

استخدام أنظمة النمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماية المنشطة لزيادة الأحمال

الهيدروليكية وتحسين خصائص الترسيب في وحدات الحماية المنشطة

د. قصي كمال الدين الأحمد

احمد ياسين شهاب العبيدي

جامعة الموصل / كلية الهندسة قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

تم إنشاء وتشغيل محطة اختبارية لدراسة قابلية أنظمة النمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماية المنشطة (Integrated Fixed Film Activated Sludge - IFAS) على تطوير وزيادة استيعاب وحدات الحماية المنشطة التقليدية. تألفت المحطة الاختبارية المستخدمة من ثلاثة أحواض صممت لكي تعمل بشكل متوازي تحت نفس الظروف التشغيلية. طُور اثنان من هذه الأحواض (الثاني والثالث) لتعمل بالنظام المقترح وذلك بإضافة وسائط ثابتة للنمو البيولوجي الملتصق وضعت بحيث تشغل مساحة نسبية تقدر بحدود (18.72) م²/م³ في الحوض الثاني في حين تم مضاعفة هذه المساحة لتكون بحدود (37.44) م²/م³ في الحوض الثالث. تم تقسيم برنامج العمل إلى خمسة مراحل، تم في كل منها زيادة التصريف الداخل إلى المنظومة تدريجياً بنسبة 150 %، 200 %، 250 %، 300 % من تصريف المرحلة الأولى وبشكل متوالي. أثبتت نتائج الاختبارات انه يمكن زيادة التصريف الداخل إلى الحوض الثاني المطور بنظام (IFAS) بنسبة 125 % من تصريف حوض الحماية المنشطة التقليدي دون حصول انخفاض في كفاءة إزالة ألد (COD) في حين، يمكن زيادة التصريف الداخل إلى الحوض الثالث بنسبة 150 % دون أن تتأثر كفاءة إزالة ألد (COD). كذلك بينت النتائج أن استخدام النظام المطور يحسن الخصائص الترسيبية للحماة العالقة ويحد من نمو البكتريا الخيطية

الكلمات الدالة: النمو المدمج، حماة منشطة، زيادة الأحمال الهيدروليكية، معامل دليل الحماة الحجمي

Integrated Fixed Film Activated Sludge Systems for Upgrading Hydraulic Capacity and Settling Characteristics of Activated Sludge Processes

Abstract

In this research an experimental laboratory pilot plant was used to assess the ability of the integrated fixed film activated sludge (IFAS) process to upgrade the hydraulic capacity of the ordinary activated sludge units. The experimental plant consisted of three basins, which were designed to work simultaneously under the same operating conditions. The second and third basins were developed to work on the suggested process by adding a fixed media to these reactors in such way so that the specific area in the second basin was 18.72 m²/m³ and in the third 37.44 m²/m³. The experimental program was divided into five stages so that, the applied discharges in the second, third, fourth and fifth stages were 150%, 200%, 250% and 300% of the discharge in the first stage respectively. The result of the experimental work showed that the (IFAS) process can effectively upgrade the capacity and performance of the ordinary activated sludge process. In the second basin, the discharge was increased to about 125 % of its original value without reduction in the organic removal efficiency while, in the third basin the load increased to 150 % of its original value and also no reduction in the removal efficiency was observed. The settling characteristics of the activated sludge also improved and filamentous growth became very limited.

Keywords: IFAS; Activated sludge; Upgrading; Hydraulic capacity; Settling, SVI

المقدمة

تعد أنظمة الحماية المنشطة من الأنظمة الواسعة الانتشار في معالجة المطروحات وذلك لسهولة إنشائها وانخفاض كلفتها نسبياً، ولكن عدم تحمل هذه المنظومات للصدمات أو التذبذب في التصريف إضافة لعدم إمكانية زيادة أحمالها العضوية عن تلك التي صممت عليها قد خلق نوعاً من التحديات في مجال استخدامها. في حين تمتاز أنظمة النمو الملتصق ومن أمثلتها المرشحات البيولوجية بأكثر قدرة على تحمل الصدمات إلا أن ارتفاع كلفة إنشائها نسبياً إضافة لحاجتها لتوفير تقنيات محددة قد حد من مجالات استخدامها. وفي السنوات الماضية كان خيار دمج النظامين أحد الخيارات المتاحة لغرض الاستفادة من خصائص كل منهما في وقت واحد، ألا أن الكلف العالية وصعوبة التشغيل كانت من أبرز الصعوبات التي واجهت هذا الاتجاه، بالرغم من الميزات الكبيرة التي حققتها هذه العملية حيث غالباً ما يضطر لإقامة محطات متواليتين ومن كلا النوعين.

تعتبر المعالجة البيولوجية باستخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماية المنشطة (Integrated fixed film activated sludge - IFAS) من الأنظمة العالمية الحديثة المستخدمة في تطوير المحطات التقليدية التي تعمل بنظام الحماية المنشطة بحيث يمكن الاستفادة من ميزات نظام النمو الملتصق عند تطوير هذه المحطات. يعتمد مبدأ عمل هذا النظام على إحداث تغيير في نوعية وخصائص وتركيز الأحياء المجهرية الموجودة داخل حوض التهوية مما يزيد من قابلية المنظومة على استقبال المزيد من التصاريح الإضافية دون الحاجة للجوء لبناء وحدات جديدة، مما يعني توفير جانب اقتصادي كبير في هذا المضمار، من ناحية أخرى تتحسن الخصائص الترسيبية للحماية وكذلك نوعية

المياه المطروحة نتيجة لتغير خصائص ونوعية الأحياء المجهرية داخل حوض التهوية (Englehardt and ward, 1986).

تتم عملية تطوير أحواض الحماية المنشطة من خلال إضافة وسائط اصطناعية بحيث توفر المساحة الكافية والظروف الملائمة لنمو الأحياء المجهرية الملتصقة داخل حوض التهوية. توضع هذه الألواح بشكل ثابت داخل حوض التهوية حيث يعتمد على حركة المياه داخل الحوض في عملية المزج التام. ويراعى عند استخدام هذه الوسائط أن تكون المسافات البينية بين لوح وآخر لا تقل عن 2.5 سم وذلك لضمان عدم حصول انسدادات نتيجة لنمو الأحياء المجهرية الملتصقة (Metcalf and Eddy, 2003).

أن وجود هذه الوسائط داخل حوض التهوية يؤدي إلى زيادة تركيز الأحياء المجهرية الملتصقة بحيث يمكن أن يعمل حوض التهوية بتركيز منخفض نسبياً من الأحياء المجهرية العالقة دون أن يؤدي ذلك إلى انخفاض في كفاءة عمل حوض التهوية وذلك بسبب فاعلية الأحياء المجهرية الملتصقة. ونتيجة لذلك ينخفض الحمل المسلط على حوض الترسيب النهائي بسبب انخفاض تركيز الأحياء المجهرية العالقة بالإضافة إلى تحسن الخصائص الترسيبية للحماية بسبب محدودية نمو البكتريا الخيطية في أحواض المعالجة التي تعمل بهذا النظام، الأمر الذي يجعل بالإمكان زيادة التصريف الداخلى إلى المحطة دون أن تؤدي هذه الزيادة إلى فشل في حوض الترسيب النهائي (Aurola, 2000).

أهداف البحث

1. حساب التصاريح الإضافية التي يمكن تسليطها على الأحواض المطورة التي تعمل بنظام النمو

الحماة المنشطة على نمو البكتريا الخيطية (*filamentous bacteria*) التي تحدث في أحواض المعالجة التقليدية (الحماة المنشطة ذات المزج الكامل). استنتج الباحث بان استخدام هذا النظام يؤثر بشكل كبير على نمو هذه البكتريا بحيث تختفي أو تنحصر إلى حد كبير، ويظهر ذلك بوضوح من خلال قيم معامل الدليل الحجمي للحماة (SVI)، حيث انخفضت قيم (SVI) في الأحواض التي تعمل بنظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة بنسبة 60% تقريبا عن قيم الـ (SVI) المسجلة في حوض الحماة المنشطة.

درس (Johnson et al, 2003) تأثير استخدