إيجاد معامل الانحلال الحيوي (k_d) للحمأة المنبوذة من محطة معالجة المياه المطروحة في مجمع المستشفيات لمدينة الموصل

احمد ياسين شهاب

جامعة الموصل/كلية الهندسة/ قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

تناول البحث دراسة معامل الانحلال الحيوي للحمأة المطروحة من محطة معالجة المياه المطروحة في مجمع المستشفيات لمدينة الموصل، أعدت أربعة أحواض مختبرية بسعة 2.25 لتر للحوض وحُهزت لتعمل كوحدات هضم هوائية. وفي أثناء فترة تشغيلية استمرت لمدة شهر تمت فيها السيطرة على درجة حرارة الهضم بحيث كانت ċ(30, 25, 20, 15) في الحوض الأول والثاني والثالث والرابع على التوالي، أحتسب معامل الانحلال الحيوي للحمأة وكان (k_{d15}=0.02, k_{d20}=0.03, k_{d25}=0.04, k_{d30}=0.05)d^{-1}. كما تم إيجاد الثابت الحراري لمعامل الانحلال الحيوي (θ) وقدرة قيمته بـ (1.059). فضلا عن ذلك أثبتت نتائج الدراسة بأنه لخفض 50% من تركيز الكتلة الحية في الأحواض الاختبارية عند درجة حرارة هضم تساوي ċ(30, 25, 20, 15) تطلب استمرار عملية الهضم الهوائي لمدة(3, 4, 7, 17) يوم على التوالي.

Determination of Bio-decay Coefficient of Disposed Activated Sludge from Wastewater Treatment Plant in Medical Assembly of Mosul City

Ahmed Y. Shehab

University of Mosul\Engineering College\Civil department

Abstract

This research, has dealt with determination of bio-decay coefficient of activated sludge disposed from wastewater treatment plant of medical assembly in Mosul city. four bench scale reactors were used of 2.25 liter capacity for each as aerobic digestion units. Throughout the operation period which lasted for a month temperature was controlled and it was (15, 20, 25, 30) ċ in the first second third and fourth reactor respectively, the bio-decay coefficients was found as (k_{d15}=0.02, k_{d20}=0.03, k_{d25}=0.04, k_{d30}=0.05) d^{-1} , while the temperature constant (θ) was (1.059). Also the results showed that the required periods for aerobic digestion process to reduce 50% of biomass concentration in the reactors at digestion temperature (15, 20, 25, 30)ċ were (17, 7, 5, 4) days respectively.

Key words: biological treatment, aerobic digestion, sludge disposal, bio-decay coefficients

أستلم: 22 6 2009 قبل: 26 4 2010

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com

المقدمة

تعد وحدة الهاضم (digestion unit) من الوحدات المهمة في محطات معالجة المياه المطروحة حيث تكمن أهميتها في تقليل حجم الحمأة المطروحة فضلا عن تحسين نوعيها وذلك بتحويلها إلى نواتج مستقرة غير قابلة للتحلل. يستخدم عادة الهضم اللاهوائي مع المحطات الكبيرة في حين يعد استخدام الهضم الهوائي مناسبا جداً مع المحطات الصغيرة وذلك لان الكلفة التشغيلية لمثل هذه الأحواض في المحطات الصغيرة تتضاءل أمام كلفة إنشاء أحواض الهضم اللاهوائي المرتفعة نسبيا [1].

إن وجود وحدة الهضم في المحطات بصورة عامة لا يؤدي فقط إلى تقليل الحمأة المنبوذة ولكنه يعمل على تحسين نوعيتها وتقليل المسببات المرضية فضلاً عن الحد من انتشار الروائح المنبعثة من عملية تحلل المواد العضوية المكونة للكتلة الحية والقابلة للتحلل أثناء عملية تجفيف الحمأة (drying bed)[2]

ويعد تحديد قيم معامل الانحلال الحيوي للحمأة من المعلومات الضرورية لتصميم حوض الهضم الهوائي حيث تختلف قيم هذا المعامل تبعاً لعدة عوامل أهمها نوعية الفضلات التي تتغذى عليها الأحياء المجهرية المكونة لتلك الحمأة بالإضافة إلى درجة الحرارة [2].

أهداف البحث

يهدف البحث إلى توفير بعض البيانات التي يمكن الاعتماد عليها في إضافة وحدة هضم هوائي لمعالجة الحمأة المنبوذة من محطة معالجة المطروحات السائلة في مجمع مستشفيات مدينة الموصل، وذلك من خلال إيجاد قيم معامل الانحلال الحيوي للحماة في درجات حرارية مختلفة ومن ثمة إيجاد قيمة الثابت الحراري (θ) لمعامل الانحلال الحيوي الذي يربط هذه القيم مع بعضها البعض بحيث يمكن تصميم وتشغيل حوض الهضم الهوائي عند أي درجة حرارية متوقعة.

