The 1st International Scientific Conference on Environment and Sustainble Development (ISCESD 2013)29-30 Dec,2013

Effect of Continuous and Intermittent Aeration Modes on the Efficiency of the Continuous Flow Extended Aeration Activated Sludge Systems

Dr. Kossay K. Al-Ahmady
Engineering College, University of Mosul / Mosul
Ammar A. Al-Sultan
Buildings and Construction Engineering Department, University of Technology / Baghdad
Email:k.alahmady@yahoo.com / amar_civileng@yahoo.com

ABSTRACT

In this research an experimental plant was constructed and operated in order to study the efficiency of the intermittent aeration activated sludge system that operated at the ratio of (On/Off aeration times) ($15_{min}/15_{min}$), ($30_{min}/30_{min}$), ($60_{min}/60_{min}$), (90min/90min) and ($120_{min}/120_{min}$) and compare their performance with the continuous flow extended aeration activated sludge. The results of the study revealed that; extended aeration reactor is more efficient in removing organic matter than the intermittent aeration reactors. At the hydraulic detention times of (24, 18 and 32), 100%, 65% and 100% of effluent readings had organic concentration less than the acceptable effluent level in compare to 75%, 60% and 80% at the (90min/90min) reactor. In comparison of On/Off aeration times, (90min/90min) reactors provide the best organic removal. All readings from the extended aeration and ($15_{min}/15_{min}$), ($60_{min}/60_{min}$), and (90min/90min) reactors were within the acceptable level for effluent suspended solids while the effluent concentrations from the ($120_{min}/120_{min}$) reactors were higher. The results also indicated that, intermittent aeration reactors are better in removing phosphorous than the extended aeration. At the detention times of 24 and 18 hours, 8% and 6% of readings from the extended aeration reactors had ($PO_4 \leq 5$ mg/l) in compare to 90% and 52% of readings from the ($60_{min}/60_{min}$) reactor. At detention time of 32 hours, 32% of readings from the extended aeration reactor had ($PO_4 \leq 2$ mg/l) in compare to 72% for the ($60_{min}/60_{min}$) reactor. Higher phosphorus removals were recorded at ($60_{min}/60_{min}$) reactors.

Keywords: Activated sludge، Hydraulic detention time, Extended aeration, Intermittent aeration, Organic removal, Phosphorus removal

https://doi.org/10.30684/etj.32.13A.24
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مقارنة تأثير أسلوبي التهوية المستمرة والتهوية المتقطعة على كفاءة أنظمة الحمأة المنشطة ذات التهوية المطولة والجريان المستمر

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير التهوية المتقطعة على كفاءة أنظمة الحمأة المنشطة ذات الجريان المستمر وذلك من خلال إنشاء وتشغيل محطة اختبارية تعمل بنظام الجريان المستمر والتهوية المتقطعة وبأوقات تشغيل وإيقاف تهوية ($15_{min}/15_{min}$)، ($30_{min}/30_{min}$) ، ($60_{min}/60_{min}$) ،($90_{min}/90_{min}$)، ($120_{min}/120_{min}$) ومقارنتها مع نظام الحمأة المنشطة ذو الجريان المستمر والتهوية المطولة حيث استخدمت مياه المطروحات الصناعية لمصنع أدوية نينوى مصدرا للفضلات السائلة. أثبتت نتائج البحث أن نظام التهوية المطولة ذو كفاءة أعلى في إزالة المواد العضوية من نظام التهوية المتقطعة، حيث كانت 100% و 65 % و 100% من القراءاتلتراكيز المياه الخارجة من مفاعلاتالتهوية المطولة العاملة بأوقات مكوث هيدروليكي (24، 18 و 32) ساعة تقع ضمن محددات الطرح المحلية مقابل 75% و 60% و 80% لمفاعلات التهوية المتقطعة ($90_{min}/90_{min}$) العاملة بنفس اوقات المكوث وعلى التوالي،وكان افضل تشغيل متقطع لإزالة المواد العضوية هو ($90_{min}/90_{min}$). وكانت جميع القراءات المسجلة لتراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من مفاعلات التهوية المطولة والتهوية المتقطعة ($15_{min}/15_{min}$)،($60_{min}/60_{min}$) و ($90_{min}/90_{min}$)ضمن حدود مواصفات الطرح المعتمدة، كماتفوقتمفاعلات التهوية المستمرة على مفاعلات التهوية المتقطعة من حيث انخفاض تراكيز المواد الصلبة العالقة في المياه الخارجة،كذلككانت الدورات الطويلة لتشغيل وإيقاف التهوية ($120_{min}/120_{min}$) ذات كفاءة اقل من حيث تراكيزهذه المواد. كما واثبتت النتائج ان مفاعلاتالتهوية المتقطعة افضلمن مفاعلات التهوية المستمرة في إزالة الفسفور حيث كانت 8% و 6% من تراكيز الفوسفات في المياه الخارجة من مفاعلات التهوية المطولة العاملة بأوقات مكوث هيدروليكي (24 و 18) ساعة اقل او يساوي 5 ملغم/لتر، مقابل 90% و 52% لمفاعلات التهوية المتقطعة ($60_{min}/60_{min}$) العاملة بنفس اوقات المكوث وعلى التوالي،وكانت 32% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل نظام التهوية المطولة العاملة بوقت مكوث هيدروليكي 32 ساعة ذات تركيز فوسفات اقل او يساوي 2 ملغم/لتر مقابل 72% لمفاعل التهوية المتقطعة ($60_{min}/60_{min}$). وان أفضل تشغيل متقطع لإزالة الفسفور هو ($60_{min}/60_{min}$).

المقدمة

تعدأنظمة الحماة المنشطة من أهم طرائق المعالجة البيولوجيةوأكثرها انتشارا نظرا لكفاءتها مقارنة مع أنظمة المعالجة الأخرى (Metcalf and Eddy, 2003).وكحال بقية أنظمة المعالجة فقد تطورت أنظمة الحماة المنشطة، من أسلوب التشغيل الكتلي (Batch system)في بداية الأمر إلى أسلوب التشغيل المستمر (Continuous Flow Reactor) الذي أصبح هو السائد في السنوات اللاحقة وذلك لسهولة تشغيله مقارنة بالنوع الأول (Karakani & Mahvi 2005) .يعد نظام الحماة المنشطة ذو مفاعلات المزج الكامل والتهوية المطولةاحد التحويرات الواسعة الانتشار، حيث يمتاز بقابليته العالية على تقبل التغاير في تصاريف وخصائص مياه الفضلات والتي تتميز بها عادة الفضلات الصناعية أو تلك الناتجة عن المجمعات الصغيرة(Metcalf and Eddy, 2003).

إن أكثر السلبيات المأخوذة على هذه الأنظمة هو استقراريه الظروف داخل المفاعلات البيولوجية مما يعني سيادة نوع معين من الأحياء المجهرية (الهوائية) دون البقية وبالتالي عدم قدرة هذه الأنظمة على إزالة أنواع مختلفة من الملوثات بكفاءة أفضل(Lim , et al. , 2006)،إضافة لذلك، الكلفة العالية جدا لوحدات التهوية والتي تشكلعبئا كبيرا على محطات المعالجة،خصوصا والحجم الكبير لهذه الوحدات كذلك والحاجة لتشغيلها بشكل متواصل, حيث أن الطاقة التي تحتاجها وحدات التهوية تصل إلى أكثر من (50%) من الطاقة الكلية المجهزة لعمل بقية وحدات محطة المعالجة (Doan and Lohi, 2009).حاول العديد من المهندسين إيجاد حلول لتقليل هذه الكلف إما عن طريق تقليل حجم هذه الوحدات أو تغيير نظام تشغيلها. ومن المحاولات الرئيسية التي جرت في هذا الاتجاه تحول بعض المهندسين باتجاه استخدام الأوكسجين النقي (Pure Oxygen) بدلا من الهواء الطبيعي في عملية

التهوية مما يقلل من حجم وحدات التهوية المستخدمة،إلا ان الصعوبات الفنية المتأتية من استخدام وتوليد الأوكسجين النقي قد حدت بشكل كبير من استخدام هذا الخيار، كذلك فان مثل هذا الترتيب لم يجد حلا لمشكلة استقرارية الظروف داخل المفاعلات البيولوجية مما أبقى نطاق الإزالة محصورا بنوع محدد من الملوثات (Metcalf and Eddy, 2003).

يعد استخدام أسلوب التهوية المتقطعة ((Intermittent Aeration (IA)احد الحلول الحديثة والمستخدمة من قبل الباحثين للتقليل من مشكلة ارتفاع كلف تشغيل وحدات التهوية كذلك وخلق بيئة غير مستقرة داخل المفاعل البيولوجي مما يسمح بنمو عدد كبير من الأحياء المجهرية المسؤولة عن إزالة أكثر من نوع معين من الملوثات.تعتمد الفكرة الرئيسية في التحوير على تقطيع التهوية في مفاعلات المزج الكامل لتعمل وفق نظام تشغيل وإيقاف تهوية محدد (On/Off Aeration) مع استمرار جريان المياه من والى المفاعل بشكل مستمر، حيث يسمح مثل هذا التحوير بتقليل كلف تشغيل منظومات التهوية إلى أكثر من النصف واعتمادا على نظام التشغيل (طول فترة تشغيل التهوية إلى فترة انقطاعها، بنفس الوقت الذي يؤدي فيه قطع التهوية إلى خلق ظروف لا هوائية محسوبة داخل المفاعل البيولوجي مما يسمح بنمو مجموعة من الأحياء المجهرية اللاهوائية أو تلك التي تعمل بوجود مستوى منخفض من الأوكسجين، وهذا ما يتيح إزالة أنواع عديدة من الملوثات (Doan and Lohi, 2009).إن المرونة العالية التي يتمتع بها هذا النظام جعلته أحد الخيارات المرغوبة عالميا، حيث يمكن السيطرة على أداء المفاعل البيولوجي ودفعه باتجاه إزالة أنواع أخرى من الملوثات عن طريق تحكم بسيط متمثل بتشغيل وإيقاف التهوية (Doan and Lohi, 2009).إضافة لذلك فمن الممكن تطوير محطات المعالجة الموجودة حاليا وتعديلها باتجاه إزالة أنواع متعددة من الملوثات غير تلك المصممة لها وذلك عن طريق التحكم فقط ببرنامج تشغيل وإيقاف التهوية وبدون الحاجة لإضافة وحدات جديدة لإزالة هذه الملوثات.

يهدف هذا البحث الى دراسةاستخدام نظام الحماة المنشطة ذات التهوية المتقطعةعلىكفاءة إزالة المواد العضوية والفوسفات(PO_4) لمنظومة الحماة المنشطة ذات المزج الكامل والجريان المستمر والتهوية المطولة ومقارنتها مع مثيلاتها التي تعمل بنظام التهوية المستمرة، كذلك دراسة تأثير تغير وقت المكوث الهيدروليكي للمفاعل البيولوجي على كفاءة الإزالة وعند فترات تشغيل وانقطاع مختلفةللتهوية.

الدراسات السابقة

قام الباحثان (Nielsen andThompson, 1988)بتشغيل تجريبي لمحطة معالجة مياه فضلات مدنية وذلك باستخدام نظام التغذية المستمرة والتهوية المتقطعة (Intermittent Aeration ((IA)، حيث اشتمل نظام التشغيل علىطوري تشغيل (60 دقيقة) وايقاف (30 دقيقة). استنتج الباحثان أن استخدام النظام المذكوربإمكانهتخفيض تركيز BOD_5 ليصل إلى حدود (15 ملغم/لتر)، وتقليل تركيز الامونيوم NH^+_4-N إلى(6 ملغم/لتر)، في حين وصل تركيز النترات NO_3 الخارج إلى(5 ملغم/لتر). كما ودرس الباحث(Villaverde, et al, 2001) تأثير استخدام نظام الحمأة المنشطة ذو الجريان المستمر والتهوية المتقطعة في إزالة النتروجين الكلي (TN) والمواد العضوية الذائبة(COD_{sol}) من مياه فضلات صناعية. اشتمل العمل على ستة محاولات بأوقات تعويق هيدروليكي يساوي (24 ، 24 ، 36 ، 72 ، 72 ، 53 ساعة) على التوالي،وبنسبة تشغيل التهوية إلى إيقافها تساوي ($15_{min}/15_{min}$). استنتج الباحث أن معدلات كفاءة إزالة النتروجين الكلي مساوية لـ (13%، 26%، 30%، 28%، 51%، 66%)، وكانت معدلات كفاءة إزالة الامونيا NH_4^+-N تساوي (38%، 43%، 38%، 69%، 90%، 99%)،بينما كانت معدلات كفاءة إزالة الـ (COD_S) تساوي (76%، 62%، 85%، 75%، 88%، 92%) للمحاولات الأربعة الأخيرة، وبهذا استنتج الباحث بأن كفاءة إزالة كل من النتروجين الكلي والامونيا والمواد العضوية تزداد مع زيادة نسبة تشغيل التهوية إلى إيقافها.

عالج الباحثون (Garcia,et al, 2002) مياه فضلات مدنية وذلك باستخدام نظام الحماة المنشطة ذو الجريان المستمر وبدورات التهوية القصيرة(Short Aeration Cycles) حيث اظهرت النتائج انه من الممكن الحصول على ما يسمى بالإزالة المتزامنة (Simultaneous Removal) لكل

من المواد العضوية والنيتروجين الكلي من خلال حصول عمليتي النترجة وعكس النترجة وكذلك إزالة الفسفور،حيث من الممكن الحصول على نسبة إزالة (COD_{sol}) تتجاوز الـ (90%)،ونسبة إزالة للنتروجين الكلي (90%)، ونسبة إزالة للفسفور (45%).

كذلك درس الباحث(Brett, 2004)آلية إزالة الملوثات العضوية والنتروجينية في محطات معالجة مياه الفضلات المدنية التي تستخدم نظام التهوية المتقطعة حيث لاحظ انه في اغلب أحواض التهوية تتواجد مجموعتين من الأحياء المجهرية، مجموعة بكتريا المواد العضوية (heterotrophy) وتعمل على إزالة الـ BOD، ومجموعة بكتريا المواد النتروجينية (autotrophy)والتي تعمل على تحويل الامونيا.

كما أجرى الباحثان(Mota,et al, 2005)دراسة حول تأثير استمرارية وقت التهوية على نمو بكتريا النترجة وفاعليتها في إزالة الامونيا والنتروجين الكلي (TKN) في مفاعلات الجريان المستمر ذات التهوية المتقطعة لمعالجة مياه الفضلات الناتجة عن حظائر الحيوانات.استخدم الباحثون خمسة مفاعلات بفترات تشغيل تهوية وفترات انقطاعهاتساوي (1:1)، (1:3)، (0.5:1.5)، (0.5:2)، (1:4) على التوالي.أثبتت نتائج البحث ان كفاءة ازالة كل من الامونيا والنتروجين الكلي للمفاعلات الخمسة هي (85%، 81.8%) و (85.7%، 76.9%) و (79.2%، 75.2%) و (84.6%، 78.5%) و (84.5%، 77.9%)على التوالي.

كما ودرس الباحثان (Karakani and Mahvi,2005)كفاءة نظام المعالجة باستخدام التهوية المطولة والتهوية المتقطعة في إزالة الملوثات من مياه الفضلات، حيث أجريت الدراسة على ثلاثة مراحل تم في كل مرحلة تغيير وقت المكوث الهيدروليكي فكان (16.7، 14، 12.4 ساعة).استنتج الباحثان أن كفاءة إزالة الفسفور الكلي (38.5، 52.1، 55.9 %) للمراحل الثلاثة على التوالي،وكفاءة إزالة COD (95 ، 94 ، 93 %) وكفاءة إزالة TKN (85 ، 83 ، 70 %) للمراحل الثلاثة وعلى التوالي .

كذلك قام الباحث (Jung,et al, 2006)بدراسة تأثير التهوية المتقطعة على تقليل كمية الحمأة الناتجة أثناء المعالجة البيولوجية لمياه فضلات مدنية. تم إجراء الدراسة عن طريق تحديد وقت كل دورة كاملة (وقت الطور الهوائي + وقت الطور اللاهوائي) ضمن المدى (3 - 24 ساعة) ، حيث قسمت الدراسة إلى (12 محاولة) تم في كل منها تغيير طول فترة تشغيل التهوية وانقطاعها وكما يلي : (4/20) ، (8/16) ، (12/12) ، (16/8) ، (20/4) ، (1/2) ، (2/4) ، (4/8) ، (4/4) ، (4/2) ، (24/0) ، (0/24).استنتج الباحث أن النسبة المئوية لتقليل الحمأة للمحاولات هي: (47.2)، (40.4)،(57.3)، (46.4)، (49.9)، (57.7)، (60.6)، (56.7)، (69.9)، (64.9)، (61.9)، (41.4) على التوالي.

كذلكأجرى الباحث(Mortazavi, et al,2008)دراسة لمعالجة الفضلات الحاوية على المركبات العضوية اللاأيونية التي تعرف باسم (Surfactant)التي وتمتاز بقابليتها على تقليل قوة الشد السطحي للماء والسوائل الأخرى مما يؤثر على عمليات المعالجة, حيث تتواجد هذه المادة في كثير من مياه الفضلات المنزلية والصناعية الحاوية على المنظفات. استخدم الباحث نظام التهوية المطولة مع التهوية المتقطعة وبنسبة فترة تشغيل تهوية إلى انقطاعها تساوي (2 ساعة: 2 ساعة). استنتج الباحث بأن كفاءة ازالة هذه المواد قد تجاوزت الـ98%في المنظومة.

كما وقام الباحثان (Doan and Lohi, 2009) بدراسة تأثير المعالجة البيولوجية في إزالة الملوثات من مياه الفضلات الصناعية الناتجة عن عمليات طلاء المعادن وذلك باستخدام نظام التهوية المتقطعةحيث كان الهدف الرئيس من البحث معرفة التوفير المتحقق من استخدام هذه الطريقة مقارنة بالتهوية المستمرة. أشار الباحثان الى أن المعالجة البيولوجية بالتهوية المتقطعة تعمل على تقليل هذه الكلف، حيث ان التشغيل بهذه الطريقة يضمن تقليل معدل استهلاك الطاقة اللازمة للتهوية بمقدار(27 – 58 %).

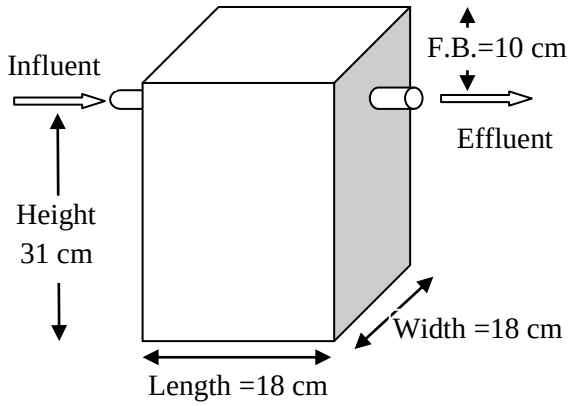
المواد وطرق العمل

تمت تنمية الحمأة في المختبر وذلك عن طريق جلب عينة من محطة معالجة مياه الفضلات في مصنع أدوية نينوى، حيث وضعت العينة في حوض زجاجي بحجم (80 لتر) لغرض زيادة

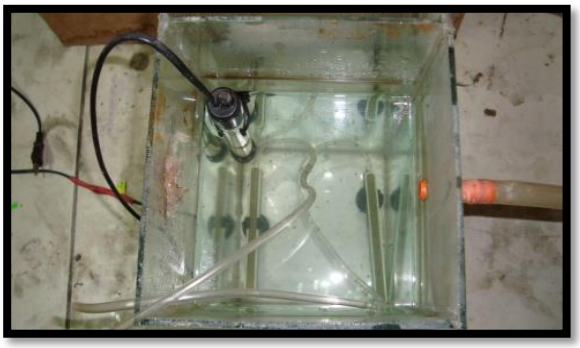
تركيزهاواقلمتهاللنظام المقترح. تم اعتبار نظام التشغيل بالجرعةاسلوبا بدائيا لتنمية الحماة،لذلك تمت زيادة الأحمال العضوية المسلطة على المنظومة بشكل تدريجي وبما يتناسب مع درجة تأقلم وزيادة تركيز الأحياء المجهرية. استمرت هذه المرحلة حوالي (15 يوما)، حيث أمكن خلال هذه المدة الوصول إلى تركيز حمأة منشطة (MLVSS) يتراوح بحدود (2500 – 3000 ملغم/لتر).

ولدراسة النظام المقترح ضمن مدى واسع من الظروف التشغيلية فقد تم إنشاء ستة مفاعلات اختبارية بحجم (10 لتر) لكل مفاعل وبحسب الدراسات التي أجراها العديد من الباحثين (Mota, et al,2005)، و(Mortazavi, et al,2008).تم تصنيع المفاعلات الاختبارية من مادة الزجاج بسمك (4 ملم)،وبطولوعرض وارتفاع (18، 18، 31 سم) على التوالي، لاحظ الشكل رقم (1)،جهزت بأحواض ترسيب اسطوانية بقطر (10 سم) اسفلها على شكل مخروطي لسحب الحماة كما وتحتوي على مدخلمصنوع من مادة البلاستك لتقليل اضطراب المياه الداخلة الى الحوض.

ولتوفير التهوية والمزج اللازمين لتشغيل المفاعلات البيولوجية الاختبارية،فقد أعتمدأسلوب التهوية الناشرة(Diffused Aeration) كونها الأوسع انتشارا(Karia and Christian,2006)حيث استخدمت مضخات هواء تجارية مرتبطــة بواسطة أنابيب مرنة مصنوعة من مادة البلاستك بناشـرات هـواء (air diffusers) بطول (15 سم) وعرض (1 سم) وارتفاع (1 سم) موزعة على جانبي الحوض لتحقيق المزج اللازم. تم قياس تصريف الهواء الذي تنتجه هذه المضخات بوساطة جهاز قيــاس تصـريف الهـواء، حيث بلــغ مقـدار التصــريف 110 ± 10 مللتر/دقيقة،(الصورة 2).تم التحكم بطول مدد تشغيل وانقطاع التهوية في المفاعلات الاختبارية عنطريق استخدام مؤقتات كهربائية نوع(ice box) تعمل هذه المؤقتات ضمن مدى واسع من أطوار تشغيل وإيقاف تدفق التيار الكهربائي.



الشكل (1) المفاعل البيولوجى المستخدم فى البحث



صورة (2): طريقة تثبيت ناشرات التهوية والسخانات الكهربائية المستخدمة في البحث

صورة (3): المنظومة الكهربائية للوحدات الاختبارية

ثبتت نسبة ترجيع الحمأة المنشطة بمقدار (100%) من التصريف الداخل لجميع المفاعلات البيولوجية الاختبارية وحسب المحددات المقترحة من قبل (Metcalf and Eddy,2003) و (Karia and Christian, 2006)، من خلال منظومة لترجيع الحمأة مكونة من مضخات صغيرة (12 فولت) مثبتة في التركيب المخروطي في أسفل أحواض الترسيب الثانوي، ويتم التحكم بتشغيل هذه المضخات من خلال منظومة سيطرة كهربائية تعمل بشكل أوتوماتيكي كامل(الصورة 3). اعتمدنظام الجريان المستمر أسلوبالتغذية الوحدات الاختبارية كون أن هذا النظام يعد من أكثر أنظمة تشغيل محطات المعالجة انتشارا (Metcalf and Eddy, 2003).تمت تغذية المفاعلات الاختبارية الستة سيحا بالاعتماد على الجاذبية الأرضية وذلك عن طريق استخدام حوض بلاستيكي بحجم 60 لترا منسوب المياه فيه بحدود (40 سم) مع وجود ارتفاع أمان (FB) حوالي (10 سم) لمنع طفح مياه الفضلات إلى خارج الحوض،ويرتفع قعر الحوض المجهز عن نقاط تغذية المفاعلات الاختبارية (130 سم).

شغلت المفاعلات الاختبارية في آن واحدحيث يعمل المفاعل الاختباري الأول حسب نظام التهوية المستمرة المطولة((Extended Aeration (EA)، في حين تعمل المفاعلات الاختبارية الاخربنظام التهوية المتقطعة ((Intermittent Aeration (IA)حيث تمت برمجة عمل كل مفاعل مختبري وفق طول مدة تشغيل تهوية ومدة انقطاعها مختلف عن عمل المفاعل المختبري الاخر.

استخدمت مياه الفضلات السائلة الناتجة عن مصنع ادوية نينوى كمصدر لمياه الفضلات لتشغيل المحطة الاختبارية ويبين الجدول (1) بعض الخصائص النوعية للمطروحات السائلة للعينات التي تم جلبها خلال مدة الدراسة.

وبالنظر لكون درجة الحرارة من العوامل المسيطرة على التفاعلات البيولوجية داخل أحواض التهوية (الطائي، 2009)، فقد تم تثبيتها عند (25±1C°) وذلك باستخدام سخانات كهربائية ذات قدرة (100 واط)، كذلك فقد تم تثبيت عمر الأحياء المجهرية عند (25 يوما) وبحسب توصية كل من(Metcalf and Eddy,2003) و (Karia and Christian, 2006). يبين الجدول (2) الأطوار التشغيليةللمفاعلات الاختبارية حيث بلغت عدد التجارب خلال البحث أكثر من (80) تجربة.

كما تم تقسيم عمل الوحدات الاختبارية إلى ثلاثة مراحل تشغيليةمن خلالتغيير وقت المكوث الهيدروليكي (HDT)في المفاعلات الاختبارية مع ثبوت درجة الحرارة وعمر الأحياء المجهرية،وذلك من خلال تغيير مقدار التصريف الداخل ويبين الجدول (3) المراحل التشغيلية الثلاثة لعمل الوحدات الاختبارية.

اجريت جميع الفحوصات بحسب المواصفات القياسية (APHA, WPCF and AWWA, 1998)حيث تم قياس كل من المتطلب الكيمياوي للأوكسجين الكلي (COD_T)، المواد الصلبة العالقة

(SS)، والفوسفات الذائبة (Orthophosphate) للمياه المعالجة الخارجة من المحطات الاختبارية بشكل دوري وبمعدل قراءة واحدة يوميا. كذلك تم قياس تراكيز الأحياء المجهرية (MLVSS) الداخلة الى والخارجة من أحواض الترسيب الثانوية عن طريق اخذ قراءات شبه يومية للمياه، كما وتم قياس معامل الدليل الحجمي (SVI) للمزيج السائل في المفاعلات الاختبارية بمعدل قراءة واحدة يوميا وذلك لغرض تقييم كفاءة الترسيب لهذه الأحواض

جدول رقم (1): الخصائص النوعية للمطروحات السائلة لعينات مصنع نينوى للأدوية المأخوذة خلال مدة الدراسة

الخاصية	الوحدة	مدى القيم	معدل القيم
الرقم الهيدروجيني (pH)	–	7.6 - 6.0	6.78
المتطلب الكيميائي للأوكسجين (COD)	ملغم/ لتر	2200 - 800	1451
الفوسفات (PO_4)	ملغم/ لتر	13.1 - 1.22	6.59
المواد الصلبة العالقة (SS)	ملغم/ لتر	120 - 30	79.13

جدول رقم (2): الأطوار التشغيليةللمفاعلات الاختبارية

المحطة الاختبارية		تشغيل/ وقوف			
		وقت التشغيل دقيقة	وقت الوقوف دقيقة	عدد الدورات التشغيلية خلال 24 ساعة	فترة التشغيل الكلية خلال 24 ساعة
حماة منشطة مطولة التهوية (EA)		تهوية مستمرة / 24 ساعة			
المحطات الاختبارية متقطعة التهوية (IA)	IA1	15	15	48	12
	IA2	30	30	24	12
	IA3	60	60	12	12
	IA4	90	90	8	12
	IA5	120	120	6	12

ملاحظة: درجة الحرارة 25±1درجة مئوية وعمر الحمأة 25 يوم

جدول رقم (3): المراحل التشغيلية لعمل الوحدات الاختبارية

المرحلة التشغيلية	وقت المكوث الهيدروليكي (ساعة)		معدل الحمل الهيدروليكي المسلط ($م^3$/ $م^2$.يوم)
	المفاعلات الاختبارية	أحواض الترسيب الثانوي	
الأولى	24	4	0.309
الثانية	18	4	0.412
الثالثة	32	4	0.231

النتائج والمناقشة

إزالة المواد العضوية (Organic Matter Removal)

تبين الأشكال (4) و (5) و (6) التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المتطلب الكيمياوي للأوكسجين الكلي(COD_T)الخارجة من المحطات الاختبارية وللمراحل التشغيلية الثلاثة. وكما يلاحظ

من الأشكال في أعلاه فان تراكيز المواد العضوية الخارجة من مفاعل نظام الحمأة المنشطة ذات الجريان المستمر والتهوية المطولة اقل من مثيلاتها المسجلة في مفاعلات نظام الحمأة المنشطة ذات الجريان المستمر والتهوية المتقطعةويعود السبب في ذلك الى قدرة الأكسدة الهوائية على حل الأواصر بين عناصر المركبات العضوية وجعلها سهلة التحلل والهضم من قبل الأحياء المجهرية بشكل أفضل من التهوية المتقطعة، وتتوافق هذه النتيجة مع ما أكده (Luo, et al, 2002).

فكان 100% من تراكيز المياه الخارجة للمرحلة الأولى ذات وقت المكوث 24 ساعة من مفاعل نظام التهوية المطولة تقع ضمن محددات الطرح المحلية (COD≤100mg/l:التشريعات البيئية، 1998)، بينما كان 75% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($90_{min}/90_{min}$) تقع ضمن محددات الطرح المحلية. أما بقية مفاعلات نظام التهوية المتقطعة فكانت تراكيز المياه الخارجة لها تقع خارج محددات الطرح المحلية(الشكل 4).

وكان 65 % من تراكيز المياه الخارجة للمرحلة الثانية ذات وقت المكوث 18 ساعة من مفاعل نظام التهوية المطولة تقع ضمن محددات الطرح المحلية، في حين أن 60% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($90_{min}/90_{min}$) تقع ضمن محددات الطرح المحلية، أما بقية مفاعلات نظام التهوية المتقطعة فكانت تراكيز المياه الخارجة لها تقع خارج محددات الطرح المحلية(الشكل 5).

أما الشكل (6) فيبين بأن 100% من تراكيز المياه الخارجة للمرحلة الثالثة ذات وقت المكوث 32 ساعة من مفاعل التهوية المطولة تقع ضمن محددات الطرح المحلية، وان 80% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($90_{min}/90_{min}$) تقع ضمن محددات الطرح المحلية، في حين أن حوالي 40 % من قيم تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($15_{min}/15_{min}$) تقع ضمن محددات الطرح المحلية، أما بقية مفاعلات نظام التهوية المتقطعة فكانت تراكيز المياه الخارجة لها تقع خارج محددات الطرح المحلية. وكانأفضل تشغيل متقطع لإزالة المواد العضوية هو ($90_{min}/90_{min}$).

تراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة

تبين الأشكال (7) و (8) و (9) التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من أحواض الترسيب الثانوي للمحطات الاختبارية وللمراحل التشغيلية الثلاثة،حيث كانت المياه الخارجة من مفاعل التهوية والمطولة ومفاعلات التهوية المتقطعة ($15_{min}/15_{min}$)، ($60_{min}/60_{min}$) و ($90_{min}/90_{min}$) ذات تراكيز للمياه الصلبة العالقة الخارجة من احواض الترسيب مطابقة لمواصفات الطرح العراقية(suspended solids ≤ 60mg/l:التشريعات البيئية، 1998) وللمراحل التشغيلية الثلاثة.في حين كانتالنسبة85% و 76%فيمفاعل التهوية المتقطعة ($30_{min}/30_{min}$) للمرحلتين الاولى والثانية على التوالي تقع ضمن مواصفات الطرح المحلية، بينما كانت جميع القراءات المسجلة في المرحلة الثالثة ذات وقت المكوث 32 ساعةمطابقة لمواصفات الطرح. أما مفاعل التهوية المتقطعة ($120_{min}/120_{min}$) فبلغت النسب(60%، 53% و 74%)على التوالي (الاشكال 7، 8 و 9). واستنادا للأشكال في أعلاه فانه من الممكن الاستنتاج بانمفاعل التهوية المستمرة يكون افضل من مفاعلات التهوية المتقطعة من حيث تراكيز المواد الصلبة العالقة في المياه الخارجة كما ان الدورات الطويلة لتشغيل وإيقاف التهوية ($120_{min}/120_{min}$) تكون ذات كفاءة اقل في إزالة المواد الصلبة العالقة (SS) وتتوافق هذه النتيجة مع ما وجده الباحثـــون (Jung, et al, 2006)حيث أعزي سبب ذلك إلى أن الدورات الطويلة لتشغيل وإيقاف التهوية ينتج عنها لبادات ضعيفة الترسيب مقارنة مع نظيراتها من اللبادات الناتجة عن الدورات القصيرة لتشغيل وإيقاف التهوية.

تغاير تراكيز الاوكسجين المذاب في مفاعلات التهوية المتقطعة

يبين الشكل (10) تغاير تركيز الأوكسجين المذاب (DO) مع الوقت في مفاعلات الجريان المستمر والتهوية المتقطعة. حيث إن تزايد تركيز الأوكسجين المذاب (DO) في مدة تشغيل التهوية ليصل إلى حدود (6 ملغم/لتر) والذي يمكن ان يوفر ظروف ملائمة لعمل كل من بكتريا متعددة التغذية (Heterotrophic) وبكتريا ذاتية التغذية (Autotrophy)، كما إن الانخفاض التدريجي لتركيز الأوكسجين المذاب (DO) في مدة إيقاف التهوية يجعل المنظومة تمر بمرحلة التهوية القليلة تليها

مرحلة انعدام التهوية. إن انعدام الاوكسجين في مدة إيقاف التهوية يجبر الاحياء المجهرية على البحث عن مصدر طاقة إضافي حيث تكون المواد العضوية في هذه الحالة مصدر طاقة ناجح لمثل هذه الأحياء (Russell D. L.;2006).

إزالة الفوسفات (PO_4)

تمثل الأشكال (11)، (12) و (13) التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز الفوسفات للمياه المعالجة الخارجة من مفاعل التهوية المطولة ومفاعلات التهوية المتقطعة وللمراحل التشغيلية الثلاثة. وكما يلاحظ من الأشكال (11، 21 و 13) فأن تراكيز الفوسفات الخارجة من مفاعل التهوية المستمرة كانت أعلى منها في مفاعلات التهوية المتقطعة فكان8% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل نظام التهوية المطولة للمرحلة الأولى ذات تركيز ($PO_4 \leq 5$ mg/l) بينما كان 90% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($60_{min}/60_{min}$)ذات تركيز ($PO_4 \leq 5$ mg/l)(الشكل 11)، في حين كانت 6% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل نظام التهوية المطولة للمرحلة الثانيةذات تركيز ($PO_4 \leq 5$ mg/l) مقابل52% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($60_{min}/60_{min}$)ذات تركيز ($PO_4 \leq 5$ mg/l)(الشكل 12).أما الشكل (13) فيبين ان 32% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل نظام التهوية المطولة للمرحلة الثالثةذات تركيز ($PO_4 \leq 2$ mg/l) مقابل72% من تراكيز المياه الخارجة من مفاعل التهوية المتقطعة ($60_{min}/60_{min}$)ذات تركيز (PO_4 mg/l ≤ 2).وسبب تفوق المفاعلات التي تعمل بالتهوية المقطعة بالإزالة أن عملية إزالة الفسفور تحدث لا هوائيا وان احتمال حدوثها هوائيا يعد ضئيلا وتتفق هذه النتيجة مع ما أورده كل من (Garcia-Encina,et al, 2002) و (Luo, et al, 2002).وكما يلاحظ من المنحنيات فان أفضل تشغيل متقطع لإزالة الفسفور هو ($60_{min}/60_{min}$).

تأثير وقت المكوث الهيدروليكي على تركيز الأحياء المجهرية

يمثل الشكل (14) العلاقة بين معدل تركيز الأحياء المجهرية (MLVSS) ووقت المكوث الهيدروليكي. وكما يلاحظ من الشكل فأن تراكيز الأحياء المجهرية (MLVSS) تقل مع نقصان وقت المكوث الهيدروليكي (HDT) ويعود السبب في ذلك إلى انجراف كميات من الأحياء المجهرية إلى خارج المفاعل الاختباري باتجاه حوض الترسيب الثانوي نتيجة زيادة معدل التصريف الداخل إلى المفاعلات الاختبارية (Metcalf and Eddy, 2003)،كما يتبين أيضا من الشكل أن تراكيز الأحياء المجهرية (MLVSS) في المفاعل ذو التهوية المستمرةكانت اقل منها في مفاعلات الجريان المستمر والتهوية المتقطعة (IA) ولجميع المراحل التشغيلية ويعزى سبب ذلك إلى أكسدة وانحلال بعض الخلايا الحية الضعيفة بتأثير التهوية المستمرة في المفاعلات البيولوجية (KariaandChristian, 2006).كذلك تساهمظروف تغير تركيز الاوكسجين المذاب في مفاعلات التهوية المتقطعة على توفير ظروف ملائمة لنمو أنواع مختلفة من الأحياء المجهرية والتي تعمل بظروف هوائية ولاهوائية وهذا ما يزيد العدد الاجمالي للأحياء المجهرية داخل المفاعل البيولوجي وبالتالي زيادة تركيزها، وتتفق هذه النتيجة مع ما جاء به الباحثان (Mota, et al, 2005).

تأثير وقت المكوث الهيدروليكي على كفاءة إزالة المواد العضوية (COD)

يبين الشكل (15) العلاقة بين وقت المكوث الهيدروليكي (HDT) وكفاءة إزالة المواد العضوية (COD)، حيث يلاحظ انه بانخفاض وقت المكوث الهيدروليكي تنخفض كفاءة الإزالة وذلك بسبب عدم قدرة المفاعلات البيولوجية على أكسدة جميع المادة العضوية الداخلة إلى المفاعل وخاصة عند زيادة التصريف المسلط على المنظومة وهذا يتفق مع ما جاء به كل من (Metcalf and Eddy; 2003)،(Mota, et al, 2005) و(Karakani and Mahvi, 2005).كذلك يلاحظ من الشكل (15) أن كفاءة إزالة المواد العضوية (COD) في مفاعل التهوية المستمرة كانت أعلى منها في مفاعلات التهوية المتقطعة وسبب ذلك هو قدرة الأكسدة الهوائية على حل الأواصر بين عناصر المركبات العضوية وجعلها سهلةالتحلل والهضم منقبل الأحياء المجهرية بشكل أفضل من التهوية المتقطعة، وتتوافق هذه النتيجة مع ما أكده(Luo, et al, 2002).

تأثير وقت المكوث الهيدروليكي على معامل الدليل الحجمي(SVI)

يوضح الشكل (16) تغاير معامل الدليل الحجمي للحماة(SVI) مع وقت التعويق الهيدروليكي (HDT) لمفاعلات المحطة الاختبارية، حيث تعد الحماة المنشطة ذات خصائص ترسيبية جيدة إذا كانت قيمة معامل الدليل الحجمي لها ما بين (50 - 150 مللتر/غم)، في حين تعد الحماة التي لها قيمة معامل دليل حجمي اكبر من (150 مللتر/غم) حماة منتفخة (Metcalf and Eddy,2003). وكما يلاحظ من الشكل أن قيم معامل الدليل الحجمي للحماة في مفاعل التهوية المطولة اقل منها في مفاعلات التهوية المتقطعة وللمراحل التشغيلية الثلاثة، وهذا يتفق مع ما جاء به الباحثون (Mota, et al, 2005) حيث عللوا سبب ذلك إلى أن التهوية المتقطعة تعمل على إحداث زيادة نسبية للمساحة السطحية للأحياء المجهرية وذلك من أجل تعويض النقص الحاصل في الأوكسجين عند إيقاف التهوية وبهذا تتكون لبادات ضعيفة. كذلك يتبين من الشكل أن اقل قيمة معامل دليل حماة حجمي تتحقق في مفاعلات التهوية المتقطعة ($90_{min}/90_{min}$) ثم تليها مفاعلات ($60_{min}/60_{min}$)،كما وتزداد قيم معامل الدليل الحجمي للحماة مع زيادة وقت التعويق الهيدروليكي ويرجع سبب ذلك إلى انخفاض نسبة الغذاء داخل المفاعل نتيجة لنقصان التصريف المسلط على المحطات الاختبارية مؤثرا بذلك على خصائص الأحياء المجهرية داخل المفاعل البيولوجي باتجاه توليد أحياء أصعب ترسيبا، وتتوافق هذه النتيجة مع ما أورده (Metcalf and Eddy, 2003).

الاستنتاجات:

1. ان انخفاض وقت المكوث الهيدروليكي (HDT)يعمل على خفض كفاءة إزالة المواد العضوية الذائبة والفوسفات لكل من نظامي التهوية المستمرةوالتهوية المتقطعة.
2. أعطى نظام الحمأة المنشطة ذو التهوية المتقطعة بمدة تشغيل وإيقاف التهوية ($90_{min}/90_{min}$)تراكيز (COD_T)ضمن مواصفات الطرح العراقية المعتمدة وضمن حدود اوقات المكوث المستخدمة في الدراسة.
3. كانتمفاعلات التهوية المستمرة ومفاعلات التهوية المتقطعة ($15_{min}/15_{min}$)، ($60_{min}/60_{min}$) و ($90_{min}/90_{min}$) كفوءة في ازالة المواد الصلبة العالقة من فضلات معمل الادوية وضمن حدود اوقات المكوث المستخدمة في الدراسةحيث كانت تراكيز المواد الصلبة العالقة (SS) للمياه المعالجة الخارجة مطابقة لمواصفات الطرح العراقية المعتمدة ($SS \leq 60mg/l$).
4. مفاعلات التهوية المتقطعة اكثر كفاءة في ازالة الفوسفات من مفاعلات التهوية المطولة ولوقت مكوث
18 - 32 ساعة حيث كانت تراكيز الفوسفات (PO_4) في المياه الخارجة من مفاعلات التهوية المتقطعة اقل من تراكيز مثيلاتها الخارجة من مفاعل التهوية المستمرة، كما كان افضل تشغيل متقطع لإزالة الفسفور هو ($60_{min}/60_{min}$).

المصـــــــــادر

[1]الطائي، محمد سمير غانم (2009) " مقارنة أداء أنظمة الحمأة المنشطة ذات درجات الحرارة المعتدلة والمحبة للحرارة في معالجة مياه فضلات الألبان"، رسالة ماجستير، كلية الهندسة / جامعة الموصل.

[2]جمهورية العراق، وزارة الصحة، دائرة حماية وتحسين البيئة، "التشريعات البيئية"، قسم العلاقات والتوعية البيئية، كانون الاول، (1998).

[3]APHA, WPCF and AWWA (1998), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 20th ed., Washington, D.C.

[4]Brett Ward,(2004),” Have You Tried Off-On Aeration Yet”, Utility Operations Consultant, Municipal Technical Advisory Service, The University of Tennessee.

[5]Doan H. and Lohi A., (2009),”Intermittent Aeration in Biological Treatment of Wastewater” American J. of Engineering and Applied Sciences, 2 (2): 260-267.

[6]García-Encina P.A. , García M.C., Mate S. , Adrados F. , Iglesia D. , Fdz-Polanco F. and Villaverde S.,(2002),” Simultaneous Removal Of Organic Matter, Total Nitrogen And Phosphorous In A Single Continuous Flow Activated Sludge Reactor Operated With Short Aeration Cycles”,Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion, 7, Mérida, Yucatán, 22-25 Oct.

[7]Jung S.J. , Miyanaga K. , Tanji Y. , Unno H. ,(2006), “Effect of intermittent aeration on the decrease of biological sludge amount”, Biochemical Engineering Journal, 27, 246–251.

[8]Karakani F. and Mahvi A.H., (2005) “Wastewater Phosphorous Removal by Intermittent Cycle Extended Aeration System”, Pakistan J. of Biological Sciences 8(2), 335-337.

[9]Karia G.L. and Christian R.A., (2006), ”Wastewater Treatment Concept And Design Approach”, prentice Hall of India ,New Delhi-110001.

[10]Lim B.S., Choi B.C., Yu S.W., Lee C.G. , (2006) “Effects of operational parameters on aeration on/off time in an intermittent aeration membrane bioreactor”, Desalination, 202 77–82.

[11]Luo A. , Zhu J. , Ndegwa P.M.,(2002),”Removal of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Pig Manure by Continuous and Intermittent Aeration at Low Redox Potentials”, Biosystems Engineering, 82 (2), 209–215.

[12]Metcalf and Eddy, (2003) "Wastewater engineering treatment /disposal /reuse", 4th ed., McGaw-Hill, Inc.,New York.

[13]Mota C. , Melanie A.H. , Ridenoure J.A. , Cheng J.J. and Reyes F.L.,(2005), “Effects of Aeration Cycles on Nitrifying Bacterial Populations and Nitrogen Removal in Intermittently Aerated Reactors”,Applied and Environmental Microbiology, 71 (12), 8565–8572.

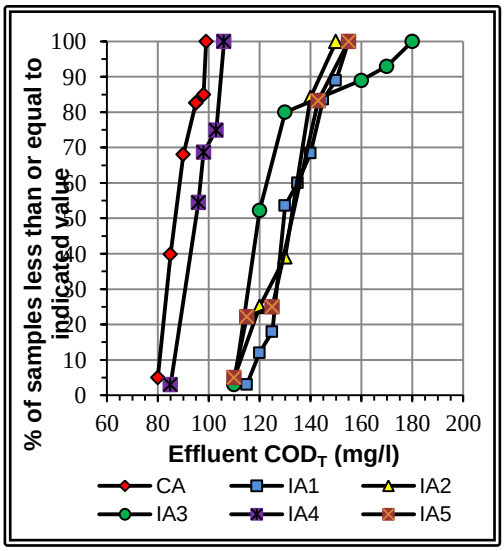
[14]Mortazavi S.B. , Khavanin A. , Moussavi G. and Azhdarpoor A. (2008),”Removal of Sodium Dodecyl Sulfate in an Intermittent Cycle Extended Aeration System”,Pakistan Journal Biological Sciences, 11(2), 290-293.

[15]Nielsen J.S. , Thompson M.D. ,(1988),”Operating experiences at a large continuously fed , intermittently decanted ,activated sludge plant”, J.WPCF, vol. 60 ,no 2, ,pp145-272.

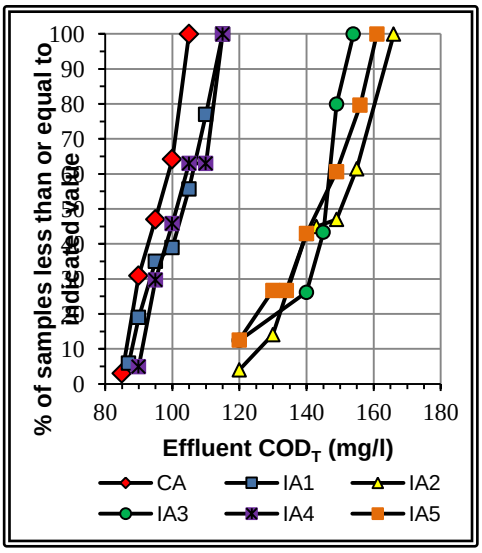
[16]Russell D.L., (2006), ”Practical Wastewater Treatment”, Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[17]Villaverde S.,Lacalle M.L., Garcia P.A. &Fdz-Polanco F. (2001),”Nitrification-Denitrification of UASB effluents highly loaded with nitrogen in an activated sludge reactor operated with short cycled aeration”,Water Sciences and Technology, 44 (4), 279-286.

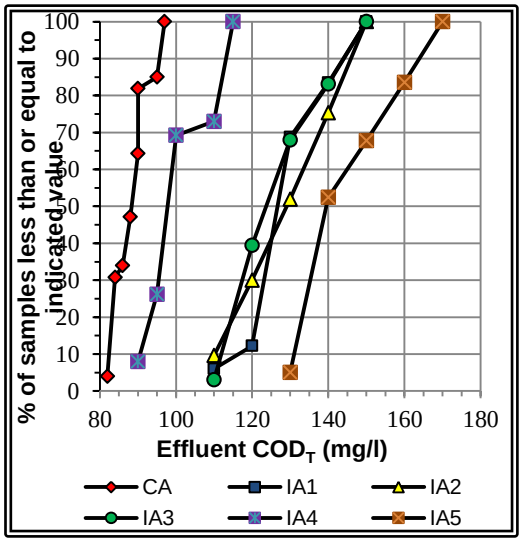
الأشكال Figures



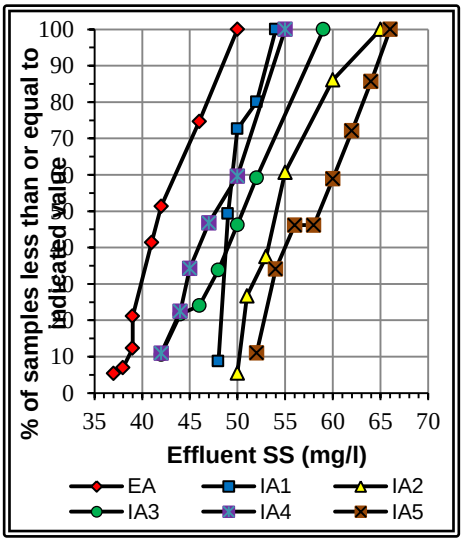
الشكل (4): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد العضوية (COD_T) الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الأولى (وقت المكوث الهيدروليكي = 24 ساعة)



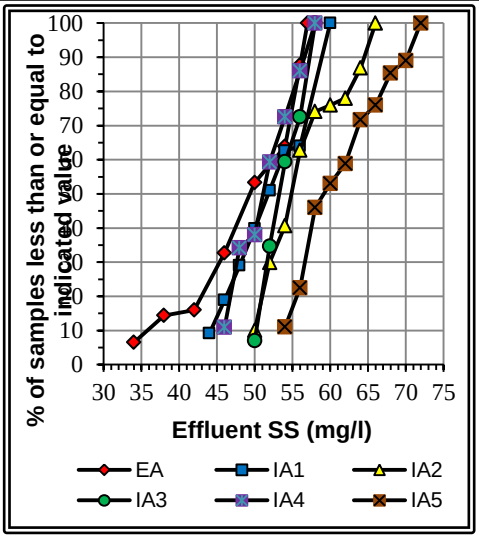
الشكل (5): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد العضوية (COD_T) الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثانية (وقت المكوث الهيدروليكي = 18 ساعة)



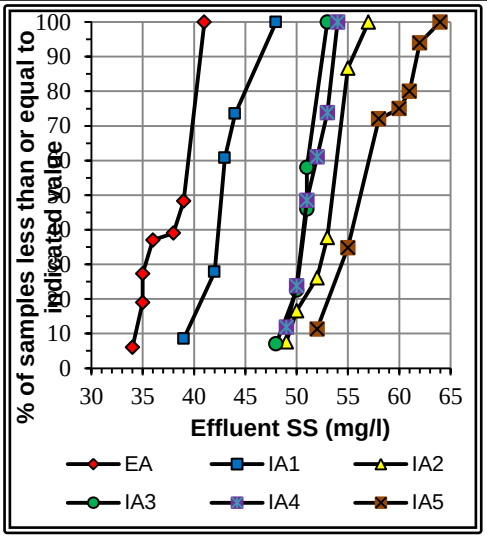
الشكل (6): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد العضوية (COD_T) الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثالثة (وقت المكوث الهيدروليكي = 32 ساعة)



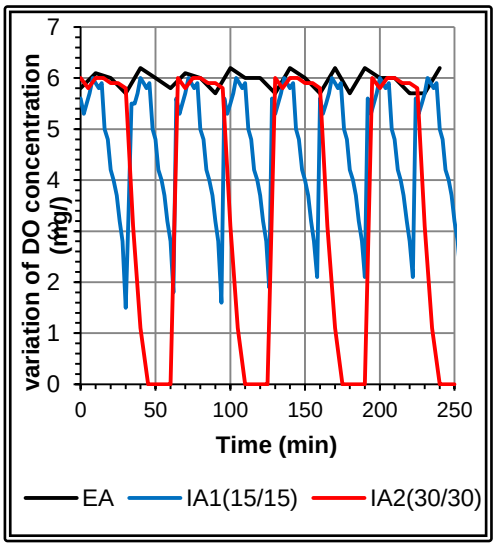
الشكل (7): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الأولى (وقت المكوث الهيدروليكي = 24 ساعة)



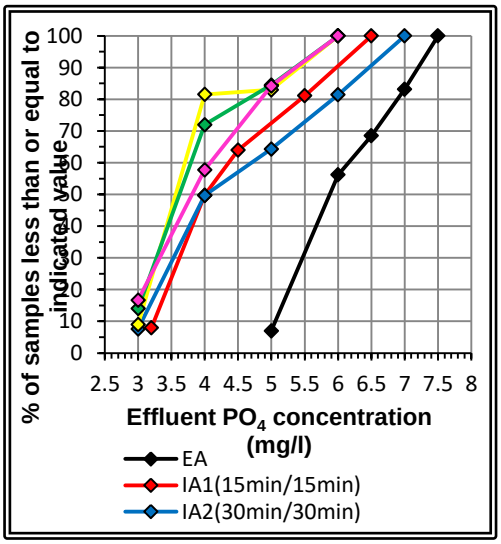
الشكل (8): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثانية (وقت المكوث الهيدروليكي = 18 ساعة)



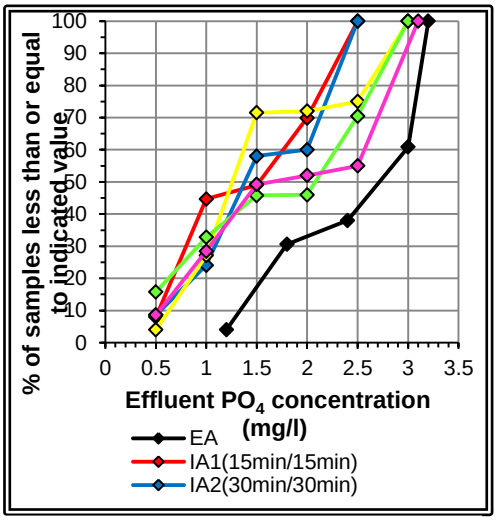
الشكل (9): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز المواد الصلبة العالقة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثالثة (وقت المكوث الهيدروليكي = 32 ساعة)



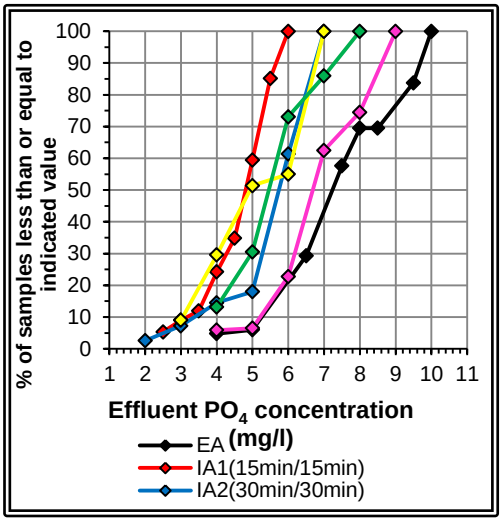
الشكل (10): معدل تراكيز الأوكسجين المذاب مع الوقت للمفاعلات الاختبارية ذات التهوية المطولة والتهوية المتقطعة وللمراحل التشغيلية الثلاثة



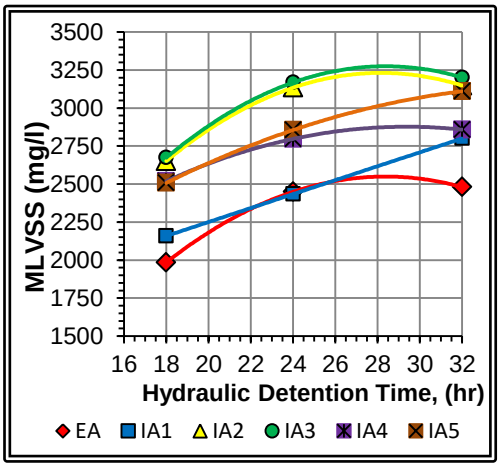
الشكل (11): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز الفوسفات (PO_4) للمياه المعالجة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الأولى (وقت المكوث الهيدروليكي = 24 ساعة)



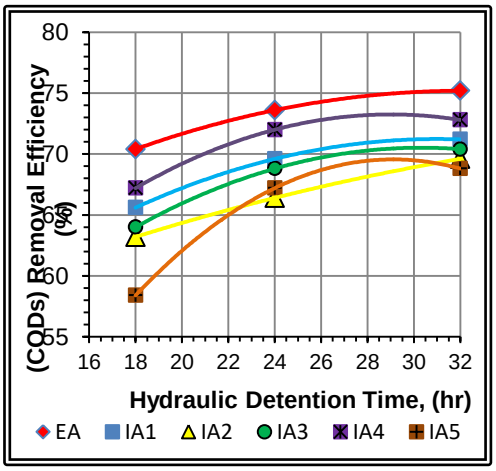
الشكل (12): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز الفوسفات (PO_4) للمياه المعالجة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثانية (وقت المكوث الهيدروليكي = 18 ساعة)



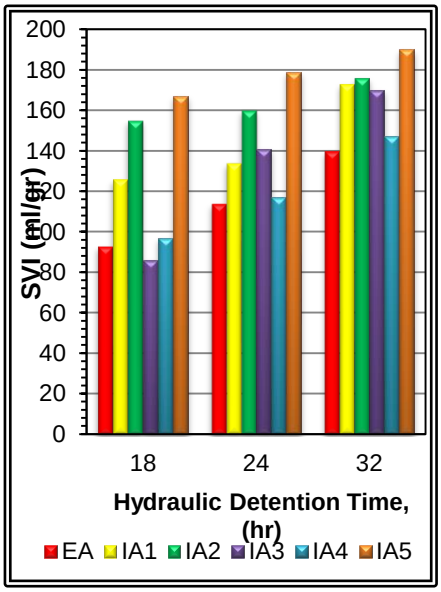
الشكل (13): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز الفوسفات (PO_4) للمياه المعالجة الخارجة من المحطات الاختبارية للمرحلة الثانية (وقت المكوث الهيدروليكي = 32 ساعة)



الشكل (14): العلاقة بين وقت المكوث الهيدروليكي وتركيز الأحياء المجهرية (MLVSS) للمفاعلات الاختبارية وللمراحل التشغيلية الثلاثة



الشكل (15): العلاقة بين وقت المكوث الهيدروليكي وكفاءة إزالة المواد العضوية للمفاعلات الاختبارية وللمراحل التشغيلية الثلاثة



الشكل (16): تغاير معامل الدليل الحجمي (SVI) للمفاعلات الاختبارية مع وقت التعويق الهيدروليكي