

تقدير المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين في أحواض الحمأة المنشطة حقلياً وحسابياً

المهكتور عمار دباليز*

المهكتور هيثم جناد**

راما خضور***

تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2016. قُبل للنشر في 1 / 2 / 2017

□ ملخص □

تستهلك المهوريات الجزء الأكبر من الطاقة الإجمالية المصروفة في محطات معالجة الصرف الصحي حيث تعمل المهوريات على توفير الأوكسجين المنحل اللازم لحياة الكائنات الحية الدقيقة، وليكون معدل انتقال الأوكسجين فعال يجب أن يكون أكبر أو يساوي معدل استهلاك تلك الخلايا للأوكسجين (q_x). لذلك قياس المعامل الحجمي لانتقال الكتلة (K_La) يعطي معلومات مهمة عن العملية الحيوية وعن كمية الأوكسجين المتوفرة لتكاثر الخلايا. أجرينا قياسات للأوكسجين المنحل (DO) في محطة الرومبية في محافظة اللاذقية والتي تعمل بنظام التهوية المديدة. حيث أجرينا الاختبار في ثلاث نقاط من حوض التهوية وتم التوصل من خلال هذه الاختبارات لمعرفة القيمة (K_La) في حوض الحمأة المنشطة، وكذلك استهلاك الأوكسجين من قبل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الحوض، كما تم تطبيق عدة معادلات تجريبية لـ (Schierholz,2008; Pittoors,2014) والحصول على قيم (K_La) ومناقشة الظروف لكل حالة. تمت مقارنة القيمة الحقيقية التي تم التوصل إليها بالقيم الناتجة من تطبيق هذه المعادلات التجريبية، وتبيان مدى إمكانية استخدام هذه المعادلات للتنبؤ بقيمة (K_La) في المحطات الحقيقية.

الكلمات المفتاحية : انتقال الأوكسجين، حوض التهوية، فقاعات ناعمة، النواشر، الحمأة المنشطة.

* مدرس -قسم الهندسة البيئية -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين -اللاذقية -سورية.
** مدرس -قسم الهندسة البيئية -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين -اللاذقية -سورية.
*** طالبة ماجستير -قسم الهندسة البيئية -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين -اللاذقية -سورية.

Estimating the volumetric oxygen transfer coefficient at activated sludge tanks in field and by using calculation

Dr. Ammar Dbaliz*
Dr. Haytham Jnad**
Rama Khaddour***

(Received 1 / 8 / 2016. Accepted 1 / 2 / 2017)

□ ABSTRACT □

Aerators consume the large amount of energy in Wastewater Treatment Plants WWTPs. Aerators provide Dissolved Oxygen (DO) required for microorganisms. Efficient oxygen transfer should be greater or equal to oxygen utilization by microorganisms (q_x). Calculating volumetric oxygen transfer coefficient ($K_L a$) gives important information about vital process and available oxygen for microorganisms' growth.

We measured (DO) at Al-Rwaimia WWTP in Lattakia district that work at extended aeration system. We performed our tests at three points of the aeration tank. We found from that the value of ($K_L a$) in activated sludge tank and the value of (q_x) in the tank. Two empirical equations are applied (Schierholz, 2008; Pittoors, 2014) for calculating ($K_L a$). Their results are discussed considering the conditions of each case. We compared the values to predict ($K_L a$) at real plants.

Keywords: Oxygen transfer, Aeration tank, Fine bubble, Diffusers, Activated sludge.

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

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

*** Postgraduate Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

منذ نهاية عام 1980، زاد تجهيز أحواض التهوية بالنواشر (Diffusers) [1]، وذلك لأهمية الأوكسجين في عملية التهوية الضرورية لمختلف التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية اللازمة لتخفيض المادة العضوية وأكسدة الأمونيوم إلى نترت و/أو نترات -عملية النترجة (Nitrification)- أي تحويل النترت إلى نترات [2].

النواشر عبارة عن أقراص مثقبة متوفرة بأقطار تتراوح من (18-51cm). لها أنواع عديدة الأكثر شيوعاً منها تعطي عادةً فقاعات يتراوح قطرها (2-5mm) وذلك عندما تكون جديدة كما يظهر في الشكل (1) [3]. يُدعى هذا النوع بالفقاعات الناعمة (Fine Bubble)، أما الأقراص التي تُعطي فقاعات بقطر يتراوح بين (6-10 mm) تُصنف ضمن قائمة الفقاعات الخشنة (Coarse Bubble) [4]. هذه الأقراص عبارة عن حلقات من البلاستيك أو السيراميك بسطحين متوازيين وغشاء مثقب مرن يسمح بمرور الهواء من خلاله [3]. تتميز هذه الأنظمة المزودة بفقاعات صغيرة بعدة مزايا منها: أداء الأكسجة العالي، القدرة على تلبية متطلبات الأوكسجين المختلفة، وانخفاض إنتاج الرذاذ الجوي (Aerosols) [1].



الشكل (1): قرص ناشر للهواء.

تأتي أهمية دراسة المهويات لأنها تصرف الطاقة الأكبر في محطة المعالجة، وتعتمد عليها جودة المعالجة البيولوجية [5]. لذلك تم دراسة معدل انتقال الأوكسجين للمياه عن طريق حساب المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين ($K_L a$) (Volumetric Oxygen Transfer Coefficient) لأنه يعطي معلومات مهمة عن العملية الحيوية وعن كمية الأوكسجين اللازمة لتكاثر الخلايا الحية. تستخدم أيضاً قيمة ($K_L a$) لتحسين التحكم بالمتغيرات المتعلقة بدورة حياة الكائنات الحية. مثل هذه التحسينات تعتمد على الطلب على الأوكسجين في نقاط مختلفة في مرحلة المعالجة والنمو البيولوجي. معايير التحسين تكون لضمان أن النمو البيولوجي لا يعيقه نقص تركيز الأوكسجين، وكذلك تحسين القدرة على ضبط تركيز الأوكسجين للوصول إلى المعالجة المثلى، وأيضاً تجنب الهدر في الطاقة والتكلفة المرتبطة بالتركيز العالي للأوكسجين غير الضروري. حيث يشمل التحسين نوعية المياه المعالجة، تقليل الطاقة المستهلكة، أو زمن المعالجة [10].

ينتج المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين ($K_L a$) من جداء معامل انتقال المادة في غشاء السائل (K_L) وسطح التماس النوعي في واحدة الحجم للسائل (a). حيث تواجه جزيئات غاز الأوكسجين مقاومة عند انتقالها من الطور الغازي إلى الطور السائل وذلك من خلال غشاء السائل (K_L)، ويعتمد الانتقال خلال هذا الغشاء على الظروف عند السطح الفاصل (a). يؤمن دمج (K_L) و (a) في عامل واحد ($K_L a$) القدرة في الحصول على قيم قابلة للقياس في أنظمة التهوية الحفالية المعقدة. حيث يتأثر كل من معامل غشاء السائل والسطح الفاصل الذي يحصل عبره الانتقال،

بنوع أدوات التهوية المزود بها الحوض ومستوى الاضطراب ضمن النظام. تعطي الشركة الصانعة لتجهيزات التهوية المعلومات المتوفرة لديها عن معداتها العاملة في المياه النظيفة كتابع لمعدل تدفق الغاز والطاقة الداخلة إليها بدرجة الحرارة (20°C) عند منسوب سطح البحر (760mmHg)، لذلك هذه المعطيات يجب أن تُعدل لتمثل درجة الحرارة ومكونات مياه الصرف الصحي في حوض التهوية [3]. تُستخدم عادةً المعادلة (1) للحصول على قيمة (K_La) الحقيقية في المحطة المدروسة كما تُعطي هذه المعادلة قيم استهلاك البكتريا للأوكسجين (Oxygen Utilization Rate) ويرمز له بـ (q_x) [6]:

$$\frac{dc}{dt} = \overbrace{K_L a (c^* - c)}^{OTR} - \underbrace{q_x}_{OUR} \quad (1)$$

dc/dt: تغير تركيز الأوكسجين المنحل مع الزمن.
 q_x: معدل استهلاك البكتريا للأوكسجين.
 K_La: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين.
 OTR: معدل انتقال الأوكسجين.
 c*: تركيز الإشباع للأوكسجين المنحل.
 OUR: معدل استهلاك الأوكسجين.
 c: تركيز الأوكسجين المنحل.

حل المعادلة (1) تحليلياً من الشكل (C = a + b e^{-K_La*t}). تمكنا طريقة المربعات الصغرى من إيجاد القيم المثلى لـ (K_La) و (q_x) والتي تجعل هذه المعادلة ممثلة بأفضل ما يمكن لتغيرات الأوكسجين المنحل في الحوض مع الزمن. ثم تُعدل القيمة الناتجة إلى درجة الحرارة (20 °C) عن طريق المعادلة التالية:

$$(K_L a)_T = (K_L a)_{20} \cdot \theta^{(T - 20)} \quad (2)$$

(K_La)_T: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين عند درجة الحرارة T.
 (K_La)₂₀: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين عند درجة الحرارة 20°C.

θ: عامل تصحيح درجة الحرارة ويؤخذ 1.024.

يتم اختيار أجهزة التهوية غالباً على أساس الكفاءة، حيث ترتبط الكفاءة بشكل وثيق بقيمة (K_La) المرتبطة بنوع جهاز التهوية المستخدم. يصنف جهاز التهوية تبعاً لمجموعة من الظروف التشغيلية باستخدامه في المياه النظيفة التي تحتوي على تركيز منخفض من المواد الصلبة المنحلة (Total Dissolved Solids) (TDS). يستخدم عامل التصحيح (α) لتقدير قيمة (K_La) في النظام الحقيقي (actual system) [6].

يتم قياس أداء هذه الأنظمة عادةً في المياه النظيفة قبل البدء بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي وذلك وفقاً للشروط القياسية الموضحة في نظام ASCE [7]، والمواصفة القياسية (NFEN, 12255-15) الخاصة بانتقال الأوكسجين المنحل في المياه النظيفة ومياه الصرف الصحي [8]. غير أن استخدام هذه القياسات (للتنبؤ بأداء الأكسجة) في موقع المشروع لاتزال غير دقيقة نسبياً، لأنها لا تأخذ بعين الاعتبار كل البارامترات المؤثرة على انتقال الكتلة (شكل وأبعاد الحوض، ومخطط نظام التهوية، ظروف التشغيل). من شأن التنبؤ بانتقال الأوكسجين أن يساعد في تحسين الاستفادة من المنشآت، سواء من حيث الكلفة أو الأداء [9].

هناك عدة عوامل تؤثر على أداء التهوية بالنواشر وهي:

- نوع الناشر .
- توضع الناشر .
- كثافة الناشر (diffuser density).

- معدل تدفق الغاز خلال الناشر أو واحدة المساحة.
- نوع المعالجة ونظام التدفق.
- شكل وأبعاد الحوض (geometry basin) وعمق غمر الناشر.
- معدل التحميل.
- درجة اتساخ الناشر وتدهوره (degree of diffuser fouling or deterioration).
- خصائص مياه الصرف الصحي (wastewater characteristics).
- التحكم بـDO.
- السلامة الميكانيكية لنظام التهوية [3].

لتقييم أداء المهوريات في أحواض التهوية يتم تقديم نتائج الاختبار لانتقال الأوكسجين من خلال معدل انتقال الأوكسجين القياسي (Standard Oxygen Transfer Rate–SOTR)، وكفاءة انتقال الأوكسجين القياسية (Standard Oxygen Transfer Efficiency–SOTE)، ويتم حسابهما عن طريق المعادلتين التاليتين [3]:

$$SOTR = \frac{K_{L}a_{20} \cdot C^* \cdot V}{1000} \quad (3) \quad SOTE = \frac{SOTR}{0.3 \cdot G_s \cdot h} \quad (4)$$

SOTR: معدل انتقال الأوكسجين القياسية (kg/h)
0.3: محتوى الأوكسجين في الهواء المحيط (kg/m³)

V: حجم الحوض (m³).
G_s: معدل تدفق الغاز عبر القرص الناشر (m³/h)

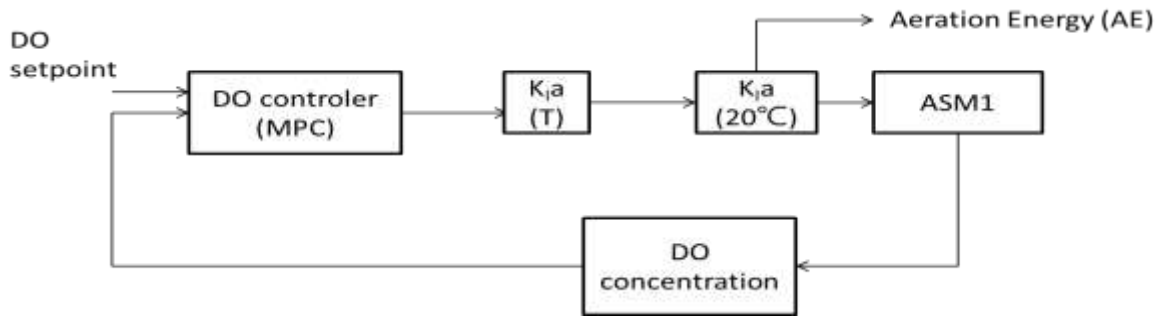
SOTE: كفاءة انتقال الأوكسجين

القياسية (%/m).
h: عمق غمر الناشر (m).

في هذا البحث تم قياس تركيز (DO) في حوض التهوية عند فواصل زمنية صغيرة والحصول على قيمة (K_La) الفعلية بطريقة المربعات الصغرى، كما تم تطبيق عدة معادلات تجريبية والحصول على قيم (K_La) ومناقشة الظروف لكل حالة بغية التنبؤ بقيمة (K_La) المطابقة للقيمة الفعلية وتحسين عملية التهوية وتخفيف الهدر في الطاقة.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في حساب (K_La) عند إدراج أجهزة تهوية جديدة وذلك لتقويم معدل الأوكسجين الذي تزوده في كافة الظروف. يكون حساب (K_La) في غاية الأهمية أيضاً عند البحث عن ظروف التشغيل المثلى والحفاظ على المستوى الأمثل من الأوكسجين المنحل. كذلك يفيد حسابه في سيناريوهات توسيع أحواض المعالجة وضبط المهوريات. عند معرفة قيمة (K_La) في حوض الحمأة المنشطة في الزمن الحقيقي، نستطيع تحديد كمية الأوكسجين الداخل إلى حوض التهوية لتتناسب مع حاجة البكتريا للأوكسجين المحسوبة بنموذج (Modeling1- Activated Sludge) ASM1 ويتم تصحيح (K_La) وفقاً لدرجة الحرارة إذا لزم الأمر كما يوضح الشكل (2):



DO: تركيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية.
 $K_{La} (20^{\circ}\text{C})$: تعديل قيمة K_{La} لدرجة الحرارة 20°C .
 $K_{La} (T)$: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين المنحل وفقاً لدرجة حرارة الحوض.
 AE: الطاقة اللازمة للتهوية.
 الشكل (2): رسم تخطيطي يظهر فائدة حساب (K_{La}) في عملية التحكم بالأوكسجين المنحل داخل حوض التهوية [11].

أما أهداف البحث تتلخص بالنقاط التالية:

- وضع إجراءات وخطوات لحساب المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين عبر المهبويات في أحواض الحمأة المنشطة في ظروف الساحل السوري (محطة الروبية).
- مقارنة القيمة التي نحصل عليها بالقيم الناتجة من تطبيق المعادلات التجريبية في الدراسات المرجعية وذلك من حيث تأثير العوامل الداخلة في كل معادلة، وتبيان مدى إمكانية استخدام هذه المعادلات للتنبؤ بمعدل انتقال الأوكسجين في المحطة المدروسة لدينا.

طرائق البحث ومواده:

من المعروف أن توفير الأوكسجين اللازم في حوض التهوية يتم عن طريق انتقال الأوكسجين من الوسط الغازي إلى الوسط السائل، ويحدث هذا الانتقال في ظل ظروف معينة. يُوصف معدل انتقال الأوكسجين إلى الطور السائل من خلال المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين (K_{La}) الذي سيحسب بتطبيق معادلات تجريبية تم وضعها من قبل باحثين سابقين في ظروف مشابهة لحالتنا المدروسة. كما سيتم حسابه بتطبيق المعادلة (1)، وذلك بعد أخذ عدة قياسات لتركيز الأوكسجين المنحل وإيجاد القيم المثلّي للعوامل (K_{La}, q_x) . بعد ذلك ستقارن النتائج التي حصلنا عليها من تطبيق المعادلات التجريبية مع القيمة الحقيقية التي نتجت من حل المعادلة (1).

انتقال الأوكسجين بين الطورين الغازي والسائل:

يُعرف معدل انتقال الأوكسجين على أنه كتلة الأوكسجين المنحلة خلال واحدة الزمن في حجم معين من الماء من خلال تشغيل نظام لنقل الأوكسجين تحت ظروف معينة من درجة حرارة السائل، الضغط الجزئي للأوكسجين في الغلاف الجوي (0.21bar)، الطاقة المقدمة، معدل تدفق الغاز، وتركيز الأوكسجين المنحل [12]. يوصف تركيز الأوكسجين المنحل في أحواض معالجة الحمأة المنشطة من خلال بارامترين يتغيران مع الزمن بشكل غير خطي هما: معدل استهلاك الأوكسجين من قبل الكائنات الحية الدقيقة في السائل (q_x)، والمعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين (K_{La}) والذي يُمثل من خلال معدل انتقال الأوكسجين (OTR) من الغاز إلى الطور السائل [13].

