مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (4) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (4) 2008

استخدام مبدأ التهوية المتدرجة في أحواض التهوية عند معالجة مياه الصرف الصحي

الدكتور حسام صبوح*

(تاريخ الإيداع 3 / 2 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/9/22)

□ الملخّص □

تعتبر مشكلة معالجة مياه الصرف الصحي والتخلص من أضرارها و أضرار مخلفاتها من أهم مشاكل العالم المعاصر.

يرمي البحث إلى دراسة إمكانية استخدام التهوية المتدرجة في حوض تهوية ملاصق لحوض الترسيب الثانوي، ضمن حوض مشترك يمثل وحدة مدمجة تؤمن المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي.

يتضمن البحث عرضاً للبارامترات المؤثرة في عملية المعالجة ومجال تأرجحها، إضافة إلى وصف الجهاز المخبري المستخدم والحسابات العائدة له وتجهيزات التهوية، كما يعرض البحث النتائج المرحلية والنهائية لعملية المعالجة، ويبين القيم المثلى للبارامترات التصميمية لحوض التهوية المدروس، والتي كانت على النحو التالي:

- زمن التهوية الأمثل : $T_a = 4.5$ hours .
- شدة التهوية المثلى : $I_a = 5\ m^3/m^2.h$.

يؤكد البحث فعالية التهوية المتدرجة عند استخدامها في النموذج المقترح للوحدة المدمجة لمعالجة مياه الصرف الصحي.

الكلمات المفتاحية: التهوية المتدرجة– حوض التهوية –حوض الترسيب.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة البيئية –كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (4) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (4) 2008

Application of Gradual Ventilation to The Ventilation Tanks for Sewage Treatment

Dr. Housam Sabbouh*

(Received 3 / 2 / 2008. Accepted 22 / 9 / 2008)

□ ABSTRACT □

The problems of sewage treatment and the removal of its harmful effects are considered one of the most dangerous in the world. This research attempts to study the possibility of using gradual ventilation in the ventilation tanks combined with sedimentation tanks within a joint compact unit for sewage treatment. This research displays the parameters which have an effect on the treatment process, as well as a description of the laboratory equipment. This study concludes with the gradual ventilation activity at the time of using it in the joint compact unit. It also shows the constructive parameters values of the ventilation tank: (ventilation time: T_a = 4.5 hours – ventilation intensity: $I_a = 5\ m^3/m^2.hour$).

Keywords: Gradual ventilation, ventilation tank, sedimentation tank .

***Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمـة:

لقد أدى النمو السكاني وتحسن مستوى حياة الناس في العقود الأخيرة إلى ازدياد حجم المياه المستهلكة للأغراض المعاشية المختلفة، وبالتالي ازدياد كمية المياه المبتذلة التي أضحت قضية معالجتها والتخلص من أضرارها من أهم مشاكل العالم المعاصر، إذ إنّ وصولها بدون معالجة إلى المصادر المائية الطبيعية يسبب اضطراب النظام البيئي في تلك المصادر، والذي قد يؤدي بالنهاية إلى تموتها لأسباب متعددة.

من هنا كان لا بد من تزويد التجمعات السكنية بشبكات الصرف الصحي لنقل المخلفات السائلة بمختلف أنواعها إلى محطات المعالجة، حيث يتم تحويل ملوثاتها إلى عناصر عديمة الضرر بل مفيدة للعديد من الأغراض الزراعية والصناعية، وذلك بالاعتماد على طرق المعالجة المعروفة ولاسيما البيولوجية منها، والتي تقوم أصلاً على استخدام مبدأ التهوية في منشآت خاصة، وباستخدام تجهيزات مختلفة مثل شبكات الهواء المضغوط أو الخلاطات (أقراص التهوية) الميكانيكية أو كليهما معاً [2 ، 1].

أهمية البحث وأهدافه:

يتمثل هدف البحث وأهميته في النقاط التالية:

آ- التحقق من فعالية التهوية المتدرجة في نموذج حوض التهوية المقترح والمدمج مع حوض الترسيب الثانوي في نموذج مخبري لوحدة معالجة متكاملة مزودة بعناصر للترسيب الصفائحي.

ب- التوصل إلى القيم المثلى للعوامل التصميمية الأساسية للنموذج المدروس (زمن وشدة التهوية).

منهجية البحث:

تتلخص منهجية البحث في إيجاد آلية اختبار لتحديد قيم العوامل التصميمية الأساسية المأخوذة بالاعتبار، والمؤثرة في عملية المعالجة في النموذج المخبري المقترح باستخدام مبدأ التهوية المتدرجة وحدود تأرجحها اعتماداً على معطيات ونتائج الأبحاث والمراجع المختلفة [8 ... 3]، ولاسيما نتائج البحث [3]، الذي أُجري على مياه صرف صحي مأخوذة من نفس مصدر المياه المعتمد في هذا البحث (مصب مياه الصرف الصحي لقرية بكسا / منطقة اللاذقية) ولكن باستخدام حوض تهوية ذات شدة ثابتة، والذي توصل إلى النتائج التالية:

آ- قيمة BOD5 الوسطية لمياه الصرف الصحي المستخدمة في فترة الجفاف : $260\ mg / l$

ب- قيمة BOD5 الوسطية لمياه الصرف الصحي المستخدمة في موسم الأمطار : $225\ mg / l$

ج- درجة الحرارة الصغرى المسجلة شتاء في المياه المستخدمة : $T = 100C$

د- القيم المثلى للعوامل التصميمية في الظروف المخبرية كانت على النحو التالي:

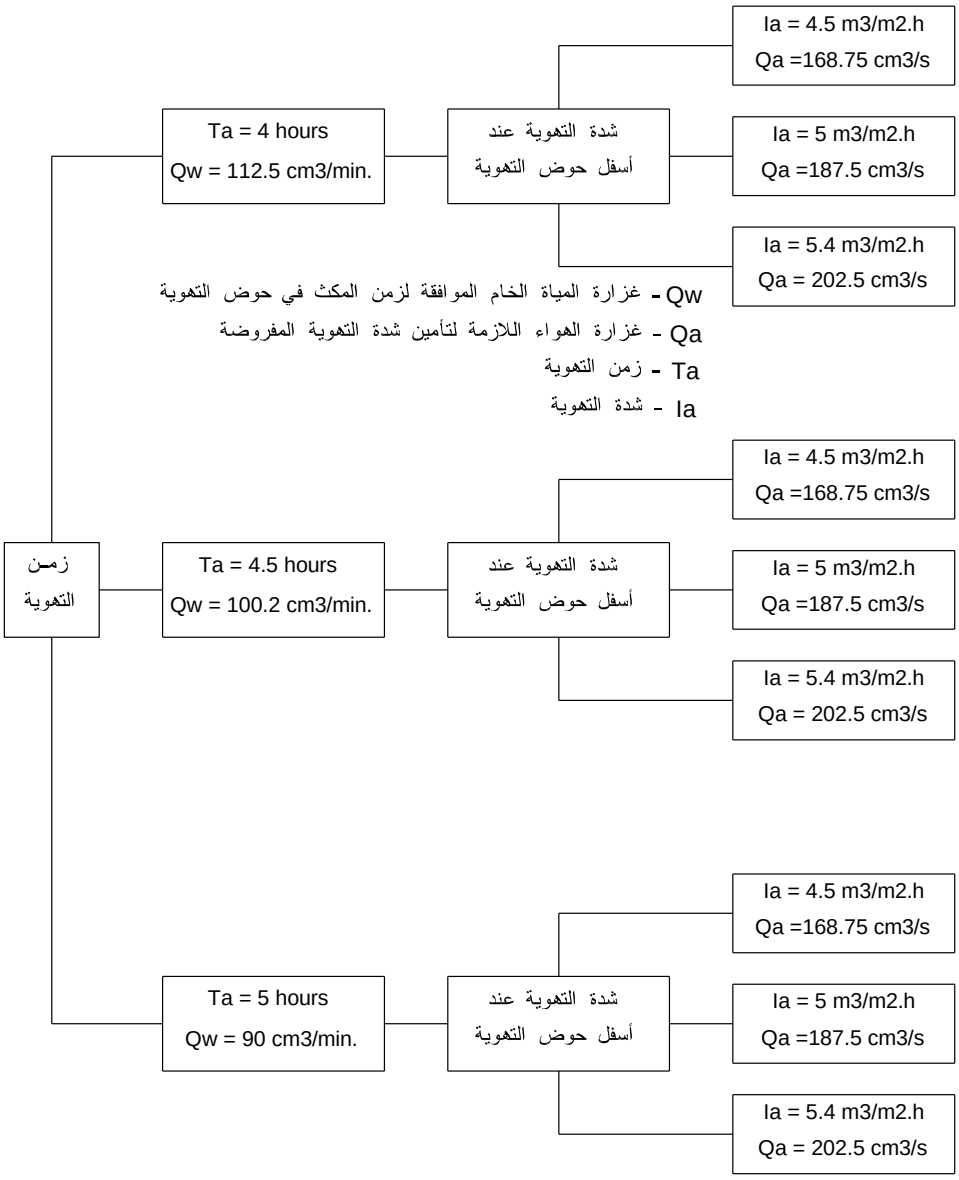
* زمن التهوية : $T_a = 5\ hours$

* شدة التهوية الثابتة : $I_a = 5.4\ m^3 / m^2 . hour$

انطلاقاً مما سبق وبمراعاة التأثير الإيجابي للتهوية المتدرجة [6 ، 1] على نتيجة عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي فقد تم اعتماد مجالات تأرجح قيم العوامل (البارامترات) التصميمية الأساسية لنموذج وحدة المعالجة المدمجة المقترحة على النحو التالي:

آ- زمن التهوية : $T_a = 4 \ , \ 4.5 \ , \ 5$ hour.

ب- شدة التهوية عند أسفل حوض التهوية : $I_a = 4.5 \ , \ 5 \ , \ 5.4 \ m^3 / m^2 . hour.$



الشكل رقم (1): قيم زمن وشدة التهوية المعتمدة عند اختبار النموذج المخبري المقترح المزود بحوض ذي تهوية متدرجة

استناداً إلى ما سبق فقد تم اختبار النموذج المخبري المقترح عند القيم المختلفة لزمن وشدة التهوية وفق ما يبينه المخطط الوارد على الشكل رقم (1).

وصف النموذج المخبري المقترح وتحديد أبعاده الأساسية:

1- وصف عام:

يتألف النموذج المخبري لوحدة المعالجة المدمجة المقترحة (انظر الشكل رقم 2)، والمستخدمة في الاختبارات، من حوض مشترك مؤلف من أربعة أقسام موزعة على النحو التالي:

- قسم وسطي علوي يمثل حوض التهوية المتدرجة.
- قسم سفلي مخصص لتجميع الحمأة المترسبة في قاع الحوض المشترك.
- قسمان جانبيان يمثلان حوض الترسيب الثانوي، وقد تم تزويدهما بصفائح مائلة لزيادة فعالية عملية الترسيب (ترسيب صفائحي).

تم تصنيع الهيكل الحامل من زوايا معدنية، أما الجدران الخارجية للحوض المشترك، وكذلك جدران حوض التهوية والصفائح المائلة فقد تم تصنيعها من الزجاج العضوي الشفاف، لسهولة التعامل معه من حيث القص والتركيب والتثقيب من جهة، ولتأمين الرؤية من جهة أخرى لمراقبة ما يجري داخل الحوض.

2- تحديد أبعاد حوض التهوية المتدرجة:

تم حساب حجم حوض التهوية المتدرجة بالعلاقة:

$$V_r = q_r \cdot T_a \quad , \quad m^3 \qquad (1)$$

إذ إنّ:

q_r- الغزارة التصميمية المفروضة مساوية $1,5\ cm^3 / s$

T_a- القيمة الأعظمية لزمن التهوية المبينة في المخطط الوارد على الشكل رقم (1) والمساوية 5 hour

ومنه يكون لدينا ما يلي:

$$V_r = 1,5 \cdot 5 \cdot 3600 = 27000\ cm^3 = 0.027\ m^3$$

انطلاقاً من هذا الحجم فقد تم افتراض أبعاد حوض التهوية على النحو التالي:

- طول القاعدة الصغرى (العليا) : $B_1 = 10\ cm$
- طول القاعدة الكبرى (السفلى) : $B_2 = 30\ cm$
- ارتفاع حوض التهوية : $h = 30\ cm$
- طول حوض التهوية : $L = 45\ cm$

عند هذه الأبعاد تكون زاوية ميل جدار التهوية على الأفق مساوية ($\theta = 72^0$) .

3- الحسابات العائدة لعناصر الترسيب الصفائحية:

لتأمين نظام عمل مستقر لنموذج وحدة المعالجة المدمجة المقترحة لا بد من الحفاظ على نظام جريان صفحي للمياه المعالجة بين العناصر الصفائحية، ومن أجل ذلك يجب تحقيق الشرط التالي : [9 ، 7]

$$R_e = \frac{V \cdot h}{\upsilon} \leq 500 \qquad (2)$$

إذ إنّ:

R_e– عدد رينولدز.

V– سرعة حركة المياه المعالجة بين العناصر الصفائحية للمرسب الثانوي، والتي تؤخذ بحدود (2 – 10 mm / s) [9 ، 7].

h– المسافة العمودية الفاصلة بين العناصر الصفائحية ويؤخذ بحدود (25 – 100 mm) [9].

υ– اللزوجة الديناميكية للمياه عند درجة الحرارة الدنيا للمياه المعالجة (T = 10^0 C) وتساوي $1,306 . 10^{-6}$ m^2 / s .

