micro Pollutants	For Water Used* continuously on all soil (mg/l)	For Use up to 20 years** on fine-textured soils at pH 6.0 to 8.5 (mg/l)
Cd	0.01	0.05
Cr	0.10	1.00
Cu	0.20	5.00
Ni	0.20	2.00
Pb	5.00	10.00
Zn	2.00	10.00
Be	0.10	0.50
Al	5.00	
As	0.1	
B	0.75	
Cn	0.1	
Co	0.05	
Fe	5.0	
Hg	0.1	
Li	2.5	
Mn	0.2	
Mo	0.01	
Se	0.02	
V	0.1	

* Recommended by Shuaiba Area Authority
** Source: National Academy of Science for EPA in Camp, Dresser and McKee Inc., 1980

18. The treated wastewater effluents to be used for greenery irrigation can be evaluated based upon the criteria. The use of water quality criteria are also recommended to ensure proper operation of the irrigation system, especially reducing the plugging potential for pipes and nozzles. Such criteria are presented for drip irrigation [7] as such systems are known to be sensitive to plugging.

19. It is expected that the treated wastewater effluents from the main treatment plants can satisfy the required criteria after restoring the war-damages and if proper operation of the wastewater collection and treatment system is ensured [8].

20. For the selection of the reuse options, attention needs to be paid to special pollutants in Kuwait. Salinity expressed as total dissolved solids (TDS) can influence significantly the irrigation water quality. Whereas the recommended TDS value for irrigation water is 500 mgl^{-1}, several orchards have reused water containing 1500 mgl^{-1} of TDS over the years without significant detrimental effect [8]. Excessive salinity in the water can be tolerated with properly adapted irrigation technology and plant selection. It is well-known in Kuwait that moderately saline brackish water having TDS values in the range of 3000-4500 mgl^{-1} have been successfully employed to grow various vegetables and crops over a period of several years.

21. Suspended solids in irrigation water are caused primarily by silt, clay, inorganic precipitation and organic particles, including bacterial and algal cells. The suspended solids of treated effluent can be increased in Kuwait by dust storms during the water storage or water conveyance. At the application site, these solids can cause plugging in the irrigation nozzles and can be abrasive to pumps and piping.

22. Irrigation water contaminated with pathogens is undesirable, not only for agricultural irrigation, but also for landscape irrigation. In Kuwait's warm and sometimes windy climate, microbial aerosols formed by spray irrigation and airborne soil particles can transmit hazardous disease-causing organisms. Since irrigation water is likely to be used near offices, roads, industries and recreational areas, its microbiological quality needs to be of a high order.

23. The monitoring of all pathogens cannot be fulfilled by laboratories assigned for routine water analysis. It is appropriate to undertake routine monitoring of bacterial indicators [9] of fecal pollution in reused water. Independently from the bacterial indicator monitored, the results can be used to give an indication of the possible presence or absence of pathogenic bacteria in effluents. However, the numbers of indicator bacteria cannot give any assurance about the virological quality of the effluent. This is particularly true in disinfected sewage effluents, where

the response of bacteria and viruses to the disinfectant differs markedly and where virus removal is more sensitive to the chemical quality of the secondary effluent [9].

24. It is important to realize that results for pathogens from standard tests are a function of the test method employed. Recently, the concept of viable non-culturable bacteria has been widely debated, as have questions of recovery of damaged bacteria after disinfection. Although, no epidemiological evidence of increased frequencies of cases of infectious diseases resulting from the use of effectively treated sewage effluent has been reported, the fears of the general public needed to be allayed with respect to safety.

Wastewater Reuse Options

25. The alternatives for viable water resources have decreased in post-war Kuwait, e.g., river water cannot be considered as before, and the available treated wastewater is diminished. On the other hand, the water allocation policy must consider the strategically important water uses. The major alternatives for water reuse remained the same: agricultural and greenery irrigation, afforestation, and onsite cleaning operations. Fig. 3 indicates a typical reuse alternative. The development and maintenance of greeneries along the highways and other roads have a special status both in short and long term planning. These alternatives are already practised and considered in Kuwait's wastewater management. According to the present circumstances their priorities have been changed or they are under consideration.

26. The existing water distribution and storage system can be utilized as soon as restored from war damages. The three major municipal treatment plants (Ardiya, Rekkha, Jahra) are equipped with treated wastewater storage facility and a network is established to transport the treated effluent to the users as shown in Figure 4. The water conveyance systems of the treatment plants link to each other and the effluents can be combined at the Data Monitoring Center (DMC) located in Sulaibiya area adjacent to the agricultural farms. The DMC has water storage and effluent monitoring facilities for distribution of the treated wastewater to the users. Roadside, forestry, other greenery and agricultural irrigation can be performed by the treatment and distribution system. Plans were ready before the war for future expansion which can be partially integrated into restoration projects. The treated wastewater distribution and reuse system is constructed to transfer large quantities of effluent from the treatment plants to the DMC. This system provides both flexibility and reliability in the reuse system. Although it is desirable to maintain this flexibility, it will be a major expense to expand the effluent transfer system to keep up with the expanding reuse system, especially when the reuse sites become more extensive. Different programs for reusing

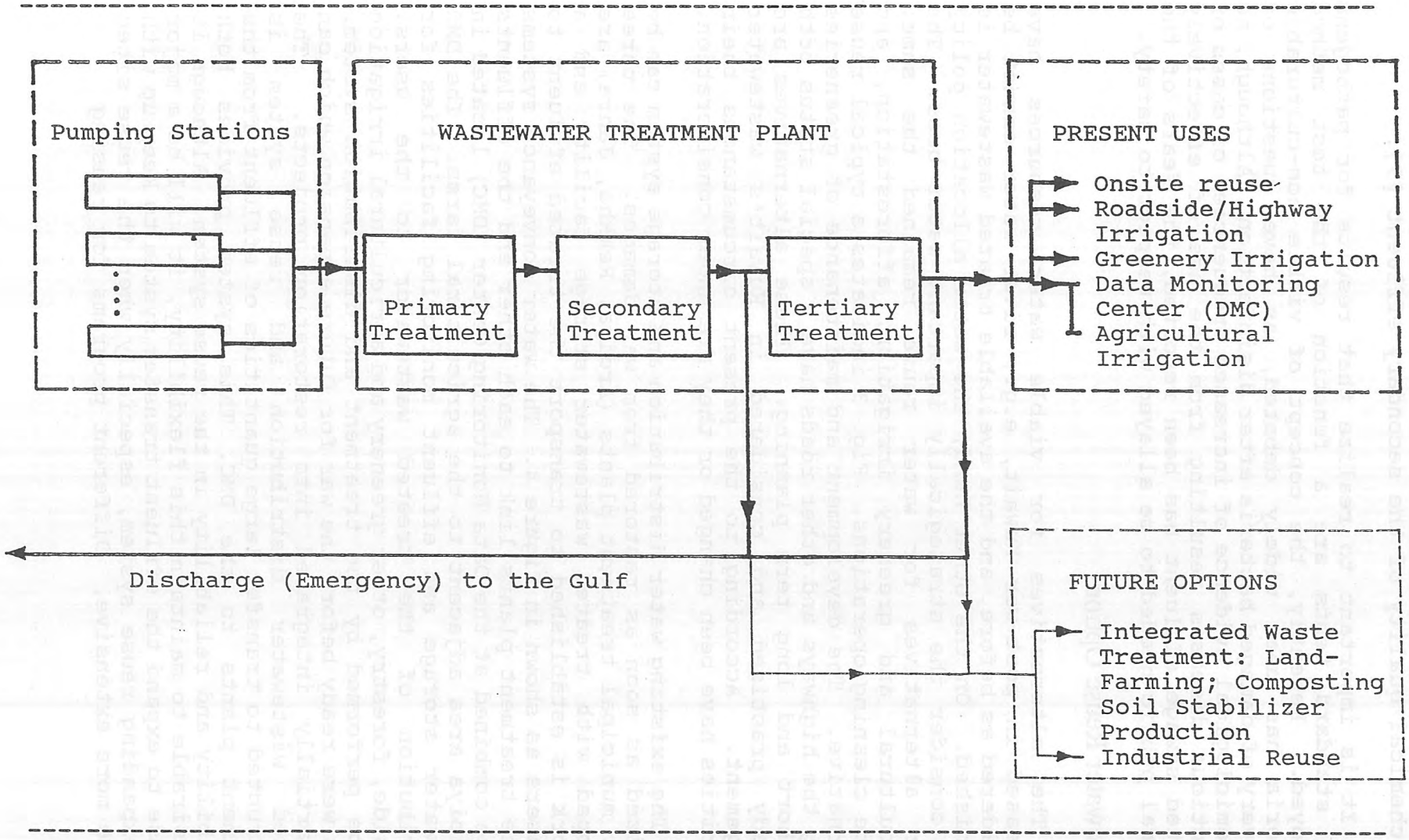


Fig. 3. Treated Effluent Reuse Options

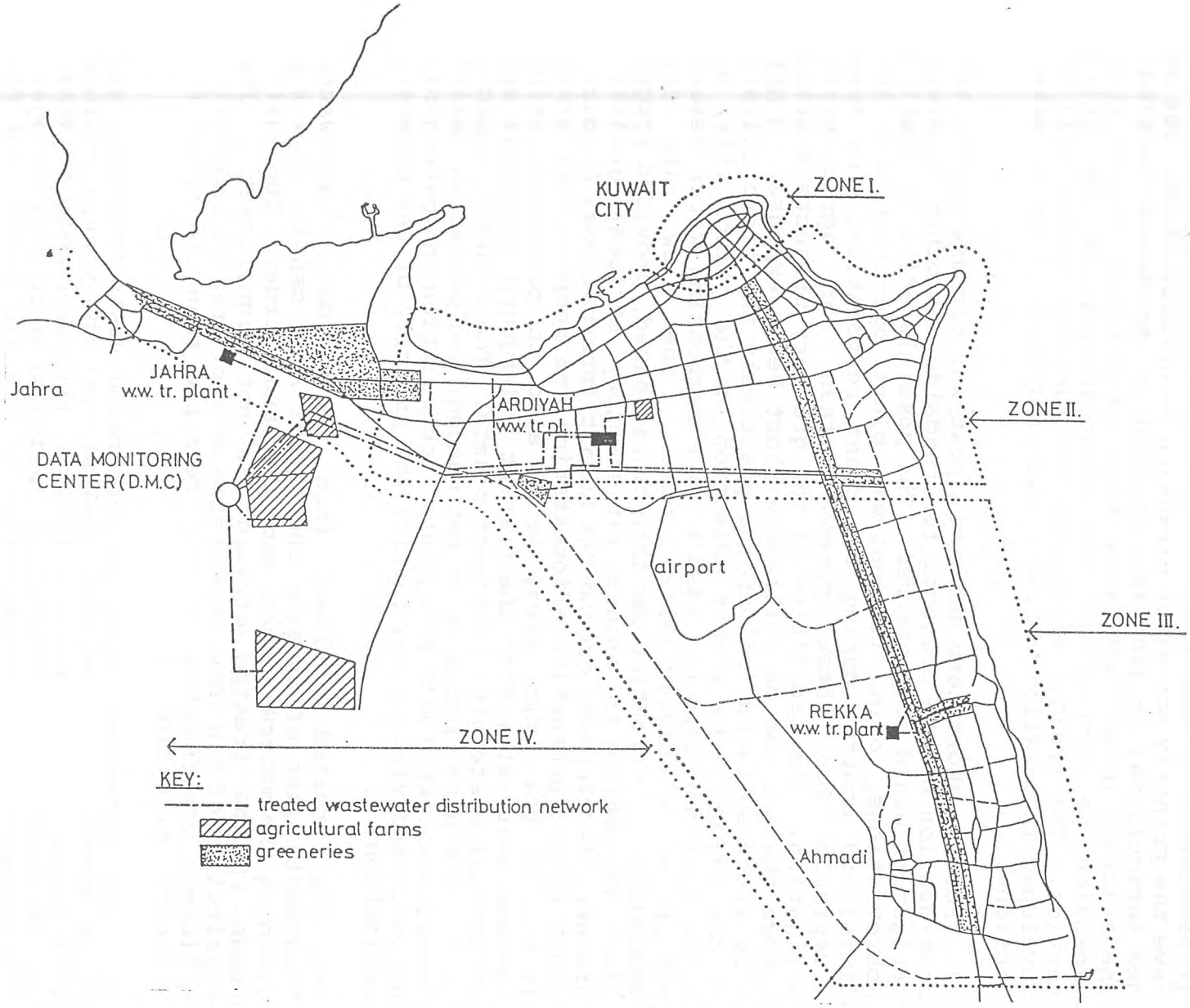


Fig. 4. Treated Wastewater Distribution and Reuse

effluents have been reviewed, based on different combinations of agricultural areas, afforestation and motorway/roadway green belts. Preference is given for agricultural an afforestation in the first version. The motorway green belts have the priority and minor expansion to afforestation, but no new agricultural project are included in the second version. The motorway green belts have also the priority before some expansion to agriculture and afforestation in the third version. The treated wastewater distribution system will be developed in relation with the implementation of the selected versions.

27. For the short term under the post-war circumstances, the continuation of the projects for roadside and other greenery irrigation would be preferred. The possible effluent quality abbreviations, owing to post-war plant operation and the diminished control during the plant restoration, are more acceptable for these purposes than for agricultural irrigation. The facilities of the greenery projects started before the war can be utilized without heavy expenses to get more green surfaces influencing positively the micro climate in the areas. The proper selection of the plants will, by their root development, result in a decreasing water demand within a relatively short time. The flow rate for agricultural irrigation can then be increased, provided proper plant operation to ensure satisfactory effluent quality. Greenery development around the Kuwait International Airport, other roads, protective afforestation and recreational areas (e.g., in the Jahra area) would also be preferred using treated wastewater from the present and future municipal and industrial wastewater treatment plants. The economic aspects (e.g., effluent upgrading is not needed) and potential health hazard associated with heavy metal accumulation and pathogenic bacteria and viruses can justify the priority of the greenery irrigation.

28. The treated effluent from the central wastewater treatment plant of Shuaiba Industrial Area can be used for greening the motorway sides upto the Saudi border. The onsite reuse of the treated effluent is not significant. The feasibility of the industrial reuse even of treated industrial effluents was found to be less feasible than its reuse for greenery irrigation [4].

29. The wastewater reuse for integrated waste treatment and reuse technologies was also studied [10] and viable options were found. The wastewater effluents, even secondary treated, can be used very economical for landfarming of oily sludges, for composting and co-composting of organic wastes and for soil stabilizer production from nitrogenous wastewater effluents. These candidate uses should be considered for the long term to support the development of large scale solid waste treatment capabilities in Kuwait.

References

1. Ministry of Electricity and Water. Statistical Year Book. 1989. (Water) Ed. 16B.
2. Ministry of Planning. Annual Statistical Abstract. 1989. Ed. 26.
3. Ministry of Public Works. Sanitary Engineering Department. Kuwait Sanitary Master Plan.
4. Pal, H. S., K. Puskas, S. Kotob and Y. Sharma. Prefeasibility of establishing a facility for wastewater treatment within the Shuaiba Industrial Area. Kuwait Institute for Scientific Research. Report No. KISR 1085A, Kuwait. 1985.
5. Mark, A. G. Shuaiba Industrial Wastewater Treatment Facility. Lecuture presented for the Regional Refineries Effluent Treating Workshop. Gulf Area Oil Company. 1989.
6. Hamdan, I., K. Puskas and N. Al-Awadhi. Greenery Plan, Sewage Treated and Industrial Wastewater. Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait. 1990.
7. Ghobrial, F., M. Lionel, B. Patel and A. Awad. Assessment of Raw Sewage and Treated Effluent Characteristics in Kuwait. Kuwait Institute for Scientific Research, Report No. KISR 2468, Kuwait. 1987.
8. Hamer, G., T. Egli and N. Al-Awadhi. Polluted Water Renovation for Reuse: Recent Biotechnological Advances Applicable in Hot Arid Regions. Desalination, **72**, 31-65, 1989.
9. Robert, B. D., L. Epison, A. James and E. Lund. Report by a World Health Organization Group of Consultants on Utilization of Treated Wastewater in Kuwait, WHO, Copenhagen, Denmark. 1984.
10. ElNawawy, A. S., K. Puskas, A. Elimam and F. Ghobrial. Wastes Management Program for the Enlarged Shuaiba Industrial Area. Kuwait Institute for Scientific Research, Report No. KISR 2228, Kuwait. 1985.