النماذج الرياضية لقياس $(K_L a)$:

هناك أبحاث عديدة هدفت لتحديد قيمة المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين $(K_L a)$ حسب الظروف التشغيلية لكل حالة. حيث طور (Schierholz) علاقة تربط بين المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين $(K_L a)$ ومواصفات حوض التهوية كحجم المياه في الحوض، مساحة المقطع العرضي للحوض، عمق غمر النواشر تحت المياه، ومعدل تدفق الهواء. حيث أجرى (179) اختبار على حوض تهوية لمحطة معالجة مياه صرف صحي بمدينة ماكوك التابعة لشيكاجو على أعماق تتراوح (2.5-32 m)، ثلاثة منها فقط كانت على عمق (32 m) [14]، فكانت المعادلة على الشكل التالي:

$$\frac{K_L A}{Q_a} = \psi \left(\frac{D}{V} \right)^{1/2} \left(\frac{Q_a}{V} \right)^{1/5} h_d^{13/10} \quad (5)$$

حيث:

Q_a : معدل تدفق الغاز عبر القرص الناشر
 ψ : عامل يأخذ بالاعتبار الشد السطحي (σ) ،
 تسارع الجاذبية الأرضية (g) ، وكثافة المياه (ρ) . وتؤخذ
 D : معامل انتشار الغاز في السائل (m^2/h) .
 v : اللزوجة الحركية للمياه (m^2/h) .
 V : حجم المياه في حوض التهوية (m^3) .
 h_d : عمق غمر النواشر (m) .
 قيمته $(30.5m^{-13/10}h^{1/5})$ من أجل أنظمة التهوية ذات الفقاعات الصغيرة (fine bubble)،
 و $(5m^{-13/10}h^{1/5})$ من أجل أنظمة التهوية ذات الفقاعات المتوسطة (coarse bubble).

تساعد هذه المعادلة في تصميم أحواض التهوية المزودة بنواشر على أعماق كبيرة تتراوح من (2.25-32 m) [14].

كما وضع (Pittoors) نموذج معدل لمعادلة لا بعدية [15] مطورة من قبل (Al Ahmady) للأحواض المستطيلة [16]، بعد أن استبدل طول الحوض بقطره وذلك بالمقارنة مع الأبحاث التي أجريت في الأحواض المستطيلة وأضاف ثلاثة حدود لا بعدية وهي: $(V_t / A_d^{1.5})$ ، (H_t / h_d) ، (D_t / h_d) وتحقق منها فأصبحت المعادلة:

$$\frac{L^{a_{CW}}}{D} = 0.030 \text{Re}^{1.718} \text{Fr}^{-0.709} \left(\frac{d_b}{h_d} \right)^{-0.291} \left(\frac{H_t}{D_t} \right)^{-0.554} \left(\frac{A_d}{A_t} \right)^{0.135} \left(\frac{D_t}{h_d} \right)^{0.321} \left(\frac{H_t}{h_d} \right)^{0.086} \left(\frac{V_t}{A_d^{1.5}} \right)^{-0.017} \quad (6)$$

حيث:

D_t : قطر الحوض (m) .
 D : معامل انتشار الأوكسجين (cm^2/s) .
 Re_{CW} : عدد رينولدز.
 Fr : عدد فرويد.
 d_b : قطر الفقاعة (m) .
 h_d : عمق غمر النواشر تحت سطح المياه (m) .
 H_t : ارتفاع حوض التهوية (m) .
 A_d : مساحة سطح النواشر (m^2) .
 A_t : مساحة سطح الحوض (m^2) .
 V_t : حجم حوض التهوية (m^3) .

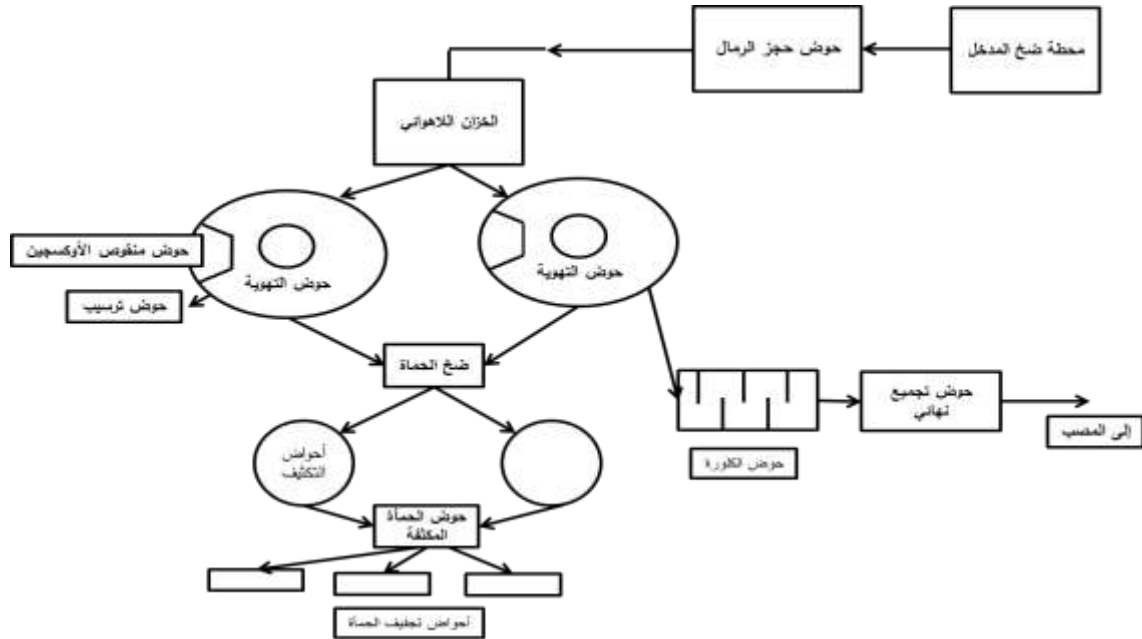
توصل (Pittoors) للمعادلة السابقة التي تمثل العلاقة بين المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين (K_La) وعدد من المتغيرات، بعد أن قام بإجراء اختباره في حوض تجريبي أسطواني يحوي مياه نظيفة مزود بقرص ناشر (disc diffuser)، وضع هذا القرص على أعماق مختلفة وتم تغيير قطر الحوض وكذلك ارتفاع المياه فيه وتغيير التدفق أيضاً فكانت قيم (K_La) الناتجة تتراوح بين $h^{-1} (0.5-10)$ [15].

قياس تركيز الأوكسجين المنحل حقلياً:

يكون القياس في موقع المحطة من خلال أجهزة قياس الأوكسجين المنحل المزودة بمسابر خاصة لهذه الغاية، ويجب أن تكون هذه المسابر ذات زمن استجابة سريع ومزودة بأجهزة خلط. في حال عدم وجود هذه الأجهزة يجب التأكد من أن هناك سرعة ظاهرية للمياه تجتاز المسبر. يجب معايرة المسابر في البداية و بعد كل اختبار [12]. في المحطة المدروسة لدينا استخدمنا جهاز حقلتي نوع (YK-22DO) والمؤلف من مسبر يوصل إلى جهاز قياس مزود بشاشة تُظهر نتائج القياس ويُعطي الجهاز قيمة درجة الحرارة بالتزامن مع قيمة الأوكسجين المنحل، حيث تم تسجيل القراءات يدوياً. عند قياس (DO) لعينة ليس هناك حاجة لأن تكون مزودة بجهاز خلط. شروط المعايرة والتسجيل من أجل العينات هي نفسها في حال القياس في الموقع. يتطلب مسبر الأوكسجين المنحل عناية واهتمام كبيرين وذلك لتزويدنا بالمعطيات الموثوقة بشكل مستمر. كما يجب توفير مسابر وأجهزة وذلك لاستبدال القديم منها عند الحاجة [12].