بفرض أن: V = 3 mm / s و h = 3 cm نجد:

$$R_e = (0,003 . 0,03) / (1,306 . 10^{-6}) = 68,91 < 500 \quad OK.$$

أما طول العناصر الصفائحية فتحسب بالعلاقة [9] :

$$L_n = 0.625 \cdot \frac{b_1}{tg\beta}\left[(h \cdot V)^{0.5} \cdot \left(\frac{1}{h \cdot V} + \frac{4 \cdot tg\beta}{b_1 \cdot u_0 \cdot \cos\alpha}\right)^{0.5} - 1\right] \qquad (3)$$

إذ إنّ:

b_1– عرض العناصر الصفائحية في الأسفل، نفرضه مساوياً 5 cm

β– زاوية ميل جدار حوض التهوية على الشاقول : $\beta = 90 - \theta = 90 - 72 = 18^0$

u_0– سرعة ترسيب المواد المحمولة مع المياه المعالجة ، $u_0 = 0.33$ mm / s [9].

α– زاوية ميل العناصر الصفائحية على الأفق : $\alpha = 45 - 60^0$ ، نفرضها مساوية (60^0).

وبالتالي نجد :

$$L_n = 0,625 \cdot \frac{0,05}{0,325}\left[(0,03 \cdot 0,003)^{0,5}\left(\frac{1}{0,03 \cdot 0,003} + \frac{4 \cdot 0,325}{0,05 \cdot 0,00033 \cdot 0,5}\right) - 1\right] = 0,28m$$

لتأمين التوزع المنتظم للمياه المعالجة على طول حيز الترسيب تزود جدران حوض التهوية المتدرجة في أسفلها بما يسمى صفيحة توجيه [9]، يُحسب مقدار تدليها بالعلاقة :

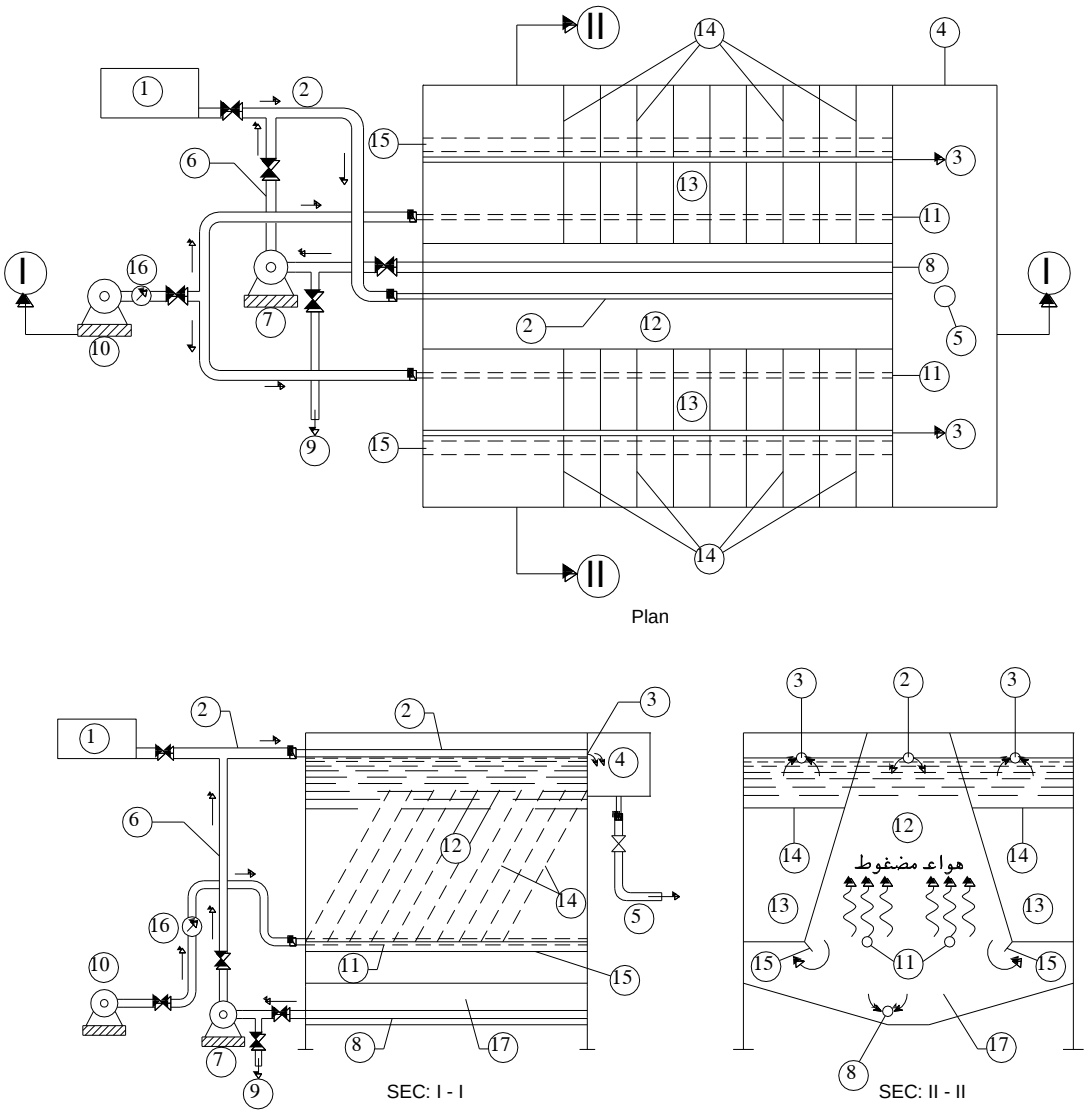
$$l_n = 0,25 . b_1 \qquad (4)$$

ومنه يكون لدينا : $l_n = 0,25 . 5 = 1.25 \approx 2$ cm

كما تؤخذ زاوية ميل صفيحة التوجيه على الشاقول مساوية : $\gamma = 40^0$

4– تجهيزات ضخ المياه والهواء إلى النموذج المخبري المدروس وتصريف المياه المعالجة والحمأة منه:

تم ضخ المياه الخام بالغزارة المطلوبة (Q_w) إلى داخل النموذج المخبري المدروس عبر أنبوب مثقب متوضع في أعلى حوض التهوية، ويمتد على طوله ويحتوي على ثقوب متوضعة على جانبيه وموزعة بشكل شطرنجي، وتقع في مستو أفقي واحد مع محور الأنبوب ذي المقطع الدائري.



الشكل رقم (2): رسم تخطيطي للنموذج المخبري لوحدة المعالجة المدمجة المستخدمة في الاختبارات

1- خزان الغزارة الثابتة ، 2- أنبوب دخول المياه الخام إلى حوض التهوية ، 3- أنابيب تجميع المياه المعالجة من أعلى حيز الترسيب ، 4- جيب استقبال المياه المعالجة ، 5- أنبوب تصريف المياه المعالجة ، 6- أنبوب نقل الحمأة المعادة ، 7- مضخة إعادة الحمأة ، 8- أنبوب خروج الحمأة من قاع النموذج المخبري ، 9- أنبوب تصريف الحمأة الفائضة ، 10- مضخة توليد الهواء المضغوط ، 11- أنابيب مثقبة للتهوية ، 12- حوض التهوية المتدرجة ، 13- حيز الترسيب الصفائحي ، 14- عناصر صفائحية مائلة ، 15- صفيحة توجيه ، 16- عقدة قياس غزارة الهواء المضغوط ، 17- منطقة تجميع الحمأة المترسبة.

أما الهواء اللازم لعملية التهوية فقد تم توليده بالكمية الكافية بواسطة مضخات هواء خاصة، كما تم ضخه إلى داخل حوض التهوية عبر أنبوبين مصنوعين من البلاستيك القاسي ومثقبين بثقوب ذات أقطار صغيرة (بقطر إبرة الخياطة) ومتوضعين أسفل حوض التهوية (انظر الشكل رقم 2)، وقد حُسبت غزارة الهواء اللازمة تبعاً لمساحة سطح قاعدة حوض التهوية (A_0) ولشدة التهوية المفروضة عند أسفل حوض التهوية (I_0) وفقاً لظروف التجربة بالعلاقة :

$$Qa = I_0 \cdot A_0 \quad , \quad m^3 / h \qquad (5)$$

أما تدرج شدة التهوية بدءاً من قاع حوض التهوية نحو الأعلى فيمكن التعبير عنها بالعلاقة :

$$I_i = I_0 \cdot \frac{A_0}{A_i} = I_0 \cdot \frac{0{,}135}{0{,}135 - 0{,}2925 h_i} \quad , \quad m^3 / m^2 \cdot h \qquad (6)$$

إذ إنّ:

I_i– شدة التهوية عند المستوي الواقع على ارتفاع (h_i) من قاع حوض التهوية المتدرجة ، م^3 / م^2. سا

I_0– شدة التهوية عند مستو يمر بقاع حوض التهوية (مستو توضع أنابيب التهوية) ، م^3 / م^2 . سا.

A_i– مساحة سطح حوض التهوية على ارتفاع (h_i) من قاعه ، م^2 .

لبيان تدرج شدة التهوية فقد تم استخدام العلاقة (6) لحساب قيمها عند مستويات قياس مختلفة، ونُظمت النتائج في الجدول رقم (1) اللاحق.

الجدول رقم (1): تحديد قيم شدة التهوية عند مستويات قياس مختلفة على ارتفاع حوض التهوية المتدرجة

المسافة الشاقولية الفاصلة بين مستوي قياس شدة التهوية والقاعدة السفلى لحوض التهوية المتدرجة ، (cm)	قيم شدة التهوية المتدرجة (I_i) المحسوبة بالعلاقة (6) عند مستويات القياس المختلفة بدلالة قيم شدة التهوية (I_0) عند مستوي القاعدة السفلى لمقطع حوض التهوية المتدرجة:		
	$I_0 = 4.5\ m^3 / m^2.h$	$I_0 = 5\ m^3 / m^2.h$	$I_0 = 5.4\ m^3 / m^2.h$
5	5.05	5.61	6.06
10	5.74	6.38	6.89
15	6.67	7.41	8.00
20	7.94	8.82	9.53
25	9.82	10.91	11.78
30	12.86	14.28	15.42

تم سحب المياه المعالجة من أعلى حوض الترسيب بواسطة أنبوبين مثقبين بثقوب قطرها (3 mm)، وموزعة بانتظام على جانبي الأنبوبين لتصب في جيب جانبي خاص (راجع الشكل رقم 2).

تم سحب الحمأة المترسبة من أسفل الحوض المشترك بواسطة أنبوب مثقب بثقوب قطرها (3 mm) ومتوضع في قاع الحوض وعلى طوله، ليتم إعادة جزء منها إلى حوض التهوية وتصريف القسم الفائض. أما غزارة الحمأة المعادة فكانت مساوية ($Q_s = 0.75\ Q_w$) ، على اعتبار أن: Q_w– هي غزارة المياه الخام الداخلة إلى النموذج المخبري.

آلية اختبار النموذج المخبري المقترح:

تم اختبار النموذج المخبري لوحدة المعالجة المقترحة المبينة على الشكل رقم (2) عند الشروط التجريبية الوارد ذكرها أعلاه على النحو التالي:

آ- تُضخ مياه الصرف الصحي إلى خزان الغزارة الثابتة ومنه إلى النموذج المخبري بالغزارة المطلوبة، التي يمليها زمن المكث في حوض التهوية (زمن التهوية)، والذي يُؤخذ بدوره من المخطط المبين على الشكل رقم (1).

ب- بعد ذلك مباشرة يبدأ ضخ الهواء بالغزارة اللازمة الموافقة لشدة التهوية المفروضة عند أسفل حوض التهوية (I_0) عبر أنابيب توزيعه، أما قياس غزارة الهواء فيتم باستخدام عقدة قياس خاصة تمت معايرتها مسبقاً.

ج- بعد انقضاء فترة زمنية مساوية (6 hours) بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري المقترح تم أخذ العينات من المياه الخارجة بمعدل ثلاث عينات كل ساعة، وذلك حتى انتهاء دورة التشغيل (الاختبار) للنموذج المدروس والتي كانت مساوية (8 hours).

د- تم قياس قيم (BOD_5) في العينات المأخوذة وحُسبت بدلالتها نسبة إزالة التلوث العضوي، كما تم تسجيل درجة حرارة المياه المعالجة في بداية كل دورة تشغيل ونُظمت النتائج في الجداول ذوات الأرقام (2) و (3) و (4) ، وبدلالة تلك النتائج تم تحديد القيم الوسطية للـ BOD_5 في المياه الخارجة من النموذج المخبري المدروس، وبالتالي تحديد القيم الوسطية لنسب إزالة الـ BOD_5 بدلالة قيمه في المياه الداخلة إلى المعالجة، والتي تم تدوينها في الجدول رقم (5) وتمثيلها بيانياً على الشكل رقم (3).

الجدول رقم (2 – 1): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

$T_a = 4$ hours , $I_0 = 4.5\ m^3 / m^2 . h$, $t = 22^0\ C$

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	246	33	33	86.6
			34		
			32		
2	7	246	31	32	87.0
			33		
			32		
3	8	246	30	31	87.4
			31		
			32		

الجدول رقم (2 – 2): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 4 hours , I_0 = 5 $m^3 / m^2 . h$, t = 21^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	250	29	29	88.4
			28		
			30		
2	7	250	29	27	89.2
			26		
			26		
3	8	250	28	28	88.8
			28		
			27		

الجدول رقم (2 – 3): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 4 hours , I_0 = 5.4 $m^3 / m^2 . h$, t = 21^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	244	26	29	89.3
			25		
			27		
2	7	244	26	25	87.7
			25		
			25		
3	8	244	24	24	90.2
			24		
			25		

الجدول رقم (3 – 1): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 4.5 hours , I_0 = 4.5 $m^3 / m^2 . h$, t = 22^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	240	22	21	91.2
			21		
			20		
2	7	240	20	20	91.7
			20		
			19		
3	8	240	21	22	90.9
			23		
			22		

الجدول رقم (3 – 2): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 4.5 hours , I_0 = 5 $m^3 / m^2 . h$, t = 23^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	242	17	15	93.8
			14		
			14		
2	7	242	13	14	94.2
			15		
			14		
3	8	242	13	13	94.6
			13		
			13		

الجدول رقم (3 – 3): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

$T_a = 4.5$ hours , $I_0 = 5\ m^3 / m^2 . h$, $t = 21^0$ C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\ .\ ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\ .\ ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	245	15 14 14	14	94.3
2	7	245	14 13 12	13	94.7
3	8	245	12 13 11	12	95.1

الجدول رقم (4 – 1): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

$T_a = 5$ hours , $I_0 = 4.5\ m^3 / m^2 . h$, $t = 20^0$ C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\ .\ ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\ .\ ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	255	20 22 21	21	91.8
2	7	255	19 20 18	19	92.5
3	8	255	20 19 21	20	92.0

الجدول رقم (4 – 2): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 5 hours , I_0 = 5 $m^3 / m^2 . h$, t = 21^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	258	16	15	94.2
			14		
			15		
2	7	258	14	14	94.6
			15		
			13		
3	8	258	13	13	95.0
			13		
			13		

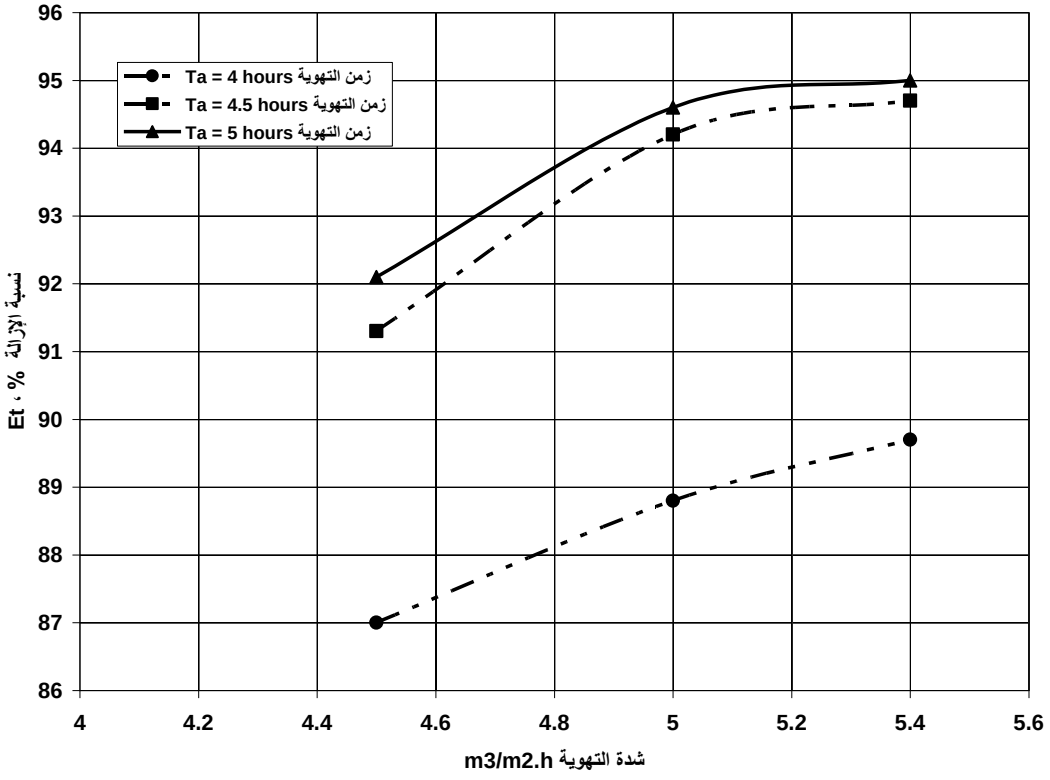
الجدول رقم (4 – 3): نتائج اختبار النموذج المخبري المدروس عند المؤشرات التالية:

T_a = 5 hours , I_0 = 5.4 $m^3 / m^2 . h$, t = 25^0 C

رقم العينة	ساعة أخذ العينة بدءاً من لحظة تشغيل النموذج المخبري	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الداخلة إلى النموذج المخبري ($L_{a\,.\,ave}$)	قيمة BOD_5 في العينات المأخوذة من المياه الخارجة من النموذج المخبري (L_t)	قيمة BOD_5 الوسطية في المياه الخارجة من النموذج المخبري ($L_{t\,.\,ave}$)	نسبة إزالة BOD_5 الوسطية
N_0	hour	mg / *l*	mg / *l*	mg / *l*	%
1	6	262	14	14	94.6
			13		
			15		
2	7	262	13	12	95.4
			12		
			11		
3	8	262	13	13	95.0
			13		
			14		