الدراسات السابقة

قام (Ramdani, A. and, et al)[3] بدراسة تحلل الحماة المنشطة في ظروف مختلفة للتهوية وذلك بإعداد حوضين للاختبار يعملان بنظام التغذية بالجرعة (batch reactor)، احدهما يعمل بظروف لا هوائية والأخر يعمل بظروف هوائية بأسلوب التهوية المتقطعة. اوجد الباحثون معاملا الانحلال الحيوي للحماة المدروسة في كلا الظرفين حيث كانا ($0.005d^{-1}$) ($0.012d^{-1}$) على التوالي. كما استنتج الباحثون بأنه لتخفيض تركيز الحماة المهضومة بنسبة 68% في ظروف التهوية المتقطعة يتطلب استمرار عملية الهضم لمد 5.2 يوم عندما تكون درجة الحرارة 35 ċ

كما تناول (Mike H. Kim; and Oliver J. Hao) [4] دراسة مقارنة هضم الحماة المنشطة بظروف هوائية مع هضمها بظروف متعادلة للتهوية(anoxic conditions). توصل الباحثان إلى أن انحلال الحماة المنشطة في ظروف التهوية المتعادلة هو تحلل من الدرجة الأولى كما هو الحال في الهضم بالظروف الهوائية، كذلك توصل الباحثان إلى أن الدالة الحامضية (pH) في حوض الهضم في ظروف التهوية المتعادلة اكبر بمعدل ثلاث وحدات عند مقارنته مع الحوض الآخر بسبب الاختلاف بسعة القاعدية(buffering capacity) بين الحالتين.

ودرس (Droste, R. L; and Sanchez, W. A) [5] تحلل الحماة المنشطة عند هضمها في ظروف هوائية عند درجات مختلفة للحرارة (10, 20, 30 ċ) بواسطة استخدام حوضين للاختبار، الحوض الأول يعمل بأسلوب التغذية بالجرعة والثاني يعمل بأسلوب التغذية المتقطعة (semi continuous flow patterns) توصل الباحثان إلى انه لا توجد علاقة واضحة يمكن من خلالها وصف سرعة تحلل الحماة عند استخدم أسلوب التغذية المتقطعة.

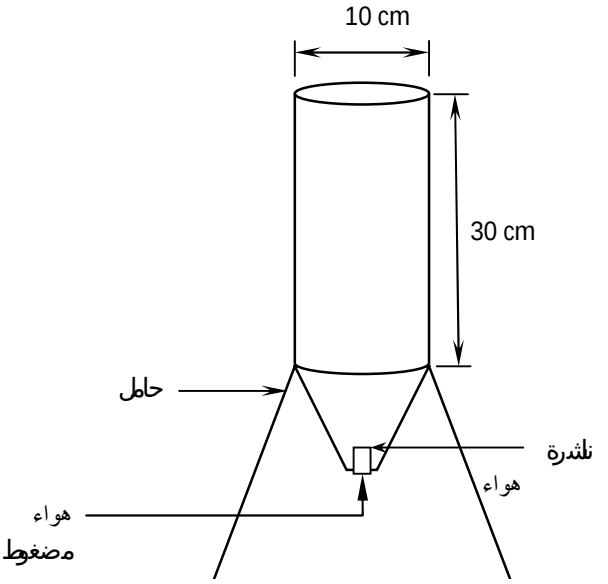
وقام (Bernard, S.; and Gray, N. F) [6] بدراسة لهضم الحماة المنشطة الناتجة من معالجة المطروحات المدنية وأخرى من معالجة المطروحات الدوائية استخدم الباحثان أسلوب الهضم الهوائي ودرسا تأثير ظروف الهضم على خصائص الحماة المهضومة. استنتج الباحثان بان تثبيت الدالة الحامضية (pH) عند (6.5) يحقق أفضل النتائج من ناحيتي تقليل حجم الحماة المهضومة وتحسين خصائصها. كما توصل الباحثان إلى أن الزمن المثالي لهضم الحماة الناتجة من معالجة المطروحات المدنية هو (14-21) يوم، وان استجابة الحماة المنشطة الناتجة من معالجة المطروحات المدنية لعملية الهضم أفضل من الناتجة من معالجة المطروحات الدوائية حيث كان انخفاض نسبة المواد المتطايرة بحدود (53-64)% و (6%-25%) على التوالي

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

مواد وطرائق العمل

أعتمدت الأحواض الاختبارية (bench scale model) في إجراء الاختبارات اللازمة لتحديد قيم معامل الانحلال الحيوي (kd) للحمأة المطروحة، حيث يتم هضم هذه الحمأة في الأحواض المختبرية في ظروف هوائية (aerobic digest) وبأسلوب التغذية بالجرعة أي بوضع الحماة المراد اختبارها دفعة واحدة في الحوض عند بداية التشغيل (batch flow condition) [7].

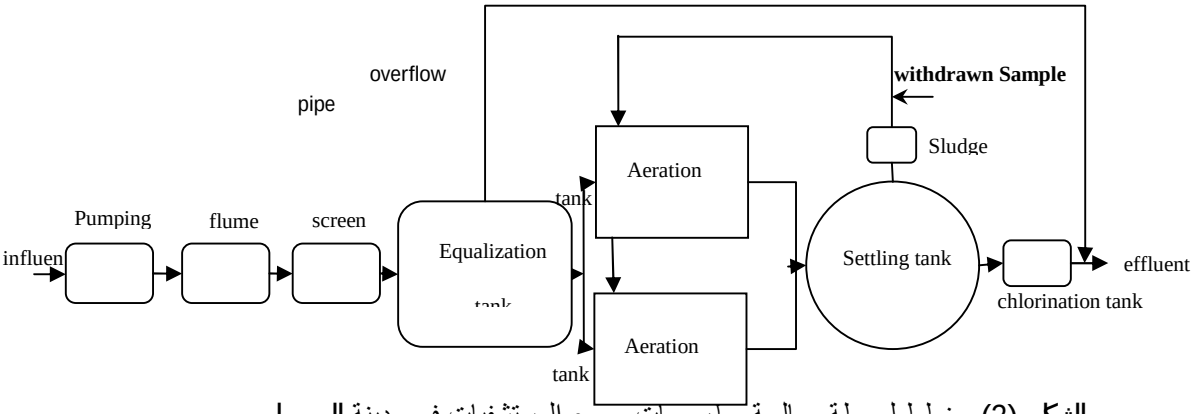
أعدت أربعة أحواض مختبريه اسطوانية الشكل سعة الحوض 2.25 لتر كما موضح في الشكل (1)، وضع في أسفل الحوض ناشرة هواء حجرية ترتبط بواسطة (compressor) بواسطة بضاغطة هواء أنابيب بلاستيكية مزودة بصمامات لغرض السيطرة على كمية الهواء المدفوع إلى الأحواض الاختبارية، تم من خلال هذه المنظومة توفير الأوكسجين اللازم لعملية أكسدة وهضم المركبات العضوية الداخلة في تركيب الأحياء المجهرية والقابلة للتحلل بالإضافة إلى ذلك يعمل الهواء المندفع عبر هذه المنظومة إلى توفر عملية مزج تام لمحتويات الحوض ألمختبري.



الشكل (1): مخطط للحوض ألمختبري المستخدم في البحث

ولغرض السيطرة على درجة الحرارة في الأحواض الاختبارية ضمن مجال عمل الأحياء المجهرية في درجات الحرارة المعتدلة (mesophilic bacteria) تم تزويد الأحواض بسخانات كهربائية ذات متحسسات أوتوماتيكية (thermostat) تضمن بقاء درجة الحرارة ضمن المستويات المطلوبة [8]، حيث كانت درجة الحرارة في الحوض الأول (15 ċ) في حين كانت في الحوض الثاني والثالث والرابع (20 ċ) و(25 ċ) و(30 ċ) على التوالي.

تم انجاز البحث خلال الفترة الممتدة بين (2009/02/01 2009/03/11) في مختبر هندسة البيئة في كلية الهندسة حيث جُهزت الأحواض المختبرية بالحمأة المنشطة المطروحة من حوض ترسيب محطة معالجة مياه الفضلات في مجمع مستشفيات مدينة الموصل الشكل (2) وكانت التغذية بالجرعة حيث جُهز كل حوض بالحجم المطلوب من الحماة بشكل دفعة واحدة فقط عند بداية التشغيل، وخلال فترة تشغيل استمرت لمدة شهر عملت فيها الأحواض المختبرية بأسلوب المزج التام تم إجراء الفحوصات الآتية وحسب المواصفات الواردة في المصدر [9]:



الشكل (2) مخطط لمحطة معالجة مطروحات مجمع المستشفيات في مدينة الموصل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1. قياس تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة(MLVSS): تم هذا الفحص بشكل متواصل وبمعدل قراءة واحدة كل يومين.
2. قياس تركيز الأوكسجين المذاب في الماء (DO): تمت مراقبة كمية الأوكسجين المذاب في الماء في الأحواض المختبرية باستخدام جهاز DO-Meter نوع (EXTECH; model 407510) وتم ضبط كمية الهواء الداخل إلى الأحواض بحيث تحقق تركيز متبقي للأوكسجين لا يقل عن (3)mg/l
3. قياس الرقم الهيدروجيني pH: تمت مراقبة وقياس الرقم الهيدروجيني باستخدام pH-Meter نوع (HANNA; model 211) يعمل بدقة 0.01 وتم إجراء هذا الفحص بشكل يومي.
4. قياس درجة الحرارة: تمت مراقبة درجة الحرارة في الأحواض المختبرية بصورة مستمرة باستخدام محرار زئبقي يعمل بالنظام المئوي بدقة 0.5 درجة مئوية

المناقشة

بحسب ما ورد في المصدر[7] تتأكسد الحمأة المهضومة ويتناقص تركيز الأحياء المجهرية مع الزمن بعلاقة من الدرجة الأولى (first order kinetics) وكما يلي:

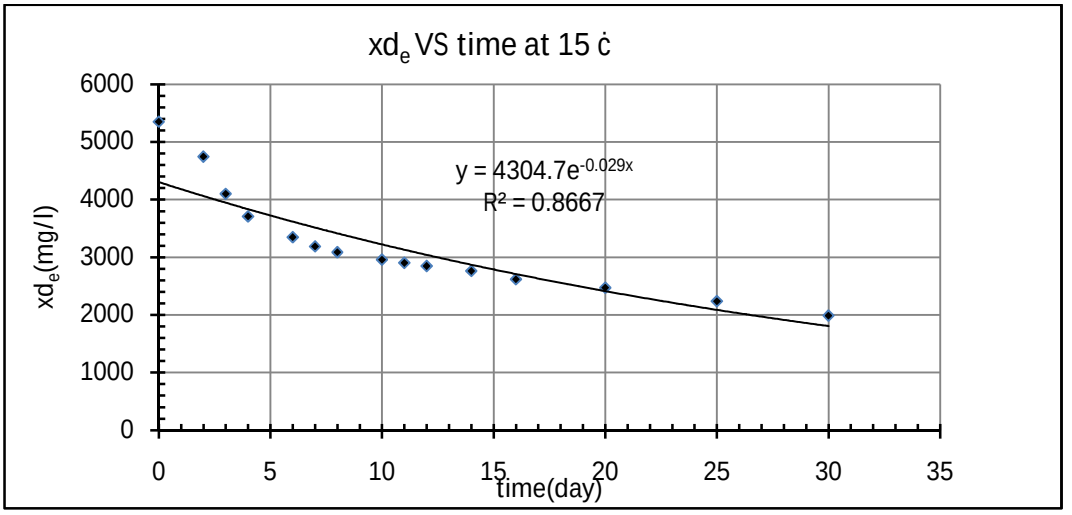
$$\frac{dx}{dt} = k.x \qquad \frac{(x_d)_e}{(x_d)_o} = e^{-tk_d}$$

$(x_d)_e$: تركيز الأحياء المجهرية المتحللة (المهضومة) بعد زمن معين(t) (mg/l)
$(x_d)_o$: التركيز الأولي للأحياء المجهرية (mg/l)
k_d : معمل الانحلال الحيوي للحماة المهضومة (d^{-1})
t : زمن التهوية (d)

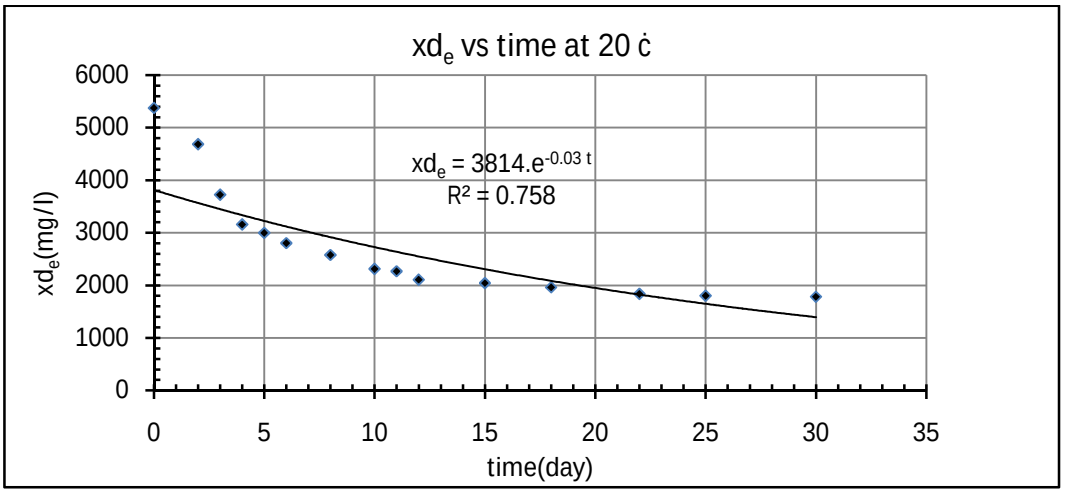
الأشكال (3, 4, 5, 6) توضح العلاقة بين تركيز الحماة المهضومة وزمن الهضم عند الدرجات الحرارية (15, 20, 25, 30 ċ) على التوالي. يتبين من هذه العلاقات أن معامل انحلال الحمأة المطروحة من محطة المعالجة في مجمع مستشفيات مدينة الموصل (k_d) كان ($0.02\ d^{-1}$ عند 15 ċ) ($0.03\ d^{-1}$ عند 20 ċ) و ($0.04\ d^{-1}$ عند 25 ċ) و ($0.05\ d^{-1}$ عند 30 ċ). وعند مقارنة هذه القيم مع القيم الواردة في المصدر [2] d^{-1} (0.05 θ 0.14) يلاحظ أن قيم معامل انحلال الحمأة كان منخفضاً نسبياً وتقترب قيمه من الحدود الدنيا المذكورة في المصدر أعلاه والسبب في ذلك ربما يعود إلى طبيعة الفضلات الطبية التي نشأت منها الحمأة المهضومة واحتوائها على مواد كيميائية ودوائية متنوعة، كذلك يلاحظ أن هذه القيم اكبر من القيم الواردة في المصدر (3) ($0.012d^{-1}$) والسبب في ذلك يعود إلى اختلاف أسلوب التهوية.

كما يتبين من الأشكال انه عند تشغيل أحواض الهضم الاختبارية لفترة زمنية تساوي (30) يوماً كانت النسبة المئوية للمواد العضوية المتحللة %(60, 66, 74, 84) عند ċ(15,20,25,30) على التوالي. حيث يلاحظ أن هذه النسبة ازدادت بشكل واضح مع ازدياد درجة الحرارة وهذا أمر طبيعي وذلك لان الزيادة في درجة الحرارة ضمن هذه الحدود تؤدي إلى زيادة في نشاط الأحياء المجهرية المكونة للكتلة الحية. ويلاحظ كذلك من هذه العلاقات أن شدة الميل بين النسبة المئوية للمواد العضوية المتحللة وزمن الهضم كانت عالية نسبياً في الأسبوع الأول مقارنته مع الأسابيع التالية وذلك لان المركبات العضوية الداخلة في تركيبة الاحياء المجهرية سريعة التحلل تمت أكسدتها في هذه الفترة الزمنية في حين استغرقت بقية المركبات العضوية مدة أطول لإتمام عملية الأكسدة. وبعبارة أخرى فانه للحصول على نسبة إزالة للمواد العضوية تقدر بـ 50% فانه لابد من استمرار عملية الهضم لمدة تقدر بـ (4, 5, 7, 17) أيام عند ċ(15, 20, 25, 30) على التوالي. إن مثل هذه البيانات تعد ضرورية من اجل تحديد الزمن اللازم لعملية الهضم فضلاً عن ذلك فإنها تتيح إجراء عملية موازنة اقتصادية بين الكلفة التشغيلية لحوض الهضم الهوائي ونسبة إزالة المواد العضوية ذلك لان العلاقة بين هذين العاملين ليست علاقة خطية.

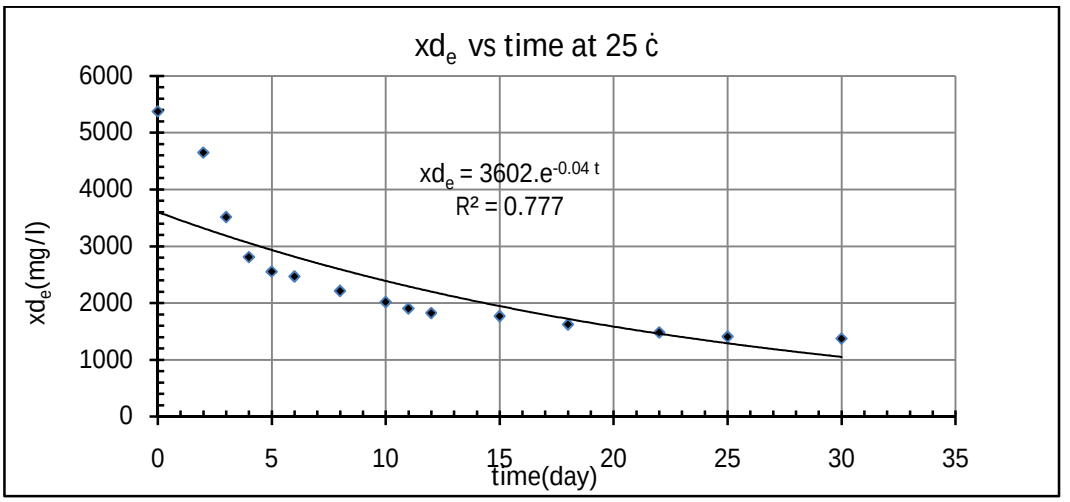
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



الشكل (3): العلاقة بين تركيز الأحياء المجهرية المتحللة وزمن الهضم عند درجة حرارة (ċ 15)

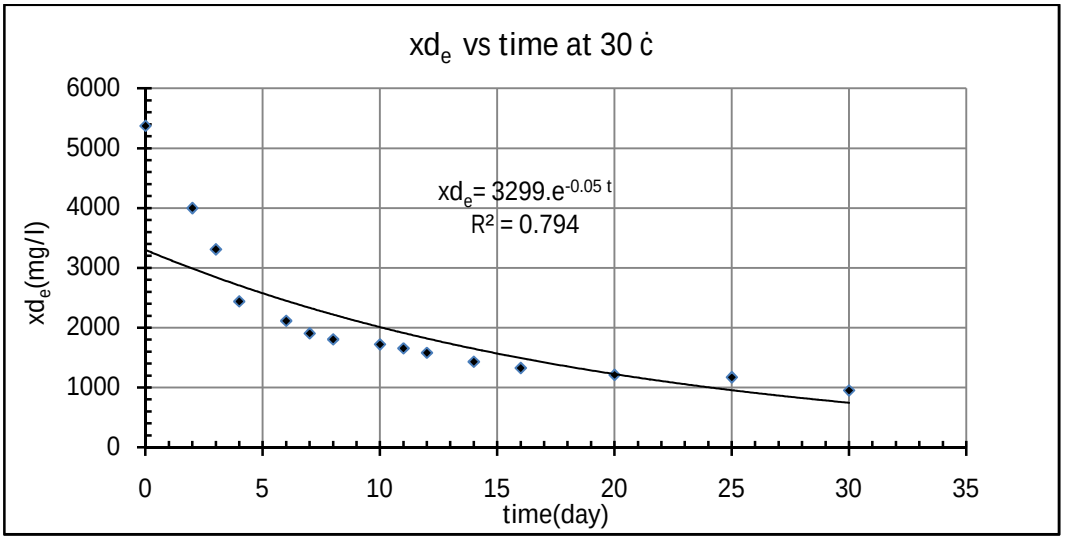


الشكل (4): العلاقة بين تركيز الأحياء المجهرية المتحللة وزمن الهضم عند درجة حرارة (ċ 20)



الشكل (5): العلاقة بين تركيز الأحياء المجهرية المتحللة وزمن الهضم عند درجة حرارة (ċ 25)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

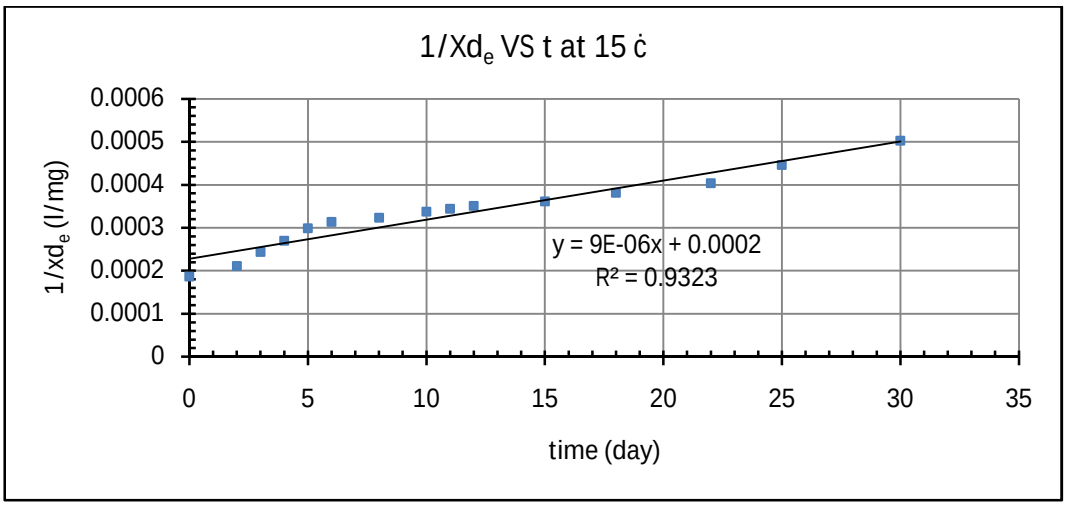


الشكل (6): **العلاقة** بين تركيز الأحياء المجهرية **المتحللة** وزمن الهضم عند **درجة حرارة** (30 ċ)

وعند اختبار فرضية **تحلل** الحماة المهضومة ً تتحلل هوائيا بموجب معادلة من الدرجة الثانية (second order reaction) **أي أن**:

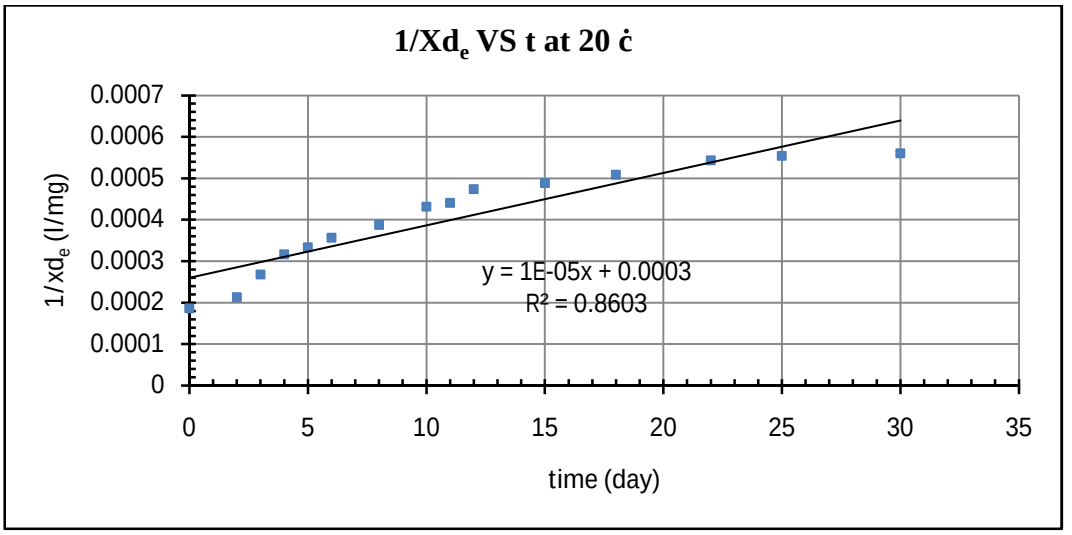
$$\frac{dx}{dt} = k.x^2 \qquad \frac{1}{(x_d)_e} - \frac{1}{(x_d)_o} = k_{d'}.t$$

يتضح **أن** قيمة معمل الانحلال الحيوي الجديد($k_{d'}$) تتمثل بميل العلاقة التي تربط بين مقلوب تركيز الحماة المهضومة عند زمن معين وقيمة زمن الهضم وكما موضح في **الأشكال** (7, 8, 9, 10). يتبين من هذه **الأشكال أن معمل** الانحلال الحيوي($k_{d'}$) يقدر بـ (3E-05, 2E-05, 1E-05, 9E-06) l/mg.d عند درجة حرارة هضم (30, 25, 20, 15). ويتضح أيضا **أن معامل الارتباط** (R^2) في هذه الحالة (**اعتبار أن** التفاعل من الدرجة الثانية) **اكبر من الحالة السابقة** (**عند اعتبار أن التفاعل من الدرجة الأولى**).

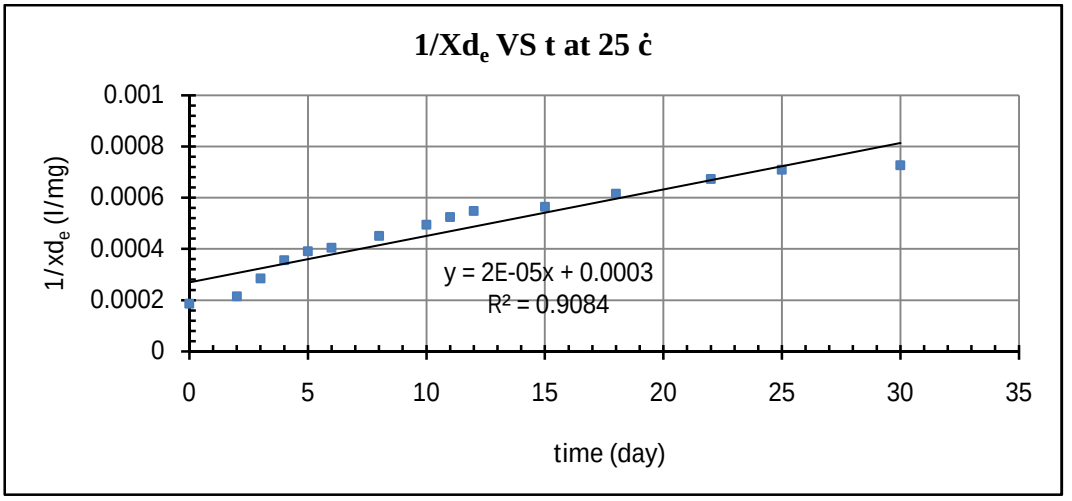


الشكل (7) العلاقة بين مقلوب تركيز الحماة وزمن الهضم عند درجة حرارة (15 ċ)

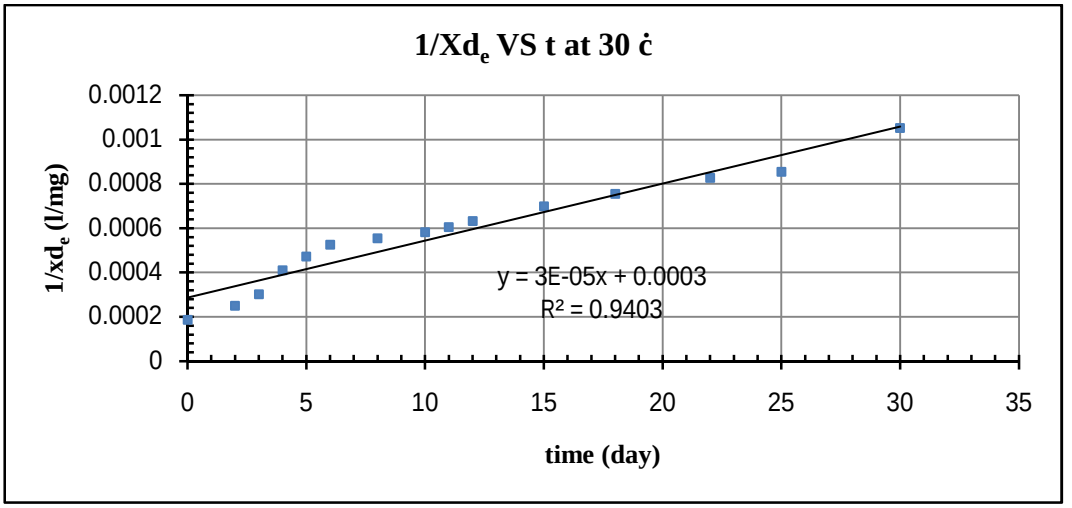
www.manaraa.com



الشكل (8) العلاقة بين مقلوب تركيز الحماة وزمن الهضم عند درجة حرارة (20 ċ)



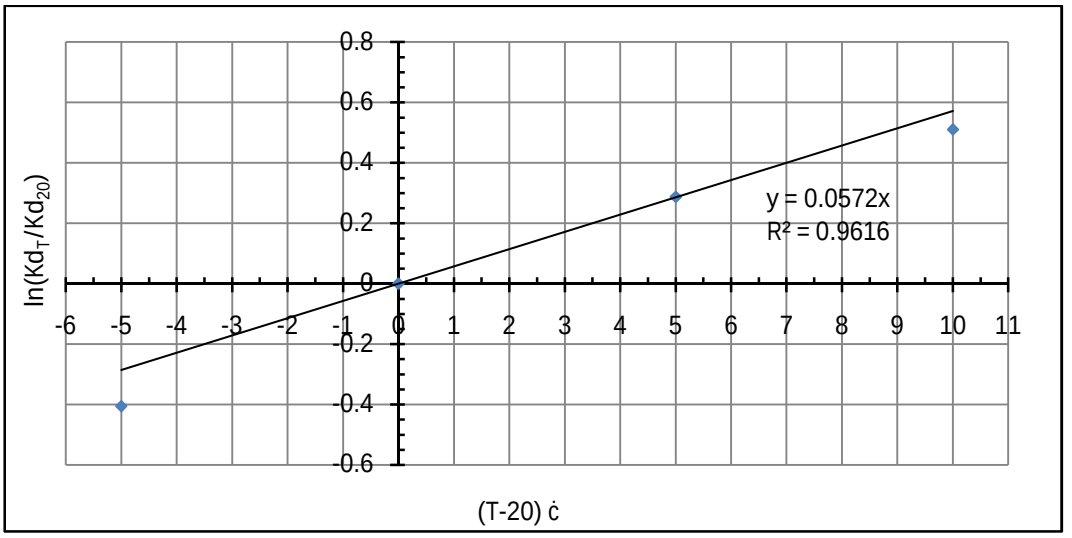
الشكل (9) العلاقة بين مقلوب تركيز الحماة وزمن الهضم عند درجة حرارة (25 ċ)



الشكل (10) العلاقة بين مقلوب تركيز الحماة وزمن الهضم عند درجة حرارة (30 ċ)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

ولغرض إيجاد قيمة الثابت الحراري (θ) لمعامل الانحلال الحيوي تم رسم العلاقة بين ($\ln(k_{dT}/k_{d20})$) ودرجات الحرارة (T-20) كما في الشكل (11)، يعبر ميل الخط المستقيم عن ($\ln \theta$) حيث وجد ان قيمة (θ) كانت (1.059). وعند مقارنة هذه القيمة مع الحدود الواردة في المصدر [7] (1.04 θ 0.1) وجد بأنها تكاد تكون ضمن المدى المحدد من قبله.



الشكل (11): تأثير درجة الحرارة على معامل الانحلال الحيوي

ومن الضروري مراقبة الدالة الحامضية في أحواض الهضم الهوائي وذلك للتأكد من عدم خروج قيم الـ(pH) عن الحدود المناسبة لعمل الحياء المجهرية (6-9)، فمن الممكن أن تنخفض هذه القيم بسبب الأكسدة الهوائية للامونيا الناتجة عن عملية التحلل الهوائي للكتلة الحية داخل هذه الأحواض، حيث ينتج عن عملية الأكسدة هذه ايون الهيدروجين الذي يعمل على خفض قيم الـ(pH) (المعادلة 1, 2)[2]. من ناحية أخرى يعمل غاز (CO_2) الناتج عن عملية التحلل الهوائي للكتلة الحية على زيادة سعة القاعدية(buffering capacity) (المعادلة 3, 4)[10]. وفي حالة عدم استيعاب سعة القاعدية لايونات الهيدروجين المتحررة (المعادلة 2) سوف تنخفض قيم (pH) وربما خرجت عن الحدود المسموح بها عند ذلك يتوجب إضافة بعض المواد الكيميائية القاعدية من اجل إعادة قيم (pH) إلى الحدود المطلوبة وفي هذه الحالة يبغي تقدير كمية هذه المضافات. وفي هذا البحث أظهرت نتائج مراقبة الدالة الحامضية (pH) تراوحاً بين (6.54-7.86) طيلة فترة الاختبار وللأحواض الثلاثة. إن سبب عدم حصول انخفاض في قيم (pH) يعود إلى سعة القاعدية (buffering capacity) في مياه الأحواض الاختبارية.

$$C_5H_7NO_2 + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + H_2O + NH_4HCO_3 \quad (1)$$

$$NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3 + 2H^+ + H_2O \quad (2)$$

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \quad (3)$$

$$CO_2 + OH^- \leftrightarrow HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-} \quad (4)$$

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

المصادر

1. Cheremisinoff, N.P. (2002) “Handbook of water and wastewater treatment technologies”, Butterworth-Heinemann, USA.
2. Metcalf and Eddy, Inc. (2003) "Wastewater engineering treatment /disposal /reuse", fourth edition, *McGraw-Hill, Inc*, New York.
3. Ramdani, A. Dold, P.; Déléris, S.; Lamarre, D.; Gadbois, A.; and Comeau, Y. (2007) " Biodegradation of the endogenous residue of activated sludge", *Journal of Water Research*, Vol.47, Issue 68
4. Mike H. Kim; and Oliver J. Hao (1990) "Comparison of Activated Sludge Stabilization under Aerobic or Anoxic Conditions", *Journal of the Water Pollution Control Federation*, Vol. 62, No. 2, pp. 160-168
5. Droste, R. L; and Sanchez, W. A. (2004) "Modeling Active Mass in Aerobic Sludge Digestion", *Journal of Biotechnology and Bioengineering*, Vol. 28, Issue 11, Pages 1699 – 1706
6. Bernard, S.; and Gray, N. F (2000) "Aerobic Digestion of Pharmaceutical and Domestic Wastewater Sludges at ambient temperature ", *Journal of Water Research*, Vol. 34, Issue 3, Pages 725-734
7. Eckenfelder, W.W. (2000) "Industrial Water Pollution Control", *McGraw-Hill*, New York, third edition.
8. Fouad, M. and Bhargava, R. (2005) "Sludge Production and Settleability Biofilm-Activated Sludge Process", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 131, No. 3. pp.417-424
9. APHA; AWWA; WPCF (1998) "Standard methods for the examination of water and wastewater", 20th ed., *Am. Public Healthy Assoc.* Washington, D.C., USA
10. Viessman, W.Jr. and Hammer, M.J. (1985) "Water Supply and Pollution Control", *Harper and row Publishers Inc.*, New York, fourth edition.

المنارة للاستشارات

www.manaraa.com