القياسات الحقلية:

تمت الدراسة في محطة الرويمية لمعالجة مياه الصرف الصحي القادمة من قرى الرويمية والقطرية بالتهوية المديدة. تستقبل محطة المعالجة مياه المجرور الرئيسي وتتم معالجتها عن طريق عدة مراحل بيولوجية لتخليصها من المواد العضوية والعالقة مع إزالة للنتروجين والفسفور ليتم صرفها إلى النهر مياه معالجة ومطهرة ليتم استخدامها في الأغراض الزراعية، وذلك وفق الشكل (3):



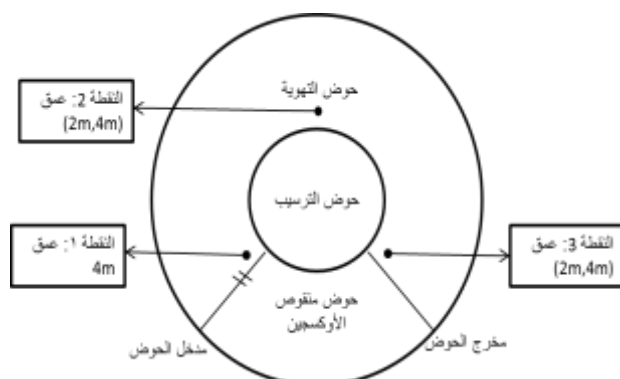
الشكل (3): تكنولوجيا المعالجة في محطة الرويمية.

يوجد في المحطة حوضي تهوية دائريين كل حوض مجهز بأقراص ناشرة للهواء (disc diffusers)، عددها (104) قرص [17].

في دراستنا قيس تراكيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية عند المدخل (النقطة 1) وفي الوسط (النقطة 2) وعند المخرج (النقطة 3)، لتكون هذه النقاط موزعة على كامل الحوض ومعبرة عن انتقال الأوكسجين على الأعماق المختلفة (2-4m) أي في منتصف العمق وفي قاع الحوض تقريباً ، وذلك اعتماداً على ASCE، حيث يكفي لدراسة المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين أخذ 4 نقاط موزعة في الحوض [7]. نقاط الإعتيان موضحة على الشكل (5). أخذت قياسات (DO) من خلال جهاز (Dissolved Oxygen Meter) الحقلي المؤلف من مسبر يوصل إلى جهاز قياس مزود بشاشة تُظهر نتائج القياس. تم ربط المسبر بأنبوب طوله (6m) (كما يظهر في الشكل (4)) وإنزاله في الحوض لمعرفة التراكيز على الأعماق المدروسة (2-4 m) ضمن فواصل زمنية تتراوح بين 3 ثواني و15 ثانية ولمدة حوالي (8-10min) لكل تجربة. تم إجراء التجارب في أوقات مختلفة، القياس في التجربة الأولى كان في شهر حزيران وكان الجو مشمساً، بينما أجريت القياسات في التجربة الثانية والثالثة والرابعة والخامسة خلال شهر تشرين أول حيث كان الجو غائماً مع درجة حرارة منخفضة (انظر درجة الحرارة في الجدول (1)).

الجدول (1): درجة الحرارة المقاسة خلال التجارب.

| درجة الحرارة المقاسة (°C) | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| شهر تشرين أول | | | | شهر حزيران |
| القياس الخامس | القياس الرابع | القياس الثالث | القياس الثاني | القياس الأول |
| 17.7 | 18 | 17.5 | 18 | 26.6 |



الشكل (5): مسقط أفقي لحوض التهوية مع مواقع نقاط الإعتيان.



الشكل (4): جهاز قياس تركيز الأوكسجين المنحل والمسبر في الحوض على عمق (4m).

بعد التواصل مع الشركة الإيطالية المصنعة لأقراص نشر الهواء المستخدمة في محطة معالجة الروميّة تم تزويدنا بمعلومات عن قطر القرص الواحد والذي يبلغ (235 mm) نوع (TH270)، حيث يعطي فقاعات صغيرة يتراوح قطرها (2-4 mm) [16] أي تُصنّف ضمن قائمة الفقاعات الناعمة (fine bubble $d_b < 5\text{mm}$) [19]، كما أن معدل تدفق الهواء المقدم من خلال هذه الأقراص هو (4-6 m³/h). كذلك تم إعطاؤنا معلومات عن كفاءة انتقال الأوكسجين القياسية (SOTE) في المياه النظيفة [16]، حيث استنتجنا منها قيمة (K_La) كما هو موضح في الجدول (2):

الجدول (2): يبين قيم (SOTE) و ($K_L a$) حسب الشركة المصنعة (COSME).

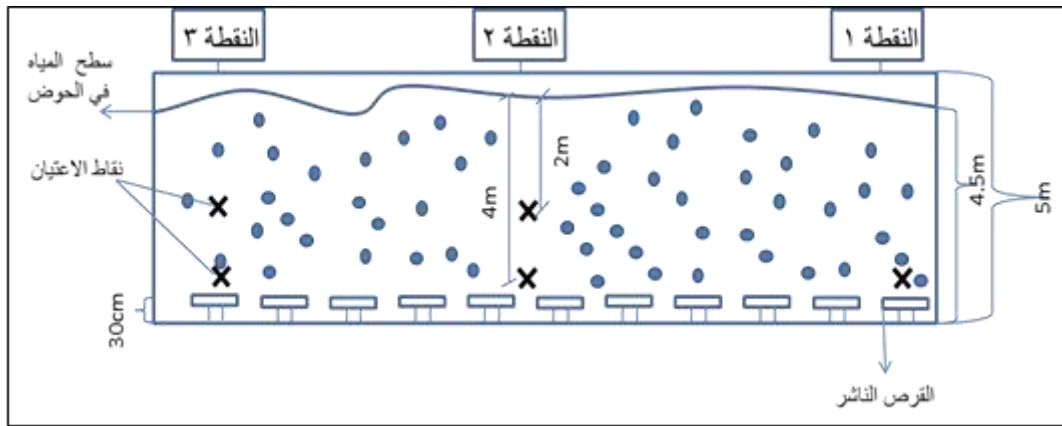
| $K_L a_{AS(20)}$ (h^{-1}) | $K_L a_{CW(20)}$ (h^{-1}) | $K_L a_{(16.3)}$ (h^{-1}) | SOTE (%/m) |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| 8.216 | 10.27 | 9.41 | 5.8 |

حيث أن:

SOTE: كفاءة انتقال الأوكسجين القياسية.

 $K_L a_{(16.3)}$: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين $K_L a_{CW(20)}$: المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين عند درجة الحرارة ($16.3^\circ C$)في المياه النظيفة عند درجة الحرارة ($20^\circ C$) $K_L a_{AS(20)}$: المعامل الحجمي للحمأة المنشطةعند درجة الحرارة ($20^\circ C$)

تم إجراء عدد من القياسات في أوقات مختلفة ونقاط مختلفة أيضاً كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6): مقطع طولي لحوض تهوية الروميية يوضح نقاط الاعتيان المأخوذة.

1. القياس الأول: تم إجراؤه في النقطة (1) عند مدخل حوض التهوية وعلى عمق (4m)، حيث درجة الحرارة

($26.6^\circ C$)، وبالعودة إلى جدول العلاقة بين تركيز الإشباع للأوكسجين والمنحل ودرجة الحرارة الواردة في كتابMetcalf & Eddy [6]، كان تركيز الإشباع الموافق (8 mg/l)، حيث تم التوقف عن أخذ القراءات عند بلوغ قيمة

(DO) 98% من حد الإشباع وذلك حسب ASCE [12]. أخذت القياسات بفواصل زمنية غير منتظمة بسبب

التسجيل اليدوي للقراءة والتغير السريع لقيم تراكيز الأوكسجين المنحل في المياه المعالجة، فكانت تراكيز الأوكسجين

المنحل كما هي موضحة بالجدول (3):

الجدول (3): تراكيز DO الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (1) وعلى عمق (4m).

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 82 | 73 | 66 | 50 | 40 | 34 | 30 | 22 | 17 | 7 | 0 | الزمن (s) |
| 7.3 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 7 | 7 | 6.9 | 6.9 | 6.7 | DO (mg/l) |
| 162 | 158 | 155 | 153 | 149 | 144 | 134 | 127 | 115 | 104 | 93 | الزمن (s) |
| 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.3 | 7.3 | DO (mg/l) |

وقد تم تمثيل نتائج القياس الواردة أعلاه بيانياً كما هو مبين على الشكل (7, a). تُستخدم طريقة الانحدار

الخطي عند استنتاج قيمة ($K_L a$) في المياه النظيفة، لكن بما أننا أجرينا التجارب ضمن حوض التهوية في محطة

الروميية أي يوجد استهلاك للأوكسجين من قبل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الحوض كما يظهر في المعادلة

(1)، لذلك تمت معالجة البيانات بطريقة عددية حيث قمنا بتقطيع المعادلة التفاضلية رقم (1) بطريقة أولر المباشرة، ومن ثم إيجاد قيم ($K_L a$, q_x) التي تحقق المعادلة المقطعة بأفضل ما يمكن بطريقة المربعات الصغرى. في المخطط البياني الموضح في الشكل (a, 7) تم رسم خط انحدار من المرتبة الثانية والذي يمثل القيم بشكل أفضل وذلك لتلافي أثر التذبذب في القياسات التي تتطلب ذلك، فتم الحصول على قيم ($K_L a$, q_x)، حيث تتعلق هذه القيم بالاحتياج الكيميائي للأوكسجين (BOD_5) الموجودة في الحوض والتي بلغت وسطياً (66.94 mg/l)، وكذلك بتركيز الحمأة (MLSS) والتي بلغت وسطياً (360 mg/l). أما قيم ($K_L a$, q_x) موضحة في الجدول (4):

الجدول (4): قيم ($K_L a$) واستهلاك البكتريا للأوكسجين (q_x) الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (1) والعمق (4m).

| SOTE (%/m) | SOTR (kg/h) | $K_L a_{20}$ (h^{-1}) | q_x mg/l.s | $K_L a_{(26.6)}$ (h^{-1}) |
|---------------|-------------|------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 21.982 | 110.791 | 12.31 | 0.01 | 14.4 |

2. القياس الثاني: تم تنفيذه في النقطة (2) والعمق (4m)، حيث كانت درجة الحرارة المقاسة ($18^\circ C$) وتركيز الإشباع للأوكسجين المنحل هو (9.5 mg/l)، أما تراكيز الأوكسجين المنحل فكانت كما هي موضحة في الجدول (5) حيث استمر أخذ القياس لمدة عشر دقائق وهو زمن تشغيل المهبويات، كما أن تركيز الأوكسجين المنحل خلال فترة التهوية لم يصل إلى 98% من حد الإشباع حسب ASCE [7].

الجدول (5): تراكيز DO الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (2) والعمق (4 m).

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 89 | 77 | 72 | 67 | 60 | 56 | 32 | 27 | 22 | 18 | 5 | 1 | الزمن (s) |
| 3 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.3 | 2.2 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.9 | 2.1 | 3.1 | DO (mg/l) |
| 162 | 156 | 153 | 149 | 143 | 133 | 120 | 116 | 110 | 107 | 104 | 92 | الزمن (s) |
| 4.2 | 4 | 4 | 4 | 3.9 | 3.8 | 3.6 | 3.6 | 3.4 | 3.3 | 3.2 | 3.2 | DO (mg/l) |
| 271 | 260 | 253 | 240 | 230 | 220 | 215 | 209 | 208 | 198 | 191 | 191 | الزمن (s) |
| 5.7 | 5.6 | 5.4 | 5.3 | 5.2 | 5.1 | 5 | 4.7 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.3 | DO (mg/l) |
| 385 | 373 | 360 | 355 | 343 | 331 | 320 | 310 | 300 | 295 | 285 | 285 | الزمن (s) |
| 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.3 | 6.9 | 6.5 | 6.1 | 5.9 | 5.9 | DO (mg/l) |
| 490 | 480 | 470 | 460 | 455 | 440 | 430 | 420 | 410 | 400 | 390 | 390 | الزمن (s) |
| 8.2 | 8.2 | 8.1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 7.9 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.8 | DO (mg/l) |
| 600 | 590 | 580 | 570 | 560 | 550 | 540 | 530 | 520 | 510 | 500 | 500 | الزمن (s) |
| 9.1 | 9.1 | 9.1 | 8.9 | 8.8 | 8.6 | 8.4 | 8.4 | 8.3 | 8.3 | 8.2 | 8.2 | DO (mg/l) |

وقد تم تمثيل نتائج القياس الواردة أعلاه بيانياً كما هو موضح في الشكل (b, 7). تم التوصل لقيم ($K_L a$) واستهلاك البكتريا للأوكسجين (q_x) الموضحة في الجدول (6):

الجدول (6): قيم (K_La) واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (2) والعمق (4m).

| SOTE (%/m) | SOTR (kg/h) | K_La_{20} (h^{-1}) | q_x (mg/l.s) | $K_La_{(18)}$ (h^{-1}) |
|------------|-------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
| 19.143 | 96.481 | 10.61 | 0.001 | 10.12 |

3. القياس الثالث: في النقطة (3) مخرج الحوض على العمق (4m)، حيث كانت درجة الحرارة المقاسة ($17.5^\circ C$) وتركيز الإشباع للأوكسجين المنحل (9.6 mg/l) أما تراكيز الأوكسجين المنحل فكانت كما هي موضحة في الجدول (7):

الجدول (7): تراكيز DO الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (3) والعمق (4m).

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
| 54 | 51 | 47 | 44 | 41 | 37 | 33 | 30 | 27 | 23 | 19 | 15 | 12 | 7 | 0 | الزمن (s) |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 4.7 | DO (mg/l) |
| 115 | 111 | 107 | 103 | 99 | 95 | 90 | 84 | 80 | 77 | 73 | 70 | 67 | 63 | 58 | الزمن (s) |
| 5.7 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.4 | 5.4 | 5.3 | 5.2 | 5.2 | 5.2 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 5 | DO ((mg/l) |
| 169 | 166 | 162 | 159 | 153 | 150 | 147 | 141 | 139 | 135 | 131 | 127 | 123 | 119 | 119 | الزمن (s) |
| 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6 | 6 | 6 | 5.9 | 5.8 | 5.7 | 5.7 | DO (mg/l) |
| 276 | 266 | 248 | 232 | 216 | 212 | 206 | 200 | 195 | 189 | 185 | 182 | 179 | 175 | 175 | الزمن (s) |
| 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.2 | 7.2 | 7.1 | 7.1 | 7 | 7 | 7 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | DO (mg/l) |
| 453 | 438 | 422 | 407 | 390 | 377 | 365 | 350 | 340 | 328 | 318 | 302 | 287 | 287 | 287 | الزمن (s) |
| 8 | 7.9 | 7.9 | 7.8 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | DO (mg/l) |
| 600 | 583 | 576 | 563 | 545 | 532 | 517 | 501 | 498 | 489 | 478 | 466 | 466 | 466 | 466 | الزمن (s) |
| 8.4 | 8.4 | 8.4 | 8.4 | 8.3 | 8.3 | 8.2 | 8.2 | 8.1 | 8.1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | DO (mg/l) |

وقد تم تمثيل نتائج القياس الواردة أعلاه بيانياً كما هو مبين على الشكل (c , 7). قيم (K_La) واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة لدينا موضحة في الجدول (8):

الجدول (8): قيم (K_La) واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (3) والعمق (4m).

| SOTE (%/m) | SOTR (kg/h) | K_La_{20} (h^{-1}) | q_x mg/l.s | $K_La_{(17.5)}$ (h^{-1}) |
|------------|-------------|--------------------------|--------------|------------------------------|
| 23.214 | 117 | 13 | 0.003 | 12 |

4. القياس الرابع: تم إجراؤه على عمق (2m) وذلك في النقطة (2) وسط الحوض، حيث كانت درجة الحرارة المقاسة ($18^\circ C$) وتركيز الإشباع للأوكسجين المنحل (9.5 mg/l) أما تراكيز الأوكسجين المنحل الناتجة فكانت كما هي مبينة في الجدول (9):

الجدول (9): تراكيز DO الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (2) والعمق (2 m).

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 62 | 60 | 56 | 51 | 49 | 40 | 36 | 31 | 29 | 24 | 20 | 8 | 0 | الزمن (s) |
| 8.1 | 8.1 | 8 | 7.9 | 7.7 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.5 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.3 | DO (mg/l) |
| 159 | 155 | 151 | 110 | 103 | 100 | 95 | 86 | 81 | 79 | 76 | 73 | 69 | الزمن (s) |
| 8.5 | 8.4 | 8.4 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 8.3 | 8.2 | 8.2 | 8.2 | 8.1 | 8.1 | DO (mg/l) |
| 228 | 221 | 218 | 203 | 193 | 188 | 185 | 10 | 177 | 174 | 170 | 168 | 160 | الزمن (s) |
| 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.8 | 8.8 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.5 | 8.5 | DO (mg/l) |
| 283 | 276 | 273 | 267 | 260 | 256 | 252 | 246 | 243 | 237 | 234 | 231 | 231 | الزمن (s) |
| 9.2 | 9.2 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9.1 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 8.9 | 8.9 | DO (mg/l) |

وقد تم تمثيل نتائج القياس الواردة أعلاه بيانياً كما هو مبين على الشكل (7, d). قيم $(K_L a)$ واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة لدينا موضحة في الجدول (10) التالي:

الجدول (10): قيم $(K_L a)$ واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (2) والعمق (2m).

| SOTE (%/m) | SOTR (kg/h) | $K_L a_{20}$ (h^{-1}) | q_x (mg/l.s) | $K_L a_{(18)}$ (h^{-1}) |
|------------|-------------|---------------------------|----------------|-----------------------------|
| 25.615 | 129 | 14.34 | 0.007 | 13.68 |

5. القياس الخامس: تم إجراؤه على عمق (2m) وذلك في النقطة (3) حيث كانت درجة الحرارة المقاسة ($17.7^{\circ}C$) وتركيز الإشباع للأوكسجين المنحل (9.51 mg/l)، أما قيم تراكيز الأوكسجين المنحل الناتجة فكانت كما هي مبينة في الجدول (11):

الجدول (11): تراكيز DO الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (3) والعمق (2 m).

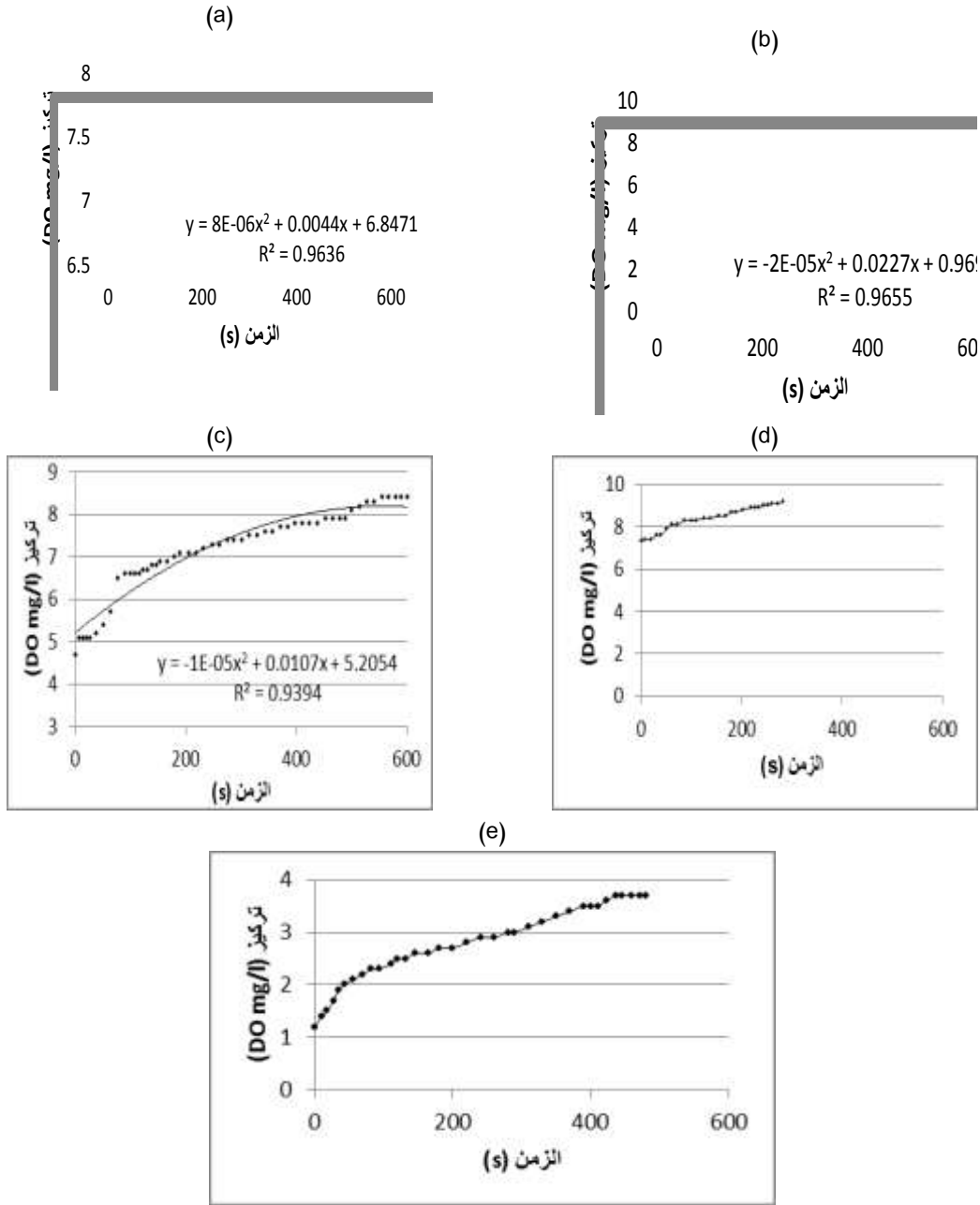
| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| 120 | 111 | 93 | 82 | 70 | 55 | 43 | 35 | 27 | 18 | 10 | 0 | الزمن (s) |
| 2.5 | 2.4 | 2.4 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.1 | 2.1 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.2 | DO (mg/l) |
| 330 | 310 | 290 | 280 | 260 | 240 | 220 | 200 | 180 | 165 | 146 | 131 | الزمن (s) |
| 3.2 | 3.1 | 3 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.5 | DO (mg/l) |
| 480 | 472 | 459 | 445 | 437 | 423 | 410 | 400 | 390 | 370 | 350 | 350 | الزمن (s) |
| 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.6 | 3.6 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.4 | 3.3 | DO (mg/l) |

وقد تم تمثيل نتائج القياس الواردة أعلاه بيانياً كما هو مبين على الشكل (7, e). قيم $(K_L a)$ واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة لدينا موضحة في الجدول (12):

الجدول (12): قيم $(K_L a)$ واستهلاك البكتيريا للأوكسجين (q_x) الناتجة من القياسات الحقلية في النقطة (3) والعمق (2m).

| SOTE (%/m) | SOTR (kg/h) | $K_L a_{20}$ (h^{-1}) | q_x (mg/l.s) | $K_L a_{(17.7)}$ (h^{-1}) |
|------------|-------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|
| 28.11 | 141.661 | 15.74 | 0.02 | 14.9 |

متوسط قيم $(K_L a)$ التي توصلنا إليها عند درجة الحرارة 20° مساوية لـ $(K_L a_{20}=13.23 \text{ h}^{-1})$



الشكل (7): تغير قيم تراكيز الـ (DO) المقاسة عند نقطة الاعتيان:

- (a) نقطة رقم (1) من حوض التهوية وعلى عمق (4m). (b) نقطة رقم (2) من حوض التهوية وعلى عمق (4m).
 (c) نقطة رقم (3) من حوض التهوية وعلى عمق (4m). (d) نقطة رقم (2) من حوض التهوية وعلى عمق (2m).
 (e) نقطة رقم (3) من حوض التهوية وعلى عمق (2m).

تطبيق النماذج الرياضية لحساب $K_L a$:

بتطبيق المعادلتين (Schierholz) و (Pittoors) - المعادلتان (5) و (6) على الترتيب - حسب المعطيات التشغيلية والتصميمية المتوفرة لدينا والمدونة في الجدول (12)، كانت قيمة $(K_L a_{20})$ الناتجة بعد تعديلها لتمثل مياه الصرف الصحي (9.016 h^{-1}) و (9.024 h^{-1}) على الترتيب.

تُعطى هاتان المعادلتان قيمة L ($K_L a$) في المياه النظيفة. لذلك عُدلت القيم بضربها بالمعامل α (يُمثل النسبة بين المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين في مياه الصرف الصحي إلى المعامل الحجمي لانتقال الأوكسجين في المياه النظيفة). تُؤخذ قيمة α من أجل النواشر (0.4–0.8) [6]، وبما أن المياه في حوض تهوية الرويمية ذات حمل عضوي منخفض حيث $(BOD_5)_{in}=66.94\text{mg/l}$, $MLSS=360\text{mg/l}$ لذلك تم أخذ $(\alpha=0.8)$.
الجدول (13): المتغيرات التشغيلية والتصميمية لحوض التهوية.

| القيمة | الوحدة | الاسم | المتغير |
|---|------------------------|--------------------------------|----------------|
| 2 | m/h | سرعة الغاز | U_G |
| $1.003 \cdot 10^{-6}$ | m^2/s | اللزوجة التحريكية | ν |
| 9.81 | m/s^2 | تسارع الجاذبية | g |
| 4.511 | m^2 | المساحة الكلية لأقراص النواشر | S_p |
| 236 | m^2 | المساحة الكلية لحوض التهوية | A_t أو S |
| 117.52 | m^2 | المساحة المغطاة من قبل النواشر | A_d أو S_a |
| 17.3 | m | قطر حوض التهوية | D_t أو D |
| 4.2 | m | عمق غمر النواشر تحت المياه | h_d أو h |
| 4 | m^3/h | معدل تدفق الغاز | Q_a |
| $6.7 \cdot 10^{-2}$ | cm^2/h | معامل انتشار الغاز في السائل | D |
| 991.2 | m^3 | حجم حوض التهوية | V |
| 13–105 | – | عدد رينولدز | Re |
| $2.6 \cdot 10^{-5}$ – $1.1 \cdot 10^{-3}$ | – | عدد فرويد | Fr |
| 2–4 | mm | قطر الفقاعة | d_b |
| 4.5 | m | ارتفاع المياه في حوض التهوية | H_t |

النتائج والمناقشة:

نلاحظ في النقطة (1) عند العمق (4m) بأن تراكيز الأوكسجين المنحل أعلى من القيمة المرجعية (3mg/l) [6] (كما هو مبين في الجدول (2))، وبالتالي هي ليست بحاجة لكل التهوية المقدمة وقد ينتج عنها مشاكل من التهوية الزائدة هذا بالإضافة لزيادة استهلاك الطاقة المصروفة لعمل هذه النواشر. كذلك الأمر بالنسبة للنقطة (3) على العمق (4m) وأيضاً النقطة (2) على العمق (2m). إن القيم العالية لتراكيز الأوكسجين المنحل في حوض التهوية هو نتيجة منطقية لانخفاض الحمولة العضوية الداخلة إلى المحطة، حيث صُممت المحطة لتُعالج حمولة عضوية تصميمية قدرها (415Kg/d) والتي يكون فيها BOD_5 التصميمي حوالي (400mg/l) ولكن بسبب تسرب المياه الجوفية ومياه الري ومياه الأمطار شتاءً وعدم كتامة شبكة مياه الصرف الصحي وعدم اكتمال الشبكة فهي لم تُخدم حتى الآن محور القظرية حيث التدفق التصميمي الوسطي ($Q=1039\text{m}^3/\text{d}$) في حين التدفق الفعلي الوسطي هو ($Q=360\text{m}^3/\text{d}$). لقد أدت كل هذه الأسباب مجتمعة إلى انخفاض الحمل العضوي الداخل إلى المحطة والذي تم قياسه فكان (24Kg/d) وبلغ التركيز (66.94mg/l) مما يُفسر ارتفاع قيم الأوكسجين المنحل في الحوض.

أما بالنسبة للنقطة (2) على العمق (4m) كان تركيز الأوكسجين المنحل قبل تشغيل المهبوات أكبر منه بعد تشغيلها حيث أخذ بالتناقص إلى حد معين (كما هو مبين في الشكل (8)) وقد يُعزى ذلك إلى تنشيط البكتريا بعد حالة الثبات وبعد عملية التهوية مما أدى إلى خفض الـ (DO) بالإضافة إلى أنه تم أخذ قياس تركيز الأوكسجين المنحل بالقرب من جدار الحوض وعلى عمق كبير (4m) أي تُعتبر نقطة ميتة قبل تشغيل المهبوات أما بعد تشغيلها أصبح هناك خلط للمياه فتنشطت البكتريا واستهلكت الأوكسجين اللازم لها ثم بدأ بعدها تركيز الأوكسجين المنحل بالصعود تدريجياً وبعد حوالي الدقيقة والنصف من التشغيل تجاوز التركيز الحد الأعلى المسموح به والمساوي لـ (3mg/l)، أي أن هناك تشغيل زائد للمهبوات في الحوض أيضاً. بالنسبة للنقطة (3) على العمق (2m) فكانت القيم ضمن الحد الطبيعي (1-3mg/l) مع بداية تشغيل المهبوات، وبعد حوالي السبع دقائق تجاوزت الحد الأعلى المسموح (3 mg/l) مما يدل أيضاً على زيادة في التهوية وفي استهلاك الطاقة الكهربائية. في هذا السياق لابد من الإشارة أيضاً إلى انخفاض تركيز الكتلة الحيوية حيث أظهرت نتائج القياسات أن متوسط تركيز المواد الصلبة المعلقة قد بلغت (MLSS=360mg/l) في حين أن قيمة (MLSS) التصميمية تتراوح بين (3000-6000mg/l) وكذلك بلغت قيمة المواد المعلقة الطيارة (MLVSS=261mg/l) والتي تعبر عن تركيز الكائنات الحية في حوض الحمأة المنشطة. يُعزى الانخفاض في تركيز (MLSS, MLVSS) إلى انخفاض معدل إعادة الحمأة المنشطة الناجم عن انخفاض عدد ساعات ضخ الحمأة المعادة يومياً بسبب انقطاع التيار الكهربائي لمدة أربع ساعات متواصلة أحياناً، بالإضافة للارتفاع في زمن المكث الهيدروليكي والذي بلغ (100 hour) في حين أن الزمن التصميمي لا يتجاوز (35hour)، وذلك نتيجة عدم ربط محور القطرية بمحطة المعالجة من جهة وانخفاض معدل ضخ مياه الصرف الصحي من جهة أخرى نتيجة لانقطاع التيار الكهربائي.

يمكن تلخيص النتائج السابقة ضمن الجدول (14).

الجدول (14): المؤشرات التصميمية والفعلية لمحطة الرويمية.

| عمر الحمأة day | TSS Kg/day | BOD ₅ Kg/day | HRT (h) | MLVSS (mg/l) | MLSS (mg/l) | التحميل الحجمي | F/M | TSS (mg/l) | | BOD ₅ (mg/l) | | Q (m ³ /day) | عدد السكان (تسمة) | المؤشرات |
|----------------|------------|-------------------------|---------|--------------|-------------|----------------|------|------------|-----|-------------------------|-----|-------------------------|-------------------|---------------|
| | | | | | | | | In | out | in | out | | | |
| 20-25 | 450 | 415 | 35 | 3150 | 4500 | 0.28 | 0.06 | 450 | 30 | 400 | 20 | 1039 | 7700 | التصميمية |
| 33 | - | 24 | 100 | 261 | 360 | 0.016 | 0.06 | - | - | 66.9 | 20 | 360 | - | الواقع الحالي |

من الجدول السابق يتضح مايلي:

1. ان المحطة تعاني من جملة من الإشكاليات التي تجعل منها حالة خاصة جداً، حيث أن التحميل الحجمي الحالي يقل عن التصميمي بمقدار 17.5 مرة، كما أن تركيز الحمأة في حوض التهوية (MLSS) أقل من تركيز المعلفات في المياه الداخلة للمحطة (التصميمية).
2. الغزارة هي الأخرى أقل من التصميمية بقرابة 3مرات.

3. زمن البقاء الهيدروليكي HRT هو الآخر أكثر من التصميمي بثلاث مرات.

من خلال المقارنات السابقة يتضح الوضع الحالي للمحطة والاشكاليات التي تعاني منها نتيجة لعدم وصول التدفقات التصميمية من حيث الغزارة والمغذيات ونتيجة لانقطاع الكهرباء وتأثيرها على نمو الكتلة الحيوية بشكل عام. نلاحظ من خلال الحسابات التقريبية ارتفاع لعمر الحمأة وهو أحد الأسباب التي تؤدي إلى زيادة فعالية نقل الأوكسجين في غالبية منظومات التهوية.

أما بالنسبة لقيم (K_{La}) الناتجة فهي قريبة من بعضها ومتوسط هذه القيم عند درجة الحرارة $(20^{\circ}C)$ يساوي $(K_{La20} = 13.23 h^{-1})$. نلاحظ أن اختلاف هذه القيم عن القيمة المتوسطة لم يتعد (19%) ، وهذا يدل على تجانس انتقال الأوكسجين ضمن حوض التهوية وذلك على الأعماق المدروسة.

تضمنت المعادلتان التجريبيتان لـ (Pittoors, Schierholz) متغيرات عديدة لها تأثير كبير على قيمة (K_{La}) الناتجة: حيث تضمنت معادلة (Schierholz) متغيرات عن معدل تدفق الهواء، معامل انتشار الغاز في السائل، اللزوجة التحريكية، حجم حوض التهوية، وعمق غمر النواشر، بالإضافة لمتغيرات أخرى تم إدخالها ضمن الثابت (Ψ) كالشد السطحي، تسارع الجاذبية الأرضية، وكثافة المياه. أما في معادلة (Pittoors) شملت بالإضافة للمتغيرات السابقة قطر حوض التهوية، قطر الفقاعة، ارتفاع المياه في الحوض، مساحة أقراص النواشر، مساحة حوض التهوية، وعدد رينولدز وفروود.

نلاحظ في معادلة (Pittoors) تأثير إيجابي للنسبة (Sp/S) حيث أنه مع زيادة مساحة النواشر سيزداد انتقال الأوكسجين وهذا بدوره يساعد على نشر فقاعات ويحسن من المساحة الفاصلة بين السائل والغاز [20]. أما بالنسبة لقطر الفقاعة نلاحظ أن لها أس سالب وهذا يدل على أن نقصان حجم الفقاعة يزيد من سطح التماس (a) بين الغاز والسائل، كما أن زيادة معدل تدفق الهواء (Q_a) يؤدي إلى زيادة حجم الفقاعة.

تؤدي زيادة ارتفاع المياه في حوض التهوية (H_t) إلى زيادة طول المسار الذي تجتازه الفقاعة وبالتالي زيادة زمن الاتصال بين الطورين، وهذا يتضح من الأس الموجب للنسبة (H_t/h_d) في معادلة (Pittoors). النسبة (D/h) لها أس موجب، حيث يُحدد قطر الحوض عدد الأقراص الواجب وضعها فيه. كما أن زيادة قطر الحوض أو عمق غمر النواشر يساعد على تحسين التماس بين المياه والأوكسجين القادم عن طريق النواشر.

لكن في المحطة المدروسة لدينا زيادة القطر (D_t) مع الحفاظ على النواشر الموجودة يكون له تأثير سلبي على قيمة (K_{La}) وبالتالي هذا يقود إلى توزع الفقاعات بشكل سيء وأيضاً بالنسبة للتماس بين الطورين الغازي والسائل. كما أن زيادة الحجم الفعال للحوض، أي ارتفاع المياه فيه يزيد من الضغط الهيدروستاتيكي المطبق على النواشر وعلى الطبقات السفلية من المياه مما يزيد من انتقال الأوكسجين من الطور الغازي إلى الطور السائل وبالتالي زيادة في قيمة (K_{La}) .

نلاحظ أن القيمة المتوسطة لـ (K_{La20}) التي نتجت من القياسات الحقيقية أكبر من القيم التي حصلنا عليها سواء من المعادلات التجريبية أو من الشركة المصنعة وهذا يدل على أداء جيد للنواشر في نقل الأوكسجين للحوض هذا من جهة، لكن من جهة أخرى فإن قيم (K_{La}) العالية تدل على تشغيل المهيئات أكثر من اللازم وبالتالي هناك زيادة في التهوية بالإضافة لطبيعة المياه في الحوض حيث $(BOD_5 = 66.94 mg/l, MLSS = 360 mg/l)$. يُلاحظ صغر قيم (q_x) الناتجة لدينا والموضحة في الجداول $(3-5-7-9-11)$ ، حيث أن استهلاك البكتريا للأوكسجين يتراوح عادةً بين $(0.02-0.08 mg/l.s)$ ، هذا بسبب انخفاض تركيز الحمأة في حوض التهوية الناتج عن دخول كميات كبيرة من

المياه الجوفية إلى شبكات مياه الصرف الصحي قبل وصولها إلى محطة المعالجة، بالإضافة لانقطاع التيار الكهربائي لفترات طويلة تصل إلى أربع ساعات أحياناً، فيحصل نتيجةً لذلك ترقيد للحمأة في قاع الحوض وبالتالي تكون المياه أشبه بالمياه النظيفة.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- إن قيم (K_La) الناتجة تُظهر تجانس في انتقال الأوكسجين المنحل ضمن حوض التهوية وذلك عند مختلف الأعماق المدروسة.
- أظهرت القياسات الحقلية قيم عالية للأوكسجين المنحل في مختلف النقاط المدروسة، حيث زادت هذه القيم عن القيمة المرجعية $(1-3\text{mg/l})$ وهذا بدوره يؤدي إلى حدوث مشاكل التهوية الزائدة.
- النتائج التي تم التوصل إليها تدل على عدم وجود بكتيريا أو وجودها ضمن التراكيز الدنيا، ففي بداية حوض التهوية حيث الحمأة العائدة والحمل العضوي الأكبر يجب أن يترافق مع استهلاك كبير للأوكسجين وليس العكس.
- إن الانقطاع المتكرر للكهرباء لزمّن يصل إلى أربع ساعات في بعض الأوقات يؤدي إلى تموت الجزء الأكبر من الكتلة الحيوية. كما أن عمليات التحلل اللاهوائي في طبقة الحمأة المترسبة سيكون لها الأثر الكبير على قيم تراكيز الأوكسجين المنحل وسيكون هذا التأثير واضحاً في الأسفل (قاع الحوض) وهذا الأمر يحدث في كل من حوض التهوية والترسيب وفي كافة أحواض المنظومة (لاهوائي، منقوص الأوكسجين، حوض التهوية).
- تحتاج المعادلتان التجريبيتان لـ (Pittoors, Schierholz) للتعديل وذلك بغية التنبؤ بقيمة (K_La) في محطة الرومسية.

التوصيات:

- نظراً للظروف الراهنة التي تمر بها المحطة من انقطاع للكهرباء وعدم وصول كامل الغزارة، هناك ضرورة لإجراء دراسات لاحقة للوقوف على كفاءة عملها ضمن ظروف التشغيل التصميمية.
- هناك ضرورة تشغيلية لإبقاء الحمأة معلقة في السائل منعاً لترسب الحمأة، وبالتالي فإن الحل التشغيلي سيوائم بين كمية الأوكسجين المعطاة للسائل وبين الطاقة الحركية التي تضمن بقاء MLSS معلقاً.
- إمكانية تخفيض مدة عمل المهوريات التي تعمل بنظام (10 دقائق.تشغيل، 20 دقيقة توقف).
- الصيانة الدورية لخطوط شبكة الصرف الصحي لحمايتها من دخول المياه الجوفية إليها.
- اعتماد التراكيز الأصغرية للأوكسجين المنحل كأداة لتشغيل أجهزة التهوية.

المراجع:

1. DUCHENE, P, COTTEUX, E., and CAPELA, S. *Applying fine bubble aeration to small tanks*. Water Sci. Techno, Vol.44 (2-3), 2001, 203-210.

2. GERMAIN, E., and STEPHENSON, T. *Biomass characteristics, aeration and oxygen transfer in membrane bioreactors: Their interrelations explained by a review of aerobic biological processes*. Rev. Environ. Sci. Bio/Technol, Vol.4, 2005, 223–233.
3. MUELLER, J. A., BOYLE, W. C., POPEL, H. J. *Aeration: Principles and Practice: Water Quality Management Library*, 2ed, CRC PRESS, Boca Raton, 2002, 353.
4. CHALOUX, L. *Flexible membrane vs. Ceramic Diffusers*. Environment. Health& Safety Research analyst, 2001.
5. REARDON, D.J. *Turning down the power*. Civ. Eng, Vol.8, 2005, 54–56.
6. TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, F. L., and STENSEL, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed, Metcalf & Eddy, Inc., McGraw-Hill, Boston, 2003, 1819.
7. ASCE, *Standard Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water*, American Society of Civil Engineers, New York, 1992, 43.
8. NFEN, 12255-15 *European Standard: wastewater treatment plants—Part 15: measurement of the oxygen transfer in clean water in activated sludge aeration tanks*, 2004.
9. GILLOT, S., CAPELA-MARSAL, S., ROUSTAN, M., and HEDUIT, A. *Predicting oxygen transfer of fine bubble diffused aeration systems—model issued from dimensional analysis*. Water Research, Vol.39, 2005, 1379–1387.
10. KANE, J. *Measuring K_La for Better Bioreactor Performance*. Bioprocess International, 2012, 46-49.
11. HOLENDA, B, DOMOKOS, E. REDEY, A. and Fazakas, J. *Dissolved Oxygen Control Of The Activated Sludge Wastewater Treatment Process Using Model Predictive Control*. Computers and Chemical Engineering, Vol.32, 2008, 1270–1278.
12. ASCE, *Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water*, American Society of Civil Engineers, Reston, 2007, 31.
13. LINDBERG, C. *Control and Estimation Strategies Applied to the Activated Sludge Process*. PhD thesis, Uppsala University, Sweden, 1997, 214.
14. SCHIERHOLZ, E. L., GULLIVER. J. S., WILHELMS, S. C., and HENNEMAN, H. E. *Gas transfer from air diffusers*. Water Research, Vol.40, 2006, 1018 – 1026.
15. PITTOORS, E., GUO, Y., and HULLE, S. W. H. V. *Oxygen transfer model development based on activated sludge and clean water in diffused aerated cylindrical tanks*. Chemical Engineering Journal, Vol.243, 2014, 51-59.
16. AL AHMADY, K. K. *Mathematical model for calculating oxygen mass transfer coefficient in diffused air systems*. Al Rafdain Eng, Vol.19, N^o.4, 2011, 43–54.
17. وزارة الإدارة المحلية. العقد رقم (13)، عقد تنفيذ محطة معالجة الروبمية. اللاذقية: الشركة العامة للصرف الصحي، 2008.
18. COSME, *Machines For Waste Water Treatment*. Italy, E-mail: cosme@cosmeitalia.com.
19. ROSSO, D., and STENSTROM, M. K. *Surfactant effects on alpha factors in aeration systems*. Water Res, Vol.40, 2006b, 1397–1404.
20. AL AHMADY, K. K. *Analysis of oxygen transfer performance on subsurface aeration systems*. Int. J. Environ. Res & Public Health, Vol.3 (3), 2006, 301–308.