الجدول رقم (5): القيم الوسطية لـ BOD_5 في المياه الخارجة من النموذج المخبري المدروس

مسلسل	زمن التهوية T_a (hour)	شدة التهوية I_a ($m^3/m^2.h$)	درجة حرارة المياه المعالجة t , ^0C	قيم BOD_5 في المياه الخام mg / l	قيم BOD_5 في المياه المعالجة mg / l	نسبة الإزالة E_t,%
1	4	4.5	22	246	32	87.0
2	4	5.0	21	250	28	88.8
3	4	5.4	21	244	25	89.7
4	4.5	4.5	22	240	21	91.3
5	4.5	5.0	23	242	14	94.2
6	4.5	5.4	21	245	13	94.7
7	5	4.5	20	255	20	92.1
8	5	5.0	21	258	14	94.6
9	5	5.4	22	262	13	95.0



الشكل رقم (3): تغير نسبة إزالة BOD_5 في المياه الخارجة من النموذج المخبري تبعاً لشدة وزمن التهوية

النتائج والمناقشة:

آ- إن استعراض نتائج البحث في جميع مراحله يؤكد الفعالية الجيدة لمبدأ التهوية المتدرجة في أحواض التهوية المستخدمة للمعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي.

ب- لدى قراءة المخططات البيانية المبينة على الشكل رقم (3)، والتي تمثل النتائج التجريبية للبحث يمكن ملاحظة ما يلي:

1- تقارب نسبة إزالة الـ BOD_5 من المياه المعالجة عند قيمتي زمن التهوية المساويتين ($T_a = 4.5 \sim 5$ hours) وذلك من أجل جميع قيم شدة التهوية (I_a) المأخوذة بعين الاعتبار عند إجراء الاختبارات.

2- انخفاض معدل زيادة نسبة إزالة الـ BOD_5 مع زيادة شدة التهوية (من أجل $T_a = 4.5 \sim 5$ hours) إلى الدرجة التي تجعل من زيادة شدة التهوية عند قاع حوض التهوية المتدرجة عن الحد ($I_a = 5\ m^3/m^2.h$) أمراً غير مبرر من وجهة نظر فنية واقتصادية.

ج- انطلاقاً مما ورد في البند (ب) أعلاه يمكن استنتاج القيم المثلى لزمن وشدة التهوية في حوض التهوية المتدرجة المدروس والمدمج مع حوض الترسيب في حوض مشترك على النحو التالي:

$$T_a = 4.5 \text{ hours} \quad , \quad I_a = 5\ m^3/m^2.h$$

د- أثبتت نتائج البحث فعالية أفضل للتهوية ذات الشدة المتدرجة بالمقارنة مع التهوية ذات الشدة الثابتة في نموذج حوض التهوية المقترح، وهذا ما يؤدي إلى تخفيض كلفة المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي في مثل هذا النوع من أحواض التهوية على الأقل.

المـراجـع:

1- كرمو ، عمر ؛ وهبة ، هند . الصرف الصحي (2) ، الطبعة الأولى ، منشورات جامعة دمشق 1993 ، 484.

2- صبوح ، حسام ؛ شاهين ، هيثم . الهندسة البيئية (2) ، الطبعة الأولى ، منشورات جامعة تشرين 1996 ، 343 .

3- مريم ، محمد . معالجة مياه الصرف الصحي لقرية بكسا – منطقة اللاذقية باستخدام وحدة مدمجة ، أطروحة ماجستير ، جامعة تشرين – كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة البيئية 2002 ، 103 .

4- HAMMER , M . *Water and Wastewater Technology* . Third Edition , Prentice Hall , New Jersy , 1996 , 519.

5- HOWARD , P. ; DONALD , R. ; GEORGET , T. *Environmental Engineering*. Mcgraw – Hill , USA , 1985 , 700.

6- ЯКОВЛЕВ , С. ; КАРЕЛИН , Ю. ; КАЛИЦУН , В. *Водоотведение и Очистка Сточных Вод* . Стройиздат , Москва , РФР , 1996 , 591.

7- КУРГАНОВ , А. ; ФЕДРОВ , Н. *Гидравлические Расчеты Систем Водоснабжения и Водоотведения* . Стройиздат , Ленинград , СССР , 1986 , 440.

8- RONALD , L., D. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment* . John Wiley and Sons , USA , 1997 , 800.

9- САБУХ , Х. *Приминение воздушного перемешивания для оптимизации процессов смешения и хлопьеобразования, рассматриваемых во взаймосвязи,* Дисс. … канд. техн. наук, Г. Ростов Н / Д, СССР, 1990, 240.