

بسم الله الرحمن الرحيم



المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف الصحي بصنعاء باستخدام محطة تجريبية بنظام مفاعل UASB

محمد يحيى عطف الله - فضل علي التزيلي - نضال محمود
كلية الهندسة - جامعة صنعاء - الجمهورية اليمنية
معهد الدراسات البيئية والمائية ، جامعة بير زيت - فلسطين

المشكله:

أدت شحة المياه في مدينة صنعاء إلى زيادة تركيز المواد العضوية في مياه الصرف الصحي الوالصلة إلى محطة المعالجة حيث ارتفعت من ٥٠٠ مجم/لتر في سنة ١٩٨٣ م إلى ٨٠٠ مجم/لتر في عام ١٩٩٥ م و بلغت ١١٠٠ مجم / لتر في سنة ٢٠٠٠ م مما أثر على كفاءة المعالجة رغم أن المحطة فقط قاربت للوصول إلى الحمل الهيدروليكي التصميمي (٥٠٠٠ م³/يوم). هذا التركيز العالي دفع المؤسسة المحلية للمياه و الصرف الصحي بصنعاء إلى التفكير بإدخال معالجه ابتدائية على شكل احواض ترسيب ابتدائيه تسبق المعالجة الهوائية لتخفييف الحمل العضوي على المرحله الهوائيه.

في هذا البحث تم اقتراح إدخال نظام مفاعل UASB أيضا حلا مثاليا لتخفييف تركيز الحمل العضوي وإنج طاقه يمكن الاستفاده منها. ومن ضمن المميزات أن نظام مفاعل UASB يحتاج لإنشاءه إلى مساحة أقل من احواض الترسيب مما يوفر على الدولة صرف تعويضات عن الأراضي المستخدمة كما تحتاج إلى شراء مولد لتوليد كهرباء لتشغيل المحطة لاحقا وكذلك صيانة مستمرة للأجهزة الميكانيكية للمحطة و ذلك بواسطة مهندسين متخصصين.

المعايير التصميميه لمفاعل UASB :

سرعة صعود المياه , $V_{up} > 3 \text{ m/h}$ و سرعة الخروج $V_{out} < 3 \text{ m/h}$

تم المعالجة في خزان (reactor) يصم على فترة مكوث للمياه من 6-24 hr وعمق الخزان (2.5m) وفي أسفل الخزان طبقه من الأوحال بها بكتيريا لاهوائيه نشطه (sludge) .

الهدف من البحث :-

دراسة كفاءة المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف الصحي بصناعة باستخدام محطة تجريبية بنظام مفاعل UASB .

منهجية البحث

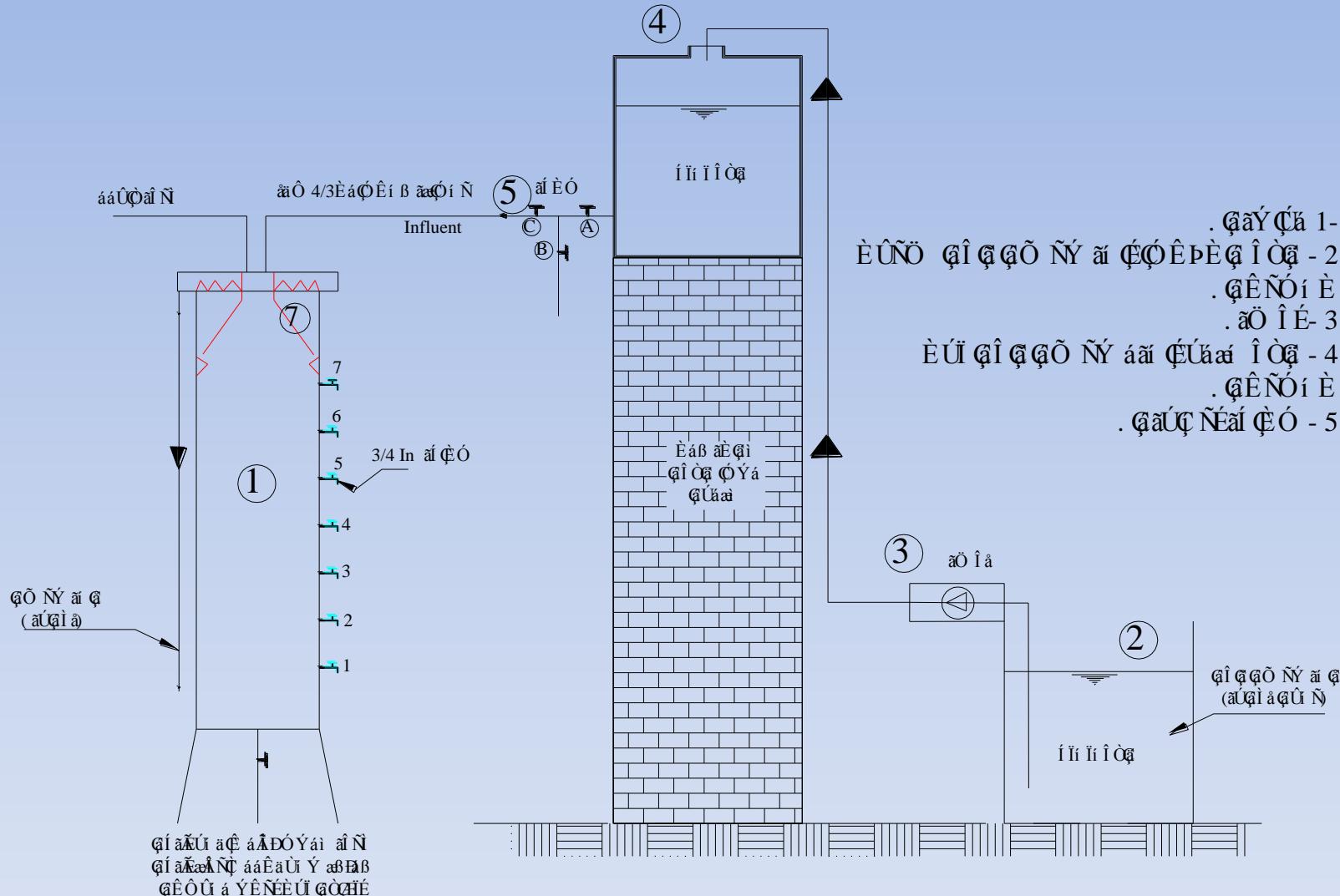
مرحلة تصميم مفاعل (UASB) و ملحقاته :-
تمأخذ شكل ال (Reactor) من تصاميم العالم الهولندي (Lettinga)
الذي بدأ فكرة المفاعل عام ١٩٧٠ م .

وتم صنع المفاعل من مادة الحديد المجلفن في ورشه للحديد بالمقاسات التالية
القطر = 64 cm .

الارتفاع = 250 cm .

قطر القمع = 54 cm .

. المسافة بين مسند القمع و القمع = 5cm بواسطة 6 ركائز طولها 5 cm .

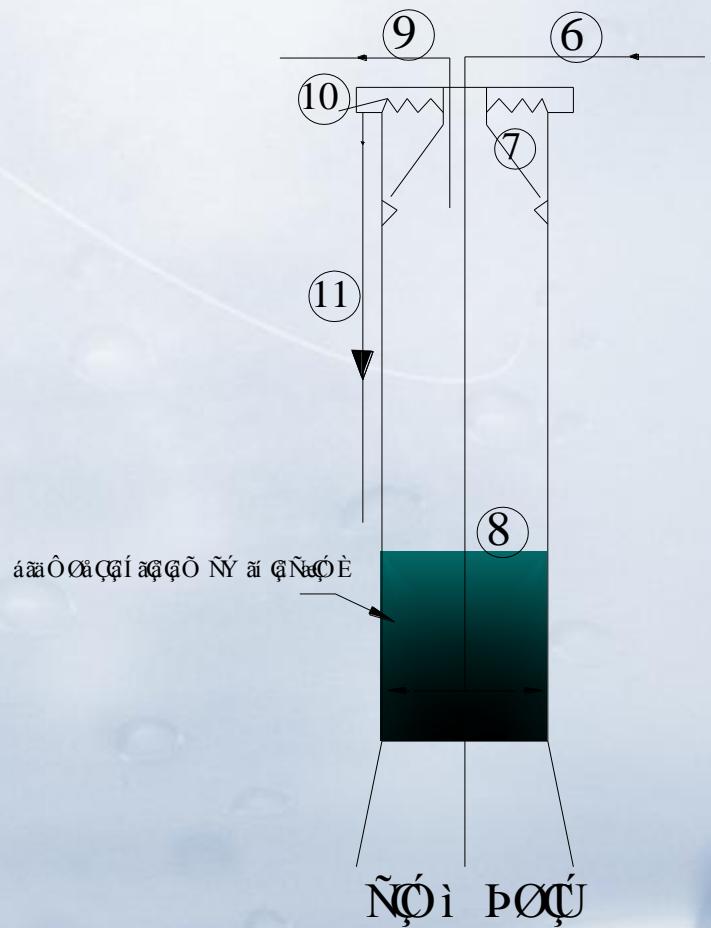


(UASB Reactor) á QÉì N Èí ÉQáí ØÉãß aäCÉ í Èí ä (1) Ôßá

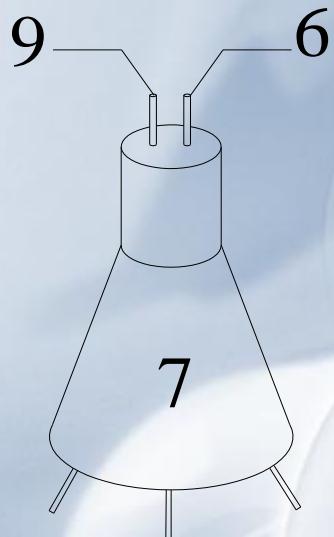
. QáY Çá 1-
È ÜÑÖ qí qí qí N Y áí QéCÉPÈç i ñq - 2
. QéNÓí È
. aö i É- 3
È Üí qí qí qí N Y áí Qúaa i ñq - 4
. QéNÓí È
. QáUç Néaí CéO - 5

المحطة التجريبية أثناء التشغيل





. ÇäÝ Çá Åì çí çäçí Çéíí aá aØ aÑé- 6
 . ÇÜçéí ãí Úpáú- 7
 . çí aÑ- 8
 . ÇÜçí ñd aØ aÑé- 9
 . çäúçí éçäçí Çéí ñd aïñ- 10
 . çäúçéçäçí Çéí ñd aØ aÑ- 11



çäpáú
 (UASB reactor) Ç aß aäçé í Èí a (2) Ôßá

مرحلة تصنيع و إنشاء مفاعل UASB اللاهوائي:



- تم تجهيز المفاعل مع الملحقات و تركيبه .
- تم نقل المفاعل إلى محطة المعالجة الرئيسية بأمانة العاصمة و تم وضعه جوار مدخل مياه الصرف الصحي الخام إلى المحطة تم بناء قاعدة للخزان العلوي بارتفاع ٣.٦ م من مباني بلك ١٥ سم الغرض من ذلك أن يتم دخول الماء للمفاعل بالجاذبية الأرضية .
- تم توريد وتركيب خزان علوي بحجم ١ م^٣ وخزان سفلي بحجم ١ م^٣ .
- تم تركيب دينامو قدرة ½ حصان لرفع الماء من الخزان السفلي إلى الخزان العلوي وتجهيز أعمال السباكة و توصيل المواسير و تركيب المحابس و المضخة بين الخزان السفلي و الخزان العلوي و بين العلوي و المفاعل و بين المفاعل و مدخل المحطة (للمياه الخارجة من المفاعل بعد المعالجة) .
- تم توفير مضخة كبيرة لرفع المياه الخام من المدخل إلى الخزان السفلي و توفير رافعة و توفير وايت للمياه العذبة لتنظيف الخزانات و المفاعل و تعبئة المفاعل بالمياه النقية عند بدء التشغيل (هذه المعدات تابعة لمحطة المعالجة) .

تجهيز و تشغيل نظام مفاعل UASB :-



- تجهيز الحمأة :-
الحمأة : هي عبارة عن التربسات الناتجة عن تركيز وترسيب مياه الصرف و تم تحضيرها بالطريقة التالية :-
- تم تعبئة الـ (Reactor) بمياه الصرف الخام و تم ترك الخزان لمدة يوم كامل وفي اليوم التالي تم فتح المحابس جميعها ماعدا الفتحة السفلية للـ (Reactor) .
- تم تكرار العملية السابقة في اليوم الثالث تم فتح جميع المحابس ما عدا المحبس رقم ١ من الأسفل و تكررت العملية بنفس الطريقة حتى المحبس رقم ٣ بحيث أنه تم مليء أكثر من ثلث الـ (Reactor) من الحمأة .
- تم أخذ 10L من الحمأة الغنية بالبكتيريا اللاهوائية من المعهد البيطري - (مشروع إنتاج الغاز من مخلفات الحيوان) (خميرة للحمأة الموجودة) لإنتاج بكتيريا الميثان داخل الـ (Reactor) وتم إضافتها للحمأة الموجودة .

تم تشغيل المفاعل وعلى فتره المكوث التصميمية (36h) بعد احتواه على الكمية الكافية من الحمأه الفعالة وبارتفاع لا يقل عن $\frac{1}{3}$ ارتفاع المفاعل.



مرحلة الاستقرار :- تم تعبئة المفاعل بمياه نقية ثم بمية صرف مخففة بمياه نقية لمدة أسبوعين ثم بمياه الصرف الصحي (فترة المكوث ٣٦ ساعة) .

تم ضبط التدفق للمفاعل على فترة مكوث (٣٦) ساعة وتمت التعبئة للمفاعل من مياه الصرف الخام واستمرت تعبئة الخزانات بانتظام لمنطقة شهر كامل حتى تتكون البكتيريا اللاهوائية .

- تم تشغيل المفاعل على فترات مكوث ٢٤، ١٢، ٦ ساعات .
- تم أخذ عينات لاختبار COD لعينات الداخل والخارج من المفاعل وذلك بعد شهر (الوصول إلى حالة الاستقرار والتفاعل الطبيعي لبكتيريا الميثان) .
- تم أخذ النتائج وعملها في جداول ورسوم بيانية .

حساب كمية التدفق المطلوب تدفقها إلى المفاعل (Q) (التصميمية) .

$$0.804\text{m}^3 \quad V =$$

المساحة السطحية للمفاعل $A = 0.322\text{m}^2$ ، حجم المفاعل

الحجم الفعلي $V_{ac} = 0.563\text{m}^3$ ، نفرض فترة المكوث $HRT = 24\text{hr}$ ، $HRT_2 = 12\text{hr}$ ، $HRT_3 = 6$ * كمية التدفق (Q)

$$Q_3 = 93.83\text{L/hr} , Q_2 = 46.92\text{L/hr} , Q_1 = V/HRT_2 = 23.46 \text{ L/hr}$$

* سرعة التدفق المطلوبة (v)

$$V_3 = 0.292 \text{ m/hr} , V_2 = 0.146 \text{ m hr} , < 3 \text{ m hr} \quad (\text{Safe}) \quad V_1 = Q/A = 0.073 \text{ m hr}$$

$$V_{1-2} = 0.257 \text{ m hr} , V_{2-2} = 0.514 \text{ m hr} , V_{3-2} = 1.028 \text{ m hr} < (2-3)$$

Ok

أخذ العينات والتحاليل المعملية :-



١- قياس كميات المواد الصلبة الكلية Total Suspended Solid (TSS)

الحماه : العينة الماخوذه 25ml من أسفل المفاعل.

٢- قياس كميات المواد الصلبة الكلية (المتطرفة والذائبة والعالقة) TS

الحماة :- العينة الماخوذه 50ml من أسفل المفاعل :

٣- قياس كمية المواد العضوية الكلية COD

بعد وصول المفاعل إلى حالة الاستقرار تم أخذ العينات يوميا من المياه الداخلة للمفاعل من المحبس (B) ما بين الخزان العلوي والمفاعل

و تم أخذ العينات للمياه الخارجة من المفاعل من أنبوب الخروج يوميا وكان يتم مراجعة (HRT) يوميا بواسطة أنبوب مدرج مع ساعة إيقاف وتصحیحه بطريقة المحاولة والخطاء .

تم أخذ العينات عند فترات مكوث مختلفة (٦ ، ١٢ ، ٢٤) ساعات . (عينات من المخرج والمدخل)



صور توضح أخذ العينات من
المفاعل و تحليلها بشكل يومي



النتائج

كمية المواد الصلبة الكلية (TSS) Total Suspended Solid
من أسفل المفاعل . 25ml الحماة :- العينة الماخوذة

(ورقة الترشيج) W1	(ورقة الترشيج + المواد الصلبة) W2	TSS (W2-W1)/25*10^6
0.3336g	0.4618g	5128mg/L

من المياه الخارجة المعالجة :-

العينة الماخوذة 25ml من أعلى المفاعل: يتم عمل نفس الخطوات السابقة

(ورقة الترشيج) W1	(ورقة الترشيج + المواد الصلبة) W2	TSS (W2-W1)/25*10^6
0.346g	0.35518g	204 mg/L

قياس كميات المواد الصلبة الكلية (المتطايرة والذائبة والعالقة) TS

١ - الحماة (من أسفل المفاعل) :- العينة الماخوذة 25 ml

(الجفنه فارغه) W1	(الجفنه المواد + الصلبة) W2	(الجفنه المواد الصلبة + الغير متطايرة) W3	TS=(W2-W1)/ 25 *10^6 الكلية	TVS=(W2-W3)/ 25 *10^6 الذائبة	TFS=(W3-W1)/ 25 *10^6 المتطايرة
45.6447g	46.8461g	46.0628g	47908 mg/L	31292 mg/L	16616 mg/L

TVS= *100% = 65.3%

٢ - الحماه (الخميره) : العينة الماخوذة 10 ml

(الجفنه فارغه) W1	(الجفنه المواد + الصلبة) W2	(الجفنه المواد الصلبة + الغير متطايرة) W3	TS=(W2-W1)/ 10 *10^6 الكلية	TDS=(W2-W3)/ 10 *10^6 الذائبة	TFS=(W3-W1)/ 10 *10^6 المتطايرة
0.3437g	0.9929g	0.5300	64920mg/L	46290mg/L	18630mg/L

TVS= *100% = 71.3%

• ٣- الحماء (من ال (Thickener) :-

العينة الماخوذه 10 ml

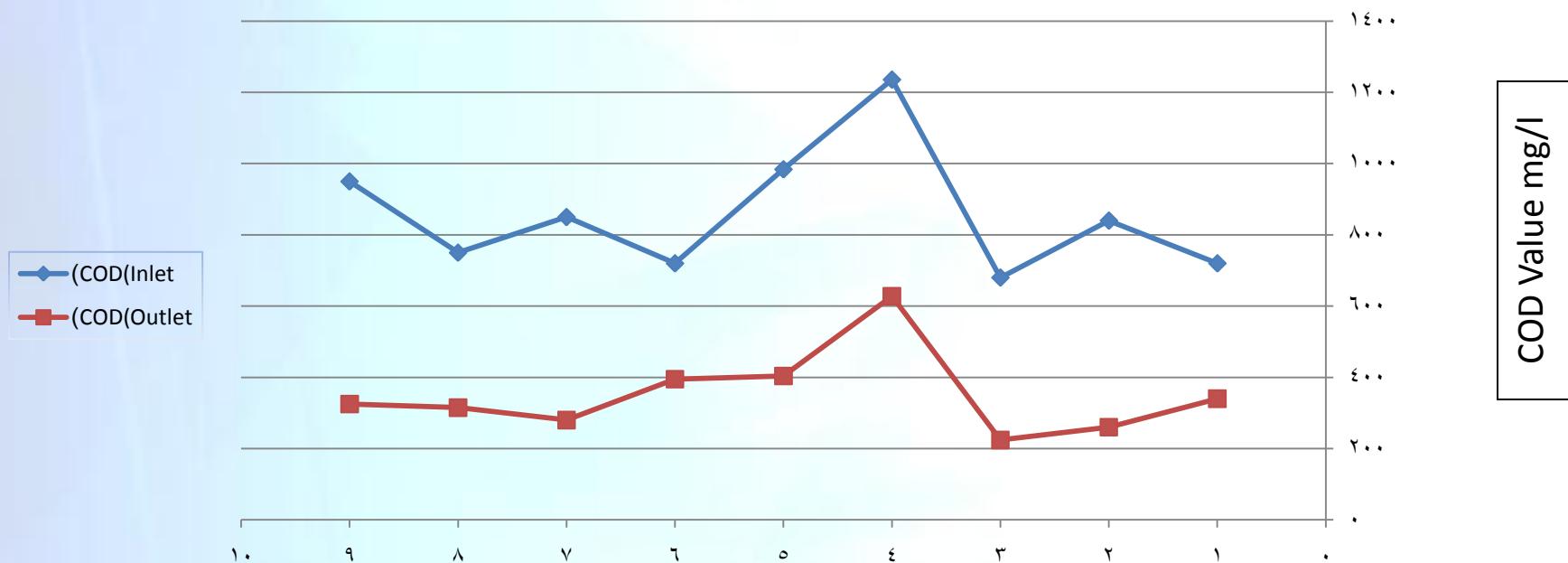
W1 (الجفنه فارغه)	W2 (الجفنه المواد الصلبه)	W3 (الجفنه المواد الصلبه + الغير متطايرة) الكلية	$TS = (W2 - W1) / 10 * 10^6$	$TVS = (W2 - W3) / 10 * 10^6$ الذائبة	$TFS = (W3 - W1) / 10 * 10^6$ المتطايرة
0.3454g	0.7674g	0.3955	42200mg/L	37190mg/L	5010mg/L

$$TVS = *100\% = 88.1\%$$

٣- قياس كمية المواد العضوية الكلية :-COD

جدول (١) يوضح قيم(COD) لمياه الصرف قبل و بعد المعالجة في المفاعل لمدة ٩ أيام متتالية بعد فترة ٤٥ يوم من تشغيل المفاعل (٢٤ ساعة)

م	HRT	Inlet COD)	Outlet (COD)	كفاءة المعالجة
١	٢٤	٧٢٠	٣٤٠	٥٢.٧٨%
٢	٢٤	٨٤٠	٢٦٠	٦٩.٠٥%
٣	٢٤	٦٨٠	٢٢٤	٦٧.٠٦%
٤	٢٤	١٢٣٦	٦٢٨	٤٩.١٩%
٥	٢٤	٩٨٤	٤٠٤	٥٨.٩٤%
٦	٢٤	٧٢٠	٣٩٥	٤٥.١٤%
٧	٢٤	٨٥٠	٢٨٠	٦٧.٠٦%
٨	٢٤	٧٥٠	٣١٥	٥٨.٠٠%
٩	٢٤	٩٥٠	٣٢٥	٦٥.٧٩%



الشكل (٣) رسم بياني لقيم COD للعينات التي تم فحصها لفترة مكوث ٢٤ ساعة

فترة المكوث (١٢) ساعة

م	HRT	Inlet COD)	Outlet (COD)	كفاءة المعالجة
١	١٢	800	380	52.50%
٢	١٢	856	440	48.60%
٣	١٢	884	388	56.11%
٤	١٢	920	528	42.61%
٥	١٢	880	500	43.18%
٦	١٢	950	620	34.74%
٧	١٢	840	368	56.19%
٨	١٢	990	420	57.58%

جدول (٢) يوضح قيم COD للعينات التي تم فحصها لفترة مكوث ١٢ ساعة



الشكل (٤) رسم بياني لقيم COD للعينات التي تم فحصها لفترة مكوث ١٢ ساعة

فترة المكوث (٦) ساعات

جدل (٣) يوضح قيم COD للعينات التي تم فحصها لفترة مكوث ٦ ساعات

m	HRT	Inlet COD)	Outlet (COD)	كفاءة المعالجة
١	٦	835	425	49.10%
٢	٦	960	520	45.83%
٣	٦	750	436	41.87%
٤	٦	700	456	34.86%
٥	٦	840	440	47.62%
٦	٦	835	425	49.10%



الشكل (٣) يوضح بناءً على COD للعينات التي تم فحصها لفترة مكوث ٦ ساعات

٣ – ظهور فقاعات من غاز الميثان (الغاز الحيوي) حول القمع المجمع



صورة توضح القمع مع فقاعات الغاز المتتصاعد (CH4)

المناقشة والاستنتاج

- تم مشاهدة فقاعات الغاز الحيوي الناتج من التفاعلات البيولوجية داخل المفاعل و لم نتمكن من قياس كمية الغاز الناتج عن المعالجة داخل المفاعل (غاز الميثان) لعدم توفر الجهاز المطلوب.
- من خلال النتائج وجد أن كفاءة المفاعل من $34\% - 67\%$ وهذه نتيجة مشجعة لتطبيق هذا النظام في معالجة مياه الصرف الصحي .
- استخدام مفاعل UASB لمعالجة المياه للتجمعات السكانية الصغيرة , ولمعالجة المياه الصناعية والمياه ذو التراكيز العالية ل COD.
- تمت مقارنة التجربة بتجربة مماثلة في إيران [٥] نظراً للتشابه الكبير بين التجارب من حيث حجم المفاعل ودرجة الحرارة وفترة المكوث وبحسب الجدول التالي :

نتائج تجربة هذا البحث	نتائج تجربة إيران	وجه المقارنة
0.804	٠.٨٤٨	حجم مفاعل (UASB) (٣ م)
6,12,24	2,4,6,8,10	(ساعة) (HRT)
٢١ درجة مئوية متوسطة لفترة البحث	٢٦ صيفاً ، ٢٢ شتاءً	درجة الحرارة (درجة مئوية)
٨٢٠	٤٠٦	متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٦ ساعات
٤٥٠	٢٦٠	متوسط COD outlet عند فترة مكوث ٦ ساعات
45%	36%	متوسط كفاءة المعالجة

جدول (٤) مقارنة بين بيانات التجربة في إيران والتجربة في هذا البحث من خلال الجدول (٤) يوضح أن كفاءة المعالجة في هذا البحث أكبر من كفاءة المعالجة في نتائج التجربة الإيرانية مما يبين أن كفاءة مفاعل UASB قد تزيد بزيادة تركيز COD في مياه الصرف الصحي الداخل للمفاعل حيث أن متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٦ ساعات للتجربة الإيرانية هو (٤٠٦ mg/l) بينما متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٦ ساعات للتجربة اليمنية هو (٨٢٠ mg/l) .

تمت أيضاً مقارنة التجربة بمماثلة في الهند بحسب الجدول التالي :

نتائج تجربة هذا البحث	نتائج تجربة الهند	وجه المقارنة
٠.٨٠٤	٠٠٠١	حجم مفاعل UASB (٣ م)
٦,١٢,٢٤	٢٤	(ساعة) HRT
٢١ درجة مئوية متوسطة لفترة البحث	---	درجة الحرارة (درجة مئوية)
٨٢٠	١٢٠٠	متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعات
٣٥٢	٣١٠	متوسط COD outlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعات
٦١%	٧٤%	متوسط كفاءة المعالجة

جدول (٥) مقارنة بين بيانات التجربة في الهند والتجربة في هذا البحث من خلال الجدول (٥) يوضح أن كفاءة المعالجة في هذا البحث أقل من كفاءة المعالجة في نتائج التجربة الهندية مما يبين أن كفاءة مفاعل UASB قد تزيد بزيادة تركيز COD في مياه الصرف الصحي الداخل للمفاعل حيث أن متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعة للتجربة الهندية هو (١٢٠٠ mg/l) بينما متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعة لتجربة هذا البحث هو (٨٢٠ mg/l) .

تمت أيضاً مقارنة التجربة بمماثلة في البرازيل بحسب الجدول التالي :

تجربة بحثنا	البرازيل	وجه المقارنة
٠.٨٠٤	٦٧.٥	حجم مفاعل UASB (٣ م)
٦,١٢,٢٤	٧	(ساعة) HRT
٢١ درجة مئوية متوسطة لفترة البحث	١٦ شتاء، ٢٣ صيفا	درجة الحرارة (درجة مئوية)
٨٢٠	٧٩٣	متوسط COD inlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعات
٤٥٠	٣١١	متوسط COD outlet عند فترة مكوث ٢٤ ساعات
٤٥%	٥٦%	متوسط كفاءة المعالجة

جدول (٦) مقارنة بين بيانات التجربة في البرازيل والتجربة في هذا البحث

• من خلال الجداول و المقارنات مع تجارب أخرى فانه يعطي دلالة على أن ما تم عمله في هذا البحث يعتبر خطوة جيدة للاستمرار في البحث للوصول إلى نتائج أفضل كي يمكن تطبيقها بمحطات معالجة واقعية ذو اقتصادية أعلى و كلفة أقل .

التصنيات

- ▷ ضرورة الاستمرار في أخذ العينات و التدقيق على المدخلات حتى نصل إلى نتائج أكثر لإمكانية تطبيق هذا النظام و الاستفادة من مميزات هذا النظام و التقليل من عيوبه و معالجتها .
- ▷ نوصي بتطبيق هذا النظام في معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق ذات درجة الحرارة العالية والإشعاع الشمسي الكبير حيث أن هذين العاملين يسرعان في عملية المعالجة و زيادة كفاءتها و كذلك إنتاج طاقة من غاز الميثان الناتج من عملية المعالجة داخل المفاعل .
- ▷ ضرورة تصنيع مفاعل آخر للمقارنة مع المفاعل الحالي .
- ▷ ضرورة التعديل في طريقة عمل المفاعل حتى يكون أقرب للواقع وذلك بالخطوات التالية استبدال الخزانات العلوية والأرضية بمضخة صغيرة مخصصة لمياه الصرف بحيث تعطي التدفق المطلوب لمياه الصرف الصحي الداخلة للمفاعل وتمكن وقوع الانسداد في الأنابيب للمياه الداخلة .
- عدم ضخ الماء من المدخل إلى المفاعل مباشره بل يتم الترسيب و حجز الرواسب والرمال أولا .
- ▷ ضرورة إشراك القطاع الخاص في هذه البحوث وذلك لمعالجة مياه الصرف الصناعية بهذه التقنية القليلة الكلفة كما في البلدان الأخرى .

شكرا على حسن الاستماع

كما نشكر مشروع POWER في معهد اليونسكو
على تمويل البحث من خلال مركز المياه
والبيئة بجامعة صناعة

م / محمد يحيى عطف الله

myatfallah@gmail.com