

تقييم أداء منظومة الـ A2O لازالة المغذيات من مياه الفضلات المدنية

د. عمار ثامر حمد**

amthaha@yahoo.com

سجى عبد الرزاق محمد*

MohAlali2762017@gmail.com

*,** جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم هندسة البيئة

تاريخ القبول: 2019-7-15

تاريخ الاستلام: 2019-6-29

الملخص

يعتبر النتروجين والفسفور من عناصر النمو الأساسية للكائنات الدقيقة المستخدمة في معالجة مياه الفضلات. حيث تحصل إزالة نسبة محددة من المغذيات خلال جميع مراحل المعالجة البيولوجية بقدر ما يمكن ان تستوعبه كتلة الخلية الناتجة، وعندما يتم تصميم نظام معالجة لإزالة مغذيات أكبر من الكميات الضرورية للتمثيل الغذائي، حينئذ يطلق على هذا النظام بالمعالجة البيولوجية لإزالة المغذيات (Biological Nutrient Removal (BNR)). يتكون نظام BNR من عمليتين: الإزالة البيولوجية للنتروجين والإزالة البيولوجية المعززة للفسفور (EBPR). وهناك عدة ترتيبات لعمليات المعالجة البيولوجية للمغذيات BNR تعتمد عملية اختيار المعالجة الأكثر ملاءمة لأي نظام على خصائص مياه الفضلات الداخلة ونوعية المياه المعالجة المطلوبة واعتبارات الكلفة تعد منظومة الـ A2O هي الأوسع انتشاراً لبساطة تشغيلها وانخفاض متطلبات التهوية (انخفاض الكلفة التشغيلية) والجودة العالية للحماة الناتجة والكفاءة العالية في إزالة المغذيات. استخدمت مياه الفضلات المدنية الخارجة من قسم هندسة البيئة لتجهيز نموذج الـ A2O المختبري بمعدل دفق مقداره 0.6ml/sec وبمعدل مكوث للحماة (SRT) يقدر بـ 12d. تعمل المنظومة على ثلاث نسب مختلفة للتدوير الداخلي (IR) وثلاثة للتدوير الخارجي وكانت الأحجام الفعالة للمفاعلات اللاهوائية وقليلة التهوية والهوائية L(6.4 و 8.65 و 17.21) على التوالي. أظهرت النتائج أن النسب المئوية للتدوير الداخلي ذات تأثير كبير على عملية الإزالة البيولوجية للنتروجين وتعتبر دالة لها وان العلاقة بينهما عكسية حيث انه بزيادة نسبة التدوير الداخلي تقل تركيز النتروجين في دفق المياه الخارج، بينما كان للتدوير الخارجي تأثير كبير على عملية الإزالة البيولوجية للفسفور وتعتبر دالة لها وان العلاقة بينهما طردية حيث انه بزيادة نسبة التدوير الخارجي تزداد كفاءة إزالة الفسفور، بينما لم يكون لنسب التدوير الداخلي والخارجي تأثير معنوي على كفاءة إزالة كلا من الأمونيا والـ COD ووفقاً لنتائج البحث فقد حققت منظومة الـ A2O افضل كفاءة إزالة للمواد العضوية المتمثلة بالـ COD والفسفور بشكل فوسفات أحادية والأمونيا (85.7 %، و 93.5 %، و 92.4 %) على التوالي مع تلبية دفق مطابق للمعايير العراقية لتصريف مياه الفضلات إلى الأنهار لجميع المركبات العضوية والفسفورية والنتروجينية.

الكلمات المفتاحية:

الإزالة البيولوجية المعززة للفسفور; تدوير داخلي; تدوير خارجي; المعالجة البيولوجية لإزالة المغذيات; A2O.

<https://rengj.mosuljournals.com>

Email: alrafidain_engjournal1@umosul.edu.iq

1. المقدمة INTRODUCTION

اعتبرت مياه الفضلات لزمن طويل تهديد كامن للصحة وإزعاج للتجمعات العمرانية. وقد بدأ القلق يتزايد منذ القرن الماضي حول نوعية المياه الطبيعية التي تستقبل مياه الفضلات غير المعالجة، إذ يؤثر تدفق مثل هذه المياه في نوعية المياه الطبيعية وسلامة الحياة المائية فيها. لذلك ظهرت الحاجة إلى معالجة هذه المطروحات وخفض تركيز الملوثات فيها وتحسين نوعيتها إلى حد يؤهلها للطرح إلى الموارد المائية أو لغرض إعادة استخدامها بعد المعالجة. ومع النمو السريع للمدن تزايدت الحاجة إلى إنشاء محطات معالجة مياه الفضلات ذات كفاءات إزالة أفضل، حيث تعتبر هذه المحطات بنى تحتية حضرية تعيد إنتاج عمليات التنقية الذاتية التي تحدث بشكل طبيعي في الموارد المائية بطريقة مسيطر عليها.

ان الغرض من معالجة مياه الفضلات هو فصل الماء عن الشوائب التي تتألف من مواد عضوية ولا عضوية (معدينية)، وقد تتواجد بشكل مواد عالقة وذائبة وتكون المواد العالقة قابلة للترسيب جزئياً أو غير قابلة للترسيب مثل الغرويات وأشباهاها، بالإضافة للمواد الطافية مثل الدهون والزيوت. وقد انحسرت أساليب معالجة مياه الفضلات في بادئ الأمر بالمعالجات الفيزيائية البسيطة كالترسيب والترشيح ثم تطورت تدريجياً مروراً بالمعالجات الكيميائية لتصل إلى المعالجة البيولوجية التي أصبحت من أهم وأكثر أساليب المعالجة انتشاراً في الوقت الحاضر، والتي تستخدم لإزالة المواد العضوية والمغذيات (النترجين والفسفور). وكما في مسيرة تطور أساليب المعالجة الأخرى فقدت ابتدأت المعالجات البيولوجية بأنظمة بسيطة ثم تطورت تدريجياً لتصل إلى نظام الحمأة المنشطة (Activates Sludge) بأشكالها المتعددة والتي أصبحت مع مرور الزمن من أكثر أنظمة المعالجة البيولوجية انتشاراً في العالم وذلك لسهولة إنشائها والمرونة العالية في تشغيلها.

تطورت أنظمة الحمأة المنشطة كحال بقية أنظمة المعالجة البيولوجية، من أسلوب التشغيل بالدفعات (Batch Reactor) إلى أسلوب الجريان المستمر (Continuous Flow Reactor) الذي أصبح سائداً في السنوات اللاحقة وذلك لسهولة تشغيله مقارنة بأسلوب الدفعات إذ تدخل المطروحات في هذا النظام بصورة مستمرة إلى وحدات الحمأة المنشطة، حيث تستهلك البكتريا غير الذاتية التغذية (Heterotrophic) المواد العضوية كغذاء لها وتحولها إلى النواتج النهائية لعمليات التمثيل الغذائي وهي غاز ثاني أكسيد الكربون والماء والطاقة. ويتم الاستعانة بحوض الترسيب الثانوي لغرض عزل الحمأة عن المياه المعالجة ومن ثم يتم ترجيع نسبة من الحمأة إلى المنظومة البيولوجية وبذلك تتوفر الكتلة الحية النشطة المستقرة والتي تسرع من عملية المعالجة البيولوجية وتزيد كفاءتها [1].

يسبب النترجين مشاكل بيئية كثيرة للمصادر المائية المستقبلية له، فالأومونيا (شكل النترجين الأكثر تواجداً في مياه الفضلات الخام) والتي تعد سامة لبعض الأحياء المائية حتى ولو كانت بتركيز قليلة، وتسبب عملية أكسدة الأمونيا إلى نترت وتتراث إلى استنفاد الأوكسجين المذاب في الموارد المائية، ولأجل ذلك فقد برزت الحاجة إلى إدخال عملية النترجة في المعالجة البيولوجية، ففي ستينات القرن الماضي أصبح واضحاً ان النترات الناتجة من عملية النترجة يمكن ان تستخدم بواسطة بعض أنواع بكتريا Heterotrophic كمستقبل للإلكترون بدلاً من الأوكسجين وتتحول إلى غاز النترجين الذي بدوره ينتقل إلى الهواء الجوي بفعل عملية التبادل الغازي، الأمر الذي تطور إلى ما يعرف الآن بنظام النترجة-إزالة النترجة للحمأة المنشطة. وباعتماد هذا الأسلوب أصبح نظام الوسط المعلق للحمأة المنشطة هو المفضل في معالجة مياه الفضلات. وبهذا التطوير أصبحت وحدات الحمأة المنشطة القادرة على إزالة النترجين في ازدياد مطرد.

ومع انتشار مشكلة "الإثراء الغذائي" في المسطحات المائية أصبحت عملية إزالة النترجين وحدها ليست كافية للسيطرة على هذه الظاهرة، وبرزت الحاجة إلى إزالة الفسفور الذي يعتبر العنصر المحدد الرئيس لهذه العملية، مما دفع ذلك إلى تطوير عمليات إزالة الفسفور والنترجين من مياه الفضلات من خلال التحكم بالظروف المحيطة لتعزيز الآليات البيولوجية والفيزيوكيميائية المسؤولة عن إزالة المغذيات [2].

ومن هنا تأتي أهمية استخدام عمليات المعالجة البيولوجية للمغذيات ((Biological Nutrient Removal (BNR) لازالة المغذيات من مياه الفضلات المدنية، والتي تعد منظومة الـ A2O واحدة من أكثر أنظمة EBPR المستخدمة على نطاق واسع وذلك لبساطة تشغيله وانخفاض متطلبات التهوية (انخفاض الكلفة التشغيلية) والجودة العالية للحمأة الناتجة المتمثلة بقابليتها على الترسيب [3] والكفاءة العالية في إزالة المغذيات حيث تتراوح كفاءة إزالة المادة العضوية المتمثلة بالـ COD والأومونيا والنترجين الكلي والفسفور (85-93، 96-98، 75-89، 85-98)، على التوالي [4]، [5]، [6]، [7]، [8]، [9]، [10]، [11] والموضحة في الشكل (1). يتأثر نظام المعالجة البيولوجية للمغذيات من نوع A2O بالعوامل التالية:

1- نسبة التدوير الداخلي (تدوير المزيج السائل من المفاعل الهوائي إلى المفاعل قليل التهوية) (IR-Internal Recycle Ratio): وهي نسبة التصريف المدور من المفاعل الهوائي إلى المفاعل قليل التهوية/تصريف دق المياه الداخل إلى المنظومة. ان زيادة نسبة IR يؤدي إلى زيادة كفاءة إزالة النترجين الكلي. ان المدى المثالي لـ IR لتشغيل نظام A2O يتراوح بين (0.3-1) وان النسبة المثالية لـ IR هي (2) [8]، [11]، [12].

المفاعل	(L)	المكوث الهيدروليكي (hr)	(cm)	(cm)	(cm)
الهوائي	17.21	8.6	17	25	40
قليل التهوية	8.65	1.6	17	25	20.4
اللاهوائي	6.4	2	17	25	15.1

أما حوض الترسيب الموضح في الشكل (4) فقد تم تصنيعه من مادة البلاستيك ويتكون من حوض اسطواني يحتوي في أسفله على تركيب مخروطي صغير يهدف إلى تجميع الحمأة المترسبة. تم تثبيت وقت التعويق الهيدروليكي للحوض ولكل المراحل التشغيلية ليكون أربع ساعات في حين كانت قيمة معدل الطفح السطحي (SOR- Surface Overflow Rate) مساوية لـ $(1.6971 \text{m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{day})$. ولغرض تقليل الاضطراب الحاصل نتيجة دخول المياه إلى حوض الترسيب فقد تم تجهيز الحوض بمدخل (Inlet) خاص مصنع من مادة البلاستيك والمطاط لتغذية حوض الترسيب بمزيج سائل الحمأة المنشطة (Mixed Liquor) القادمة من حوض التهوية، كما ويحتوي حوض الترسيب على فتحة خروج لغرض دراسة خصائص الماء الخارج بعد الترسيب الثانوي من المنظومة. أما منظومة الترجيع فقد تم استخدام نوعين من منظومات الترجيع، منظومة الترجيع الأولى خارجية يتم فيها ترجيع الحمأة المنشطة من حوض الترسيب الثانوي إلى المفاعلات البيولوجية. أما المنظومة الثانية (الداخلية) فيتم فيها ترجيع المزيج من المنطقة الثالثة الهوائية إلى المنطقة الثانية قليلة التهوية في المفاعلات البيولوجية التي تعمل بمنظومة A2O. وتم اعتماد ثلاث نسب لترجيع الحمأة خارجياً وهي (20-40-60)% من التصريف الداخل للمنظومة، وثلاث نسب لترجيع مزيج الحمأة داخلياً وهي (100-200-300)% من التصريف الداخل.

تكونت منظومة الترجيع الأولى والتي تعمل على ترجيع الحمأة من حوض الترسيب إلى المفاعل اللاهوائي من مضخات صغيرة (12 فولت) مثبتة في التركيب المخروطي في أسفل حوض الترسيب، ويتم التحكم بتشغيل هذه المضخات من خلال منظومة سيطرة إلكترونية تعمل بشكل أوتوماتيكي كامل من خلال مجموعة من المؤقتات المبرمجة (Programmable Timers) التي تسيطر على مدد تشغيل وإطفاء المضخات التي يمكن من خلالها تحديد كمية ونسبة الحمأة الراجعة من حوض الترسيب إلى المفاعل اللاهوائي مباشرة. كذلك تحتوي منظومة الترجيع في الوحدة الاختبارية على مجموعة من الصنابير المطاطية ومحمل خاصة لحوض الترسيب ودوارق لتجميع دفق المياه الخارج.

أما منظومة الترجيع الثانية الداخلية والتي تخص المفاعلات البيولوجية التي تعمل بمنظومة A2O فتعمل على ترجيع المزيج

2- نسبة التدوير الخارجي (the sludge return ratio (RAS)): وتمثل النسبة بين التصريف المدور من حوض الترسيب الثانوي إلى المفاعل اللاهوائي/تصريف الدفق الداخل إلى المنظومة. ان انخفاض نسبة RAS يؤدي إلى زيادة كفاءة إزالة الفسفور. ان المدى المثالي لـ RAS لتشغيل نظام A2O يتراوح بين (0.6-0.15) وان النسبة المثالية لـ RAS هي (0.2) [3]، [12].

3-pH: ان المدى المثالي لـ pH لحصول عملية الإزالة البيولوجية المعززة للفسفور يتراوح بين (7-8) [13]، [14]، [15]، [16].

4- درجة الحرارة: تزداد فعالية عملية الـ EBPR بانخفاض درجة حرارة مياه الفضلات. ان المدى المثالي لدرجة الحرارة لحصول عملية الـ EBPR يتراوح بين $10-20^\circ\text{C}$ [17]، [18]، [19]، [20]، [21].

5- زمن مكوث الحمأة (SRT) Solid retention time: ان المدى المثالي لزمن مكوث الحمأة SRT لحصول عملية الـ EBPR يتراوح بين (10-20)d [22]، [23]، [24].

6- نسبة COD/P: ان المدى المثالي لنسبة COD/P لحصول عملية الـ EBPR يتراوح بين 10-20 [17]، [24]، [25].

7- تركيز الأوكسجين المذاب في المفاعل الهوائي وقليل التهوية (DO): ان المدى المثالي لتركيز DO في المفاعل الهوائي لحصول عملية الـ EBPR يتراوح بين $2-3 \text{mg/L}$ [3]، [26]. بينما المدى المثالي لتركيز DO في المفاعل قليل التهوية لحصول عملية الـ EBPR يتراوح بين $0.15-0.5 \text{mg/L}$ [27]، [28]، [29].

أهداف البحث

- 1- دراسة كفاءة أداء منظومة الـ A2O في إزالة المركبات العضوية والفسفورية والنيتروجينية.
- 2- دراسة تأثير كلا من نسبي التدوير الداخلي والخارجي على كفاءة أداء منظومة الـ A2O.

2. طرائق العمل MATERIALS AND METHODS

ان من الأمور المهمة في العمل المختبري هي تصميم حجم ونوع المفاعلات المستخدمة في المحطة الاختبارية، وقد تم في هذه الدراسة تصميم المفاعلات المختبرية وفق المحددات والمعاملات الحركية والطريقة المقترحة في [3] وبعد الانتهاء من الحسابات الرياضية للتصميم، تم تصنيع المفاعلات الاختبارية من مادة الزجاج بسمك 4mm، كما تم تحديد ارتفاع أمأن [free board (FB)] مقداره 10cm لمنع طفح محتويات المفاعل (mix liquor) إلى الخارج أثناء عمل المفاعلات الاختبارية وكما في الشكل (2) والشكل (3)، والموضحة أبعادها في الجدول (1).

الجدول (1) المعاملات التصميمية للمحطة الاختبارية

نوع	الحجم	زمن	الارتفاع	العرض	الطول
-----	-------	-----	----------	-------	-------

في الجدول (2)، ولم يتم الانتقال من مرحلة تشغيلية إلى أخرى إلا بعد استقرار المعالجة البيولوجية، وتم الاستدلال على حالة الاستقرار من خلال ثبوت كل من كفاءة المعالجة وتركيز الأحياء المجهرية فيها [31].

الجدول (2) المراحل التشغيلية للوحدات الاختبارية

التدوير الداخلي %	الجولات	التدوير الخارجي %	المراحل التشغيلية
100	1	20	الأولى
200	2		
300	3		
100	1	40	الثانية
200	2		
300	3		
100	1	60	الثالثة
200	2		
300	3		

وقد تم في هذا البحث إجراء عدد من الفحوصات المختبرية وبمعدل 6 أيام في الأسبوع لمدة عام كامل وكما في الجدول (3)، وبالاعتماد على الطرائق القياسية المعتمدة في [32] وكما يلي:

1- فحص تركيز المواد الصلبة العالقة في المزيج السائل (MLSS) والمتطايرة (MLVSS): تم هذا الفحص باستخدام ورق ترشيح عديم الرماد (Ash Less Paper) وجهاز ضغط تخلخلي (Vacuum) وميزان إلكتروني دقيق 0.0001 غرام وفرن تجفيف وفرن حرق بدرجة 550°C وتم العمل حسب الفقرة (2540A)، (2540D).

2- فحص المتطلب الكيميائي للأوكسجين COD: تم هذا الفحص بطريقة Closed Reflux Titrimetric Method وحسب الفقرة (5220A).

3- فحص المتطلب الحيوي للأوكسجين BOD₅: تم هذا الفحص باستخدام جهاز Lovibond® OxiDirect BOD meter.

4- فحص تركيز الأمونيا Ammonia NH₃-N: تم إجراء عملية الفحص باستخدام طريقة نسلر (Nesslerization Method) ((direct and following distillation)) بالاعتماد على الطريقة اللونية المعتمدة على محاليل قياسية مع استخدام جهاز Spectrophotometer وحسب الفقرة (417 B) وعُبر عن تركيز الأمونيا بوحدة mg/L.

5- فحص تركيز النترات Nitrate NO₃-N: فحصت النماذج باستخدام جهاز Ultra Violet Spectro Photometer (Screening Method) وبإضافة حامض الهيدروكلوريك بعد

من المفاعل الهوائي (Aerobic Reactor) إلى المفاعل قليل التهوية (Anoxic Reactor)، كذلك تم السيطرة على تشغيل هذه المضخات من خلال منظومة سيطرة إلكترونية تعمل بشكل أوتوماتيكي كامل من خلال مجموعة من المؤقتات المبرمجة التي تسيطر على فترات تشغيل وإطفاء المضخات. ان الهدف من عملية الترجيع الداخلية هي لإعادة النترات التي تم إنتاجها في المفاعل الهوائي عن طريق أكسدة الأمونيا لغرض اختزالها إلى غاز النتروجين فتختزل النترات في المفاعل قليل التهوية، لتوفر المواد العضوية في المياه الداخلة إلى المفاعلات البيولوجية. ولغرض توفير التهوية والمزج اللازمين لتشغيل المفاعلات البيولوجية الاختبارية، فقد تم استخدام أسلوب التهوية الناشرة (Diffused Aeration) كونها الأوسع انتشاراً فضلاً عن سهولة استخدامها وكفاءتها مقارنة مع بقية الطرق [3]، [30] حيث استخدمت مضخات تهوية تجارية من نوع (RS 610) وذات تصريف للهواء مقداره حوالي 110 ± 10ml/min.

تم إيصال الهواء من المضخات إلى المفاعلات الاختبارية عن طريق استخدام أنابيب مرنة مصنوعة من مادة البلاستيك بقطر 3-5mm مرتبطة بناشرات هواء حجرية (porous ceramic stones) يبلغ طولها حوالي 12cm وقطرها 1cm ووضعت بواقع ناشرتين في المفاعل الهوائي. تم وضع ناشرات الهواء داخل المفاعل الاختباري بطريقة تضمن تحقيق المزج الكامل وتوفير توزيع متساوٍ لتركيز الأوكسجين المذاب داخل حوض التهوية، وتم تثبيتها على قعر الحوض وبشكل جانبي. ان هذه الطريقة تعمل على أحداث حركة دورانية حلزونية ودوامات دائرية عمودية وبشكل منظم وهذا بدوره يقلل من تكوين ما يسمى بالمناطق الميتة (dead zone) التي تحدث في زوايا المفاعل البيولوجي الاختباري، مع توفير محتوى جيد ومتساوي من الأوكسجين المذاب. أما بالنسبة لبقية المفاعلات البيولوجية فقد تم المزج بواسطة المازجة المغناطيسية، واعتماد أسلوب التشغيل المستمر (Continuous flow) للوحدة الاختبارية لتمثيل عمل هذا الأسلوب مع عمل محطات معالجة مياه الفضلات الكبيرة التي تعمل في معظمها بهذا الأسلوب.

وقد تم تشغيل العملية اللاهوائية-قليلة التهوية-الهوائية (A2O) للإزالة البيولوجية للمغذيات على نطاق مختبري وبشكل مستمر لأكثر من 12 شهراً في المختبر عند درجة الحرارة (20±3)°C. كان معدل الدفق الداخل وزمن مكوث الحمأة (SRT) 48L/d و12d على التوالي، وتم التحكم بزمن مكوث الحمأة بواسطة كمية الحمأة المطروحة من حوض الترسيب وتم الحفاظ على تركيز للأوكسجين المذاب (DO) في المفاعل الهوائي بحدود 2-3mg/L. تم تشغيل أحواض المعالجة البيولوجية للمحطة الاختبارية بواقع ثلاث مراحل وكل مرحلة تتكون من ثلاث جولات. وكما موضح

3. النتائج والمناقشة RESULTS AND DISCUSSIONS

3-1 دراسة أداء منظومة الـ A2O عند نسب تدوير داخلي

وإخارجي مختلفة

لقد تم دراسة تأثير تغاير نسب التدوير الداخلي باستخدام ثلاث نسب (100، 200، 300)% وتغاير نسب التدوير الخارجي باستخدام ثلاث نسب (20، 40، 60)% على تركيز النترات في دفق المياه الخارج وكفاءة إزالة كلا من الفسفور والأمونيا والـ COD. وقد بينت الدراسة ما يلي:

3-1-1 إزالة المركبات النتروجينية المتمثلة بالنترات

يلاحظ من الشكل (5) الذي يوضح العلاقة ما يلي:

1- ان العلاقة بين نسبة التدوير الداخلي وتركيز النترات في دفق المياه الخارج عكسية ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة كمية النترات ($\text{NO}_3\text{-N}$) المتاحة لعملية إزالة النتجة وذلك بسبب زيادة حجم المزيج السائل الغني بالنترات المدور من المفاعل الهوائي إلى المفاعل قليل التهوية الذي يتحد مع دفق المياه الغني بالمادة العضوية ليحافظ على الحالة المثلى لنمو بكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophs التي تقوم بعملية إزالة النتجة وتستخدم النترات كمستقبل للإلكترون بدلا من الأوكسجين المستخدم (حيث ان كل 1 ملغم من الـ $\text{NO}_3\text{-N}$ يعادل 2.86 ملغم من الأوكسجين) بواسطة بكتريا إزالة النتجة في الظروف قليلة التهوية [3]، [8]، [11]، [12] كما ان نتائج هذا البحث تتوافق مع النتائج [3] والتي تنص على ان: نسبة التدوير الداخلي من 200-300% تنتج تراكيز نترات في دفق المياه الخارج ضمن المدى 6-11 mg/L باستخدام دفق مياه داخل معدل تركيز الأمونيا له 22 mg/L بالإضافة إلى اتفاقها مع نتائج [33]، [34].

2- وان العلاقة تكون عكسية أيضا بين تركيز النترات في دفق المياه الخارج ونسبة التدوير الخارجي أي ان تركيز النترات يتناقص مع زيادة نسبة التدوير الخارجي وتعزى هذه الظاهرة إلى ان عملية التدوير الخارجي تجلب كتلة حيوية أكثر نشاطا من سابقتها إلى المنظومة الاختبارية وتعتبر هذه الكائنات العنصر الرئيسي في نظام المعالجة ويمكنها أن تتغذى مرة أخرى على المغذيات (المركبات العضوية والنتروجينية والفسفورية) بمعدل اكبر من الكائنات الحية المجهرية الأولية في المنظومة الاختبارية [3]، [35].

كما ويلاحظ من الشكل (6) الذي يبين انخفاض درجة ميل العلاقة بين نسبة التدوير الداخلي وتركيز النتروجين بشكل نترات في دفق المياه الخارج بزيادة نسبة التدوير الداخلي حيث يكون مقداره 0.0277 عند نسبة التدوير الداخلي من 100-200% بينما يكون مقداره 0.0074 عند نسبة التدوير الداخلي من 200-300% اي ان الميل الاول يعادل 4 اضعاف الميل الثاني وهذا يعني انه بزيادة هذه نسبة التدوير عن 200% تصبح العلاقة غير معنوية واقرب إلى الخط المستقيم وهذا يتوافق مع نتائج [12].

أجراء التخفيف على النماذج وعبر عن تركيز النترات mg/L وحسب الفقرة (B-4500).

6- فحص الفوسفات Phosphate Test: تم إجراء عملية الفحص باستخدام جهاز (Ultra Violet Spectro Photometer Screening Method) وبطريقة كلوريد القصديروز Stanous Chloride Method وحسب الفقرة (E 424).

7- قياس درجة الحرارة Degree OF Temperature: تمت مراقبة درجة الحرارة في المفاعلات الاختبارية باستخدام محرار زئبقي يعمل بنظام المثوية وبدقة (0.1°C)

8- قياس الرقم الهيدروجيني PH: تمت مراقبة وقياس الرقم الهيدروجيني باستخدام (PH - Meter) يعمل بدقة 0.01 وحسب الفقرة (HB-4500)

9- قياس الأوكسجين المذاب في الماء (DO): تم قياس الأوكسجين المذاب في مياه الفضلات باستخدام جهاز DO-Meter حيث يحتوي هذا الجهاز على متحسس الكتروليتي يوضع داخل الحوض مع التحريك البسيط ليعطي قراءة لكمية الأوكسجين المذاب في الماء وبدقة 0.1 mg/L وحسب الفقرة (OG-4500).

10- فحص معامل الدليل الحجمي للحمأة (Sludge Volume Index (SVD): تم إجراءه باستخدام أسطوانة قياسية مدرجة سعتها (1000 ml) وساعة توقيت حسب الفحص حسب الفقرة (A-2430A).

11- فحص معدل سرعة ترسيب الحمأة (Zone Settling Test (ZST): اجري الفحص باستخدام أسطوانة قياسية مدرجة (Standard graduate cylinder) سعتها (1000) وارتفاعها (1.12 قدم) أي ما يعادل (33.6 cm) حسب [31].

الجدول (3) الفحوصات المختبرية

الوحدة	الفحوصات	موقع اخذ العينة
مياه الفضلات الداخلة إلى الوحدة الاختبارية	القاعدية، pH، Temp، DO، SCOD، BOD ₅ ، TSS، MLSS، MLVSS، PO ₄ -P، NH ₃ -N، NO ₃ -N	خزان التغذية الرئيس
المفاعلات: اللاهوائي-قليل التهوية-الهوائي	القاعدية، pH، Temp، DO، SCOD، BOD ₅ ، TSS، MLSS، MLVSS، PO ₄ -P، NH ₃ -N، NO ₃ -N	الوحدة الاختبارية
حوض الترسيب	القاعدية، pH، Temp، SVI	الوحدة الاختبارية
مياه الفضلات المعالجة	القاعدية، pH، Temp، DO، SCOD، BOD ₅ ، TSS، PO ₄ -P، NH ₃ -N، NO ₃ -N	الوحدة الاختبارية

إذا نستنتج من العلاقات اعلاه ان كفاءة إزالة الـ COD لا تتأثر بزيادة أو نقصان كلا من نسبة التدوير الداخلي ونسبة التدوير الخارجي بشكل معنوي وهذا يوافق كلا من [3]، [8]، [12].

2-3 كفاءة منظومة الـ A2O الاختبارية في إزالة النترات

والفسفور والامونيا والـ COD

بضوء نتائج البحث فقد كانت افضل كفاءة إزالة للمواد العضوية المتمثلة بالـ COD والفسفور بشكل فوسفات أحادية والنتروجين بشكل أمونيا: 85.7 %، و93.5%، و92.4% على التوالي وهذا يوافق نتائج كلا من [4]، [5]، [6]، [7]، [8]، [9]، [10]، [11]، [24] مع تلبية دقق المياه الخارج للمعايير العراقية لتصريف مياه الفضلات إلى الأنهار لجميع المركبات العضوية والفسفورية والنتروجينية وكما في الجدول (5).

الجدول (5) المحددات العراقية لتصريف مياه الفضلات إلى

الأنهار [36] (جميع النتائج هي بـ mg/L عدا ما مؤشر إزاؤه)

ت	الخاصية	معدل نتائج الدراسة	المحددات العراقية
1	المتطلب البيوكيميائي للأكسجين BOD ₅	6	40
2	المتطلب الكيميائي للأكسجين COD	30	100
3	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS	1	60
4	الفسفور بشكل فوسفات أحادية PO ₄ -P	0.1	3
5	النتروجين بشكل نترات NO ₃ -N	7	11.2
6	الرقم الهيدروجيني pH (unit)	8.2	6-9.5

4. الاستنتاجات CONCLUSIONS

1- أظهرت النتائج تغيرا في تركيز النترات في دقق المياه الخارج عند تغاير نسب التدوير الداخلي وانه بزيادة نسبة التدوير الداخلي من 100 إلى 200% تزداد الكفاءة بمقدار 4 أضعاف تلك التي تحدث بزيادة النسبة من 200 إلى 300%، وان العلاقة بين كفاءة إزالة النترات ونسبة التدوير الداخلي تصبح غير معنوية عند زيادة نسبة التدوير الداخلي عن 200%.

2- وجد ان العلاقة بين كفاءة إزالة الفسفور بشكل فوسفات أحادية وكلا من نسبتي التدوير الداخلي والخارجي خطية وبمعامل ارتباط قيمته اكبر من 0.75، كما وجد من اختبار ANOVA ان العلاقة بين كفاءة إزالة الفسفور ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي معنوية وذلك لان قيمة P كانت اقل من 0.05.

3- ان العلاقة بين كفاءة إزالة الأمونيا والـ COD مع نسبتي التدوير الداخلي والخارجي غير معنوية، وان كفاءة إزالة الأمونيا أو الـ COD لا تتأثر بشكل ملحوظ بزيادة أو نقصان كلا من نسبة التدوير الداخلي ونسبة التدوير الخارجي المعتمدة في الدراسة.

4- حققت منظومة الـ A2O الاختبارية معدل كفاءة إزالة للمواد العضوية المتمثلة بالـ COD والفسفورية المتمثلة بالفوسفات الأحادية والأمونيا بحدود: 85.7 %، و93.5%، و92.4% على التوالي، مع تلبية دقق المياه الخارج للمعايير العراقية لتصريف مياه

إذا نستنتج من اعلاه ان كفاءة إزالة النترات تزداد بزيادة كلا من نسب التدوير الداخلي والخارجي.

3-1-2 إزالة المركبات الفسفورية المتمثلة بالفوسفات الأحادية

يبين من الشكل (7) الذي يبين العلاقة ما يلي:

1- ان العلاقة بين كفاءة إزالة الفسفور ونسبة التدوير الداخلي طردية ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة كمية نترات (NO₃-N) المتاحة لعملية إزالة النترجة التي تحدث بواسطة البكتريا المراكمة للفسفور (PAOs) وذلك بسبب زيادة حجم المزيج السائل الغني بالنترات المدور من المفاعل الهوائي إلى المفاعل قليل التهوية الذي يتحد مع دقق المياه الغني ببكتريا الـ PAOs ليزيد من معدل النمو وامتصاص الفسفور لبكتريا الـ PAOs في المفاعل قليل التهوية التي تستخدم النترات كمستقبل للإلكترون بدل من الأوكسجين [3]، [36].

الداخلي والخارجي

2- ان العلاقة بين كفاءة إزالة الفسفور ونسبة التدوير الخارجي طردية اي ان الكفاءة تزداد بزيادة نسبة التدوير الخارجي وتعزى هذه الظاهرة إلى ان عملية التدوير الخارجي تجلب كتلة حيوية اكثر نشاطا من سابقتها إلى المنظومة الاختبارية [3]، [29]، [35].

إذا نستنتج من اعلاه ان كفاءة إزالة الفسفور تزداد بزيادة كلا من نسب التدوير الداخلي والخارجي.

3-1-3 إزالة المركبات النتروجينية المتمثلة بالأمونيا

يبين من الشكل (8) الذي يبين ما يلي:

ان ميل المعادلة لنسب التدوير الداخلي والخارجي المختلفة هو (-0.0035، -0.0043، -0.0033) على التوالي أي ان مقدار التغير في كفاءة إزالة الأمونيا هي 0.35 عند زيادة نسبة التدوير الخارجي من 20 إلى 40% عند نسبة التدوير الداخلي 100%، و0.43 عند نسبة التدوير الداخلي 200%، و0.33 عند نسبة التدوير الداخلي 300% وهو فرق غير معنوي.

إذا نستنتج من العلاقات اعلاه ان كفاءة إزالة الأمونيا في المنظومة الاختبارية لا تتأثر بزيادة أو نقصان كلا من نسبة التدوير الداخلي ونسبة التدوير الخارجي بشكل معنوي وهذا يوافق كلا من [3]، [12].

3-1-4 إزالة المركبات العضوية المتمثلة بالـ COD

يبين من الشكل (9) ما يلي:

يلاحظ من الشكل أعلاه ان ميل المعادلة لنسب التدوير الداخلي والخارجي المختلفة هو (0.0005، 0.0003، 0.0003) على التوالي أي ان مقدار التغير في كفاءة إزالة الفسفور هي 0.05 عند زيادة نسبة التدوير الخارجي من 20-40% وهو فرق غير معنوية (غير ذا تأثير).

[7] Lim, E., Jeong, G., Bhang, S., Park, S. and Park, D., (2009), "Evaluation of pilot-scale modified A2O processes for the removal of nitrogen compounds from sewage," *Bioresource Technology*, Vol. (100), Pp. 6149–6154.

[8] Yu, J. And Zhou, S. (2010), "Nitrogen Removal Efficiency Of An A2/O Bio-Reactor Treating Domestic Sewage Mixed With Landfill Leachate And Fecal Sewage", *Global Nest Journal*, Vol. (12), No. (2), Pp. 181-189.

[9] Zeng, W., Lei L., Ying-Ying, Y., Xiang-Dong, W. And Yong-Zhen, P. (2011), "Denitrifying Phosphorus Removal And Impact Of Nitrite Accumulation On Phosphorus Removal In A Continuous Anaerobic–Anoxic–Aerobic (A2O) Process Treating Domestic Wastewater," *Enzyme And Microbial Technology*, Vol. (48), Pp. 134–142.

[10] Brown, P., Keeongb, S. And Leec, Y. (2011), "Influence Of Anoxic And Anaerobic Hydraulic Retention Time On Biological Nitrogen And Phosphorus Removal In Membrane Bioreactor," *Desalination*, Vol. (270), Pp. 227-232

[11] Yan, Xu., Han, Y., Li, Q., Suna, J. And Sua X. (2016), "Impact of Internal Recycle Ratio on Nitrous Oxide Generation from Anaerobic/Anoxic/Oxic Biological Nitrogen Removal Process," *Biochemical Engineering Journal* Vol. (106), Pp.11–18.

[12] Baeza, J. A., Gabriel, D. And Lafuente, F. J. (2004), "Effect of Internal Recycle on the Nitrogen Removal Efficiency of an Anaerobic/Anoxic/Oxic (A2/O) Wastewater Treatment Plant (WWTP)," *Process Biochemistry*, Vol. (39), Pp. 1615–1624.

[13] Weissbrodt, D., Schneiter, G., Fürbringer, J. And Holliger, C. (2013), "Identification Of Trigger Factors Selecting For Polyphosphate- And Glycogen-Accumulating Organisms In Aerobic Granular Sludge Sequencing Batch Reactors," *Water Research*, Vol. (47), No. (19), Pp. 7006–7018.

[14] Fukushima, T., Onuki, M., Satoh, H. And Mino, T. (2010), "Effect Of PH Reduction On Polyphosphate- And Glycogen-Accumulating Organisms In Enhanced Biological Phosphorus Removal Processes," *Water Science and Technology*, Vol. (62), No. (6), Pp. 1432–1439.

الفضلات إلى الأنهار لجميع المركبات العضوية والفسفورية والنتروجينية.

5. التوصيات RECOMMENDATIONS

1- دراسة إمكانية تطوير محطات المعالجة البيولوجية المقامة فعلياً والتي تعمل بنظام الحمأة المنشطة المستمرة الجريان لتعمل بنظام الـ A2O.

2- دراسة تأثير العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والـ pH على أداء منظومة الـ A2O.

3- دراسة تأثير نسب COD/TKN, COD/TP على أداء منظومة الـ A2O.

4- دراسة تأثير زمن مكوث الحمأة على أداء منظومة الـ A2O. دراسة تأثير زمن المكوث الهيدروليكي لكل مفاعل (اللاهوائي والقليل التهوية والهوائي) على أداء منظومة الـ A2O.

6. شكر وتقدير Acknowledgements

أود أن أشكر جميع منتسبي قسم هندسة البيئة/ جامعة الموصل على مساعدتهم لنا في إنجاز هذا العمل مع فائق احترامي لكل من ساندنا لوجستياً ومعنوياً.

7. المصادر REFERENCES

[1] Karakani, F., Mahvi, A. (2005), "Wastewater Phosphorus Removal in an Intermittent Cycle Extended Aeration System," *Pakistan. J. Bio. Sci.*, Vol. (8), No. (2), Pp. 335-337

[2] Bowker, R. And Stensel, H. D. (1990), "Phosphorus Removal From Wastewater", Noyes Data Corporation, New Jersey

[3] Metcalf and Eddy (2003), "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse," Fourth Ed. McGraw-Hill Higher Education, New York, ISBN 0-07-112250-8.

[4] You, S. J., Hsu, C. L., Chuang, S.H. And Ouyang, C. F. (2003), "Nitrification Efficiency And Nitrifying Bacteria Abundance In Combined ASRBC And A2O Systems", *Water Res.*, Vol. (37), Pp. 2281–2290.

[5] Yong-zhen, P., Xiao-lian, W. and Bai-kun, L. (2006), " Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A2O process ", *Desalination*, Vol. (189), Pp. 155–164

[6] Vaiopoulou, E. And Aivasidis, A. (2008), "A Modified UCT Method for Biological Nutrient Removal: Configuration and Performance", *Chemosphere*, Vol. (72), Pp. 1062-1068.

Aeration Process," *Journal of Bioscience and Bioengineering* Vol. (103), No. (4), Pp. 338–344.

[23] Tsai, Y. and Chen, H. (2011), "Influence Of Sludge Retention Time On Tolerance Of Copper Toxicity For Polyphosphate Accumulating Organisms Linked To Poly-Hydroxy Alkanoates Metabolism And Phosphate Removal," *Bioresour Technol.* Vol. (102), Pp. 104–117.

[24] Zhu, R., Wu, M. And Yang, J. (2013), "Effect of Sludge Retention Time and Phosphorus to Carbon Ratio on Biological Phosphorus Removal in HS-SBR Process," *Environmental Technology* Vol. (34), No. (4), Pp. 429–435.

[25] Oehmen, A., Zeng, R., Keller, J. And Yuan, Z. (2007), "Modeling The Aerobic Metabolism Of Polyphosphate-Accumulating Organisms Enriched With Propionate As A Carbon Source", *Water Environment Research*, Vol. (79), No. (13), Pp. 2477-2486.

[26] Murthy, S., Novak, J., (1998), "Effects Of Potassium Ion On Sludge Settling, Dewatering And Effluent Properties," *Water Sci Tech.*, Vol. (37), Pp. 317– 324.

[27] Li, H., Chen, Y. And Gu, G. (2008), "The Effect of Propionic to Acetic Acid Ratio on Anaerobic–Aerobic (Low Dissolved Oxygen) Biological Phosphorus and Nitrogen Removal," *Bioresource Technology*, Vol. (99), No. (10), Pp. 4400–4407.

[28] Zheng, X., Tong, J., Li, H. and Chen, Y. (2009), "The Investigation of Effect of Organic Carbon Sources Addition in Anaerobic–Aerobic (Low Dissolved Oxygen) Sequencing Batch Reactor for Nutrients Removal from Wastewaters," *Bioresource Technology*, Vol. (100), No. (9), Pp., 2515–2520.

[29] Li, X., Chen, H., Hu, L., Yu, L., Chen, Y. And Gu, G. (2011), "Pilot-Scale Waste Activated Sludge Alkaline Fermentation, Fermentation Liquid Separation, And Application Of Fermentation Liquid To Improve Biological Nutrient Removal", *Environmental Science And Technology*, Vol. (45), Pp. 1834-1839.

[30] Karia, G. And Christian, R. (2006), "Wastewater Treatment: Concept and Design

[15] Filipe, C. D. M., Daigger, G. T. And Grady J. (2001), "Effects of PH on the Rates of Aerobic Metabolism of Phosphorus-Accumulating and Glycogen-Accumulating Organisms," *Water Environ. Res.*, Vol. (73), Pp. 213–222.

[16] Zhang, T., Liu, Y., Fang, H. H. P., (2005), "Effect of PH Change on the Performance and Microbial Community Of Enhanced Biological Phosphate Removal Process," *Biotechnol. Bioeng.* Vol. (92), Pp. 173–182.

[17] Panswad, T., Dounchai, A. And Anotai, J., (2003), "Temperature Effect on Microbial Community of Enhanced Biological Phosphorus Removal System", *Water Research*, Vol. (37), Pp. 409-415.

[18] Erdal, U., Erdal, Z. And Randall, C. (2003), "The Competition between PAOs (Phosphorus Accumulating Organisms) and GAOs (Glycogen Accumulating Organisms) In EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) Systems at Different Temperatures and the Effects on System Performance", *Water Science and Technology*, Vol. 47, Pp. 1-8.

[19] Whang, L. And Park, J. (2006), "Competition between Polyphosphate- And Glycogen-Accumulating Organisms in Enhanced-Biological-Phosphorus-Removal Systems: Effect of Temperature and Sludge Age", *Water Environment Research*, Vol. (78), No. (1), Pp. 4-11.

[20] Lopez-Vazquez, C., Oehmen, A., Hooijmans, C., Brdjanovic, D., Gijzen, H., Yuan, Z. And Van Loosdrecht, M. (2009), "Modeling the PAO-GAO Competition: Effects of Carbon Source, PH and Temperature", *Water Research*, Vol. (43), Pp. 450-462.

[21] Bassin, J., Winkler, M., Kleerebezem, R., Dezotti, M. And Van Loosdrecht, M. (2012), "Improved Phosphate Removal By Selective Sludge Discharge In Aerobic Granular Sludge Reactors," *Biotechnol Bioeng.* Vol. (109), Pp. 1919–28.

[22] Lee, D., Kim, M. And Chung, J. (2007), "Relationship between Solid Retention Time and Phosphorus Removal in Anaerobic-Intermittent

Activated Sludge Model", Environment Protection Engineering, Vol. (39), No. (1).

[35] Snyder, R. and Wyant, D. (2017), " Activated Sludge Process Control," State of Michigan Department of Environmental Quality Environmental Assistance Center www.michigan.gov/deq

[36] Ministry of Environment "Limits for the Regulation of the protection of Rivers and public waters from pollution", No. 25 -1967, Limits for Discharge of Sewage Effluent to Rivers.

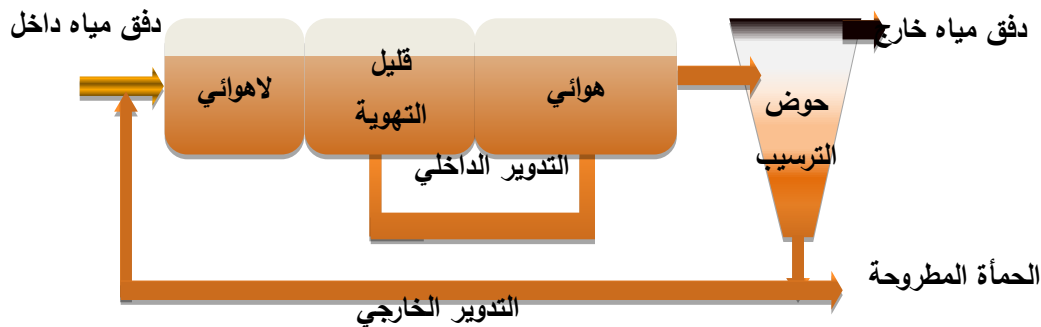
Approach", Prentice-Hall of India Private Limited New Delhi – 110001.

[31] Ramalho, R. S., (1977), "Introduction to Wastewater Treatment Process", Academic Press, Inc., Canada.

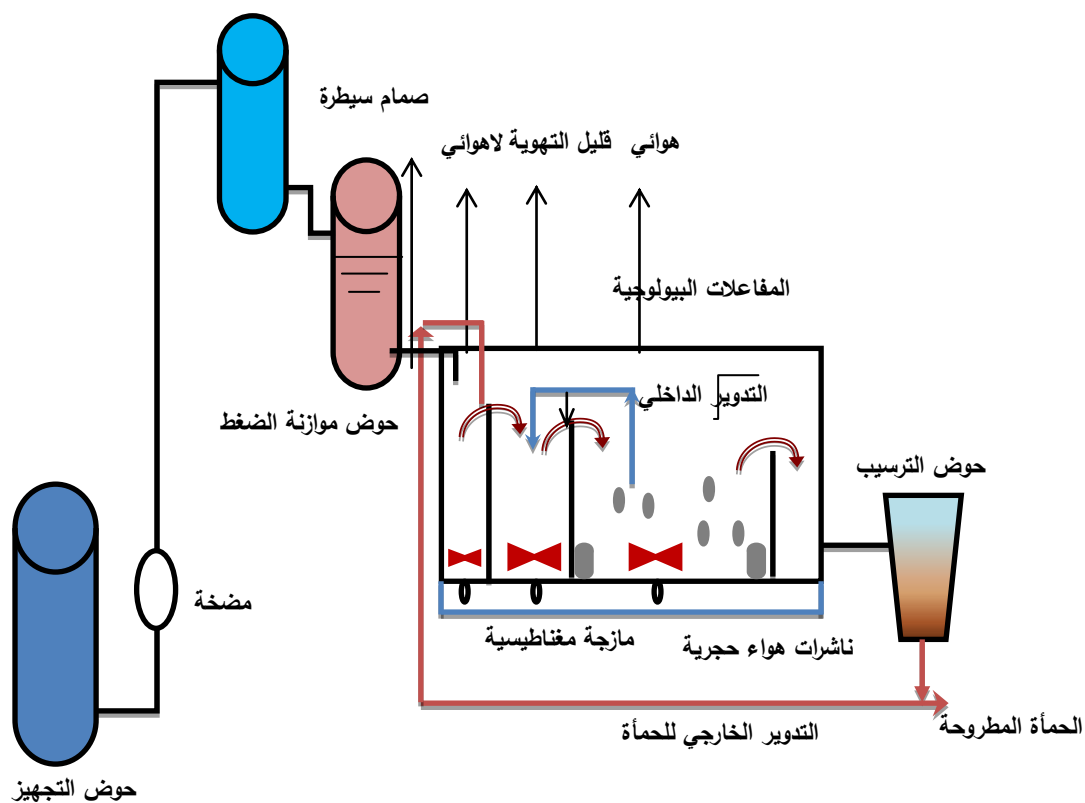
[32] APHA, AWWA and WPCF. (1998), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th Edition, American Public Health Association, American, Washington, D.C. USA.

[33] Pai, T.Y., Tsai, Y.P., Chou, Y.J., Chang, H.Y., Leu, H.G. and Ouyang, C.F. (2004), "Microbial Kinetic Analysis of Three Different Types of EBNR Process", Chemosphere, Vol. (55), No. (1), Pp. 109-118.

[34] Liwarska-Bizukojc, E., BIERNACKI, R., DOROTA GENDASZEWSKA, D. and LEDAKOWICZ, S. (2013), "Improving The Operation Of The Full Scale Wastewater Treatment Plant With Use Of A Complex



الشكل (1) منظومة الحمأة المنشطة نوع A2O



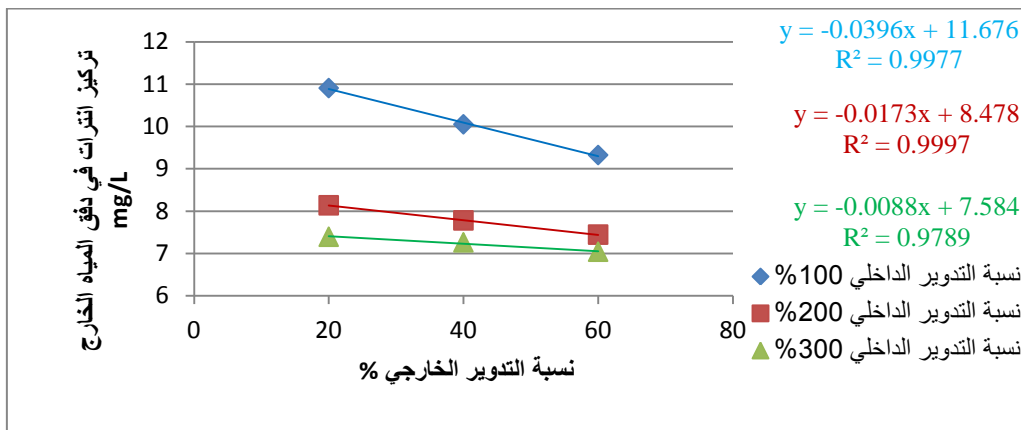
الشكل (2) مخطط المحطة الاختبارية



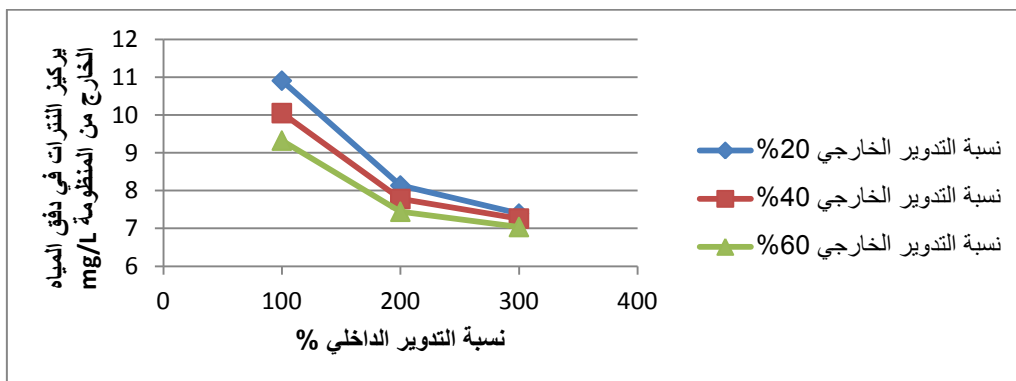
الشكل (3) المفاعلات البيولوجية للمنظومة الاختبارية



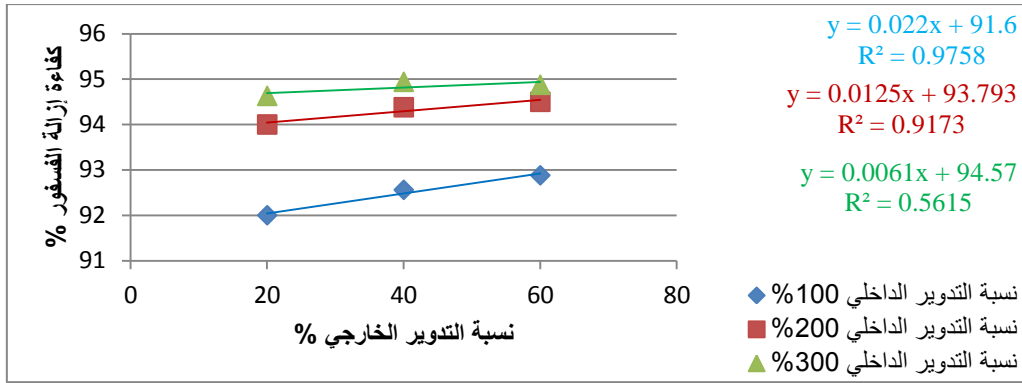
الشكل (4) صورة لحوض الترسيب



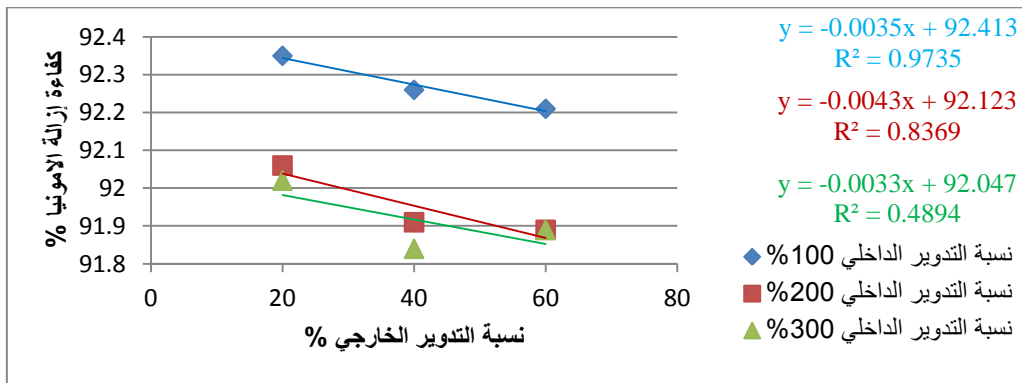
الشكل (5) العلاقة بين تركيز النتروجين بشكل نترات في دفق المياه الخارج ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي



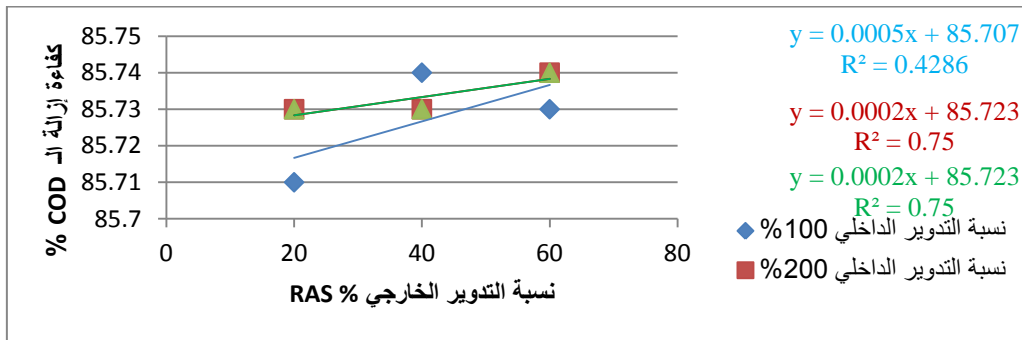
الشكل (6) العلاقة الفعلية بين ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي وتركيز النتروجين بشكل نترات في دفق المياه الخارج



الشكل (7) العلاقة بين كفاءة إزالة الفسفور ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي



الشكل (8) العلاقة بين كفاءة إزالة الأمونيا ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي



الشكل (9) العلاقة بين كفاءة إزالة الـ COD ونسبتي التدوير الداخلي والخارجي

Evaluating the Performance of the A2O System for Removing Nutrients from Municipality Wastewater

Saja Abd al-Razzaq Mohammed*

MohAlali2762017@gmail.com

Ammar Thamir Hamad**

amthaha@yahoo.com

*, ** University of Mosul, College of Engineering, Environmental Engineering

Abstract

Nitrogen and phosphorus are essential for the growth of micro-organisms used in wastewater treatment. When a treatment system is designed to remove a quantity of nutrients, larger than the ordinary metabolism requirements of bio-cell, the operation is called biological nutrient removal BNR. The BNR system consists of two processes: the biological nitrogen removal and the enhanced biological phosphorus removal (EBPR). There are several arrangements for biological nutrient removal processing. The selection of the suitable treatment scheme depends on the characteristics of the raw wastewater, quality of treated effluent required and the economical consideration. Several studies showed that the A2O system is the most suitable among different configurations because of its simplicity in operation, low oxygen requirements (i.e. low operational cost), high efficiency of nutrient removal and a good settling characteristics of the sludge produced. A continuously flow laboratory scale of A2O was used in the current study. A raw municipal wastewater from the environmental engineering department is flowing at a rate of 0.6ml/sec. The mean cell residence time was 12 days. The experiments were conducted under three different internal cycle ratios (IR) and three returned activated sludge ratios. The effective sizes of the anaerobic, anoxic and aerobic compartments were 6.4, 8.65 and 17.21 L respectively. The results showed that the percentages of internal cycle ratio have a significant effect on the process of biological removal of nitrates while the percentage of returned activated sludge (RAS) has a significant impact on the biological removal of phosphorus. The A2O system removal efficiency of COD, orthophosphate and ammonia were: 85.7%, 93.5%, and 92.4%, respectively. The effluent quality is within the Iraqi standards with respect to organic and nutrients contents.

Keywords: A2O, Enhanced Biological Phosphorous Removal, Internal Recycle, Returned sludge, Biological Nutrient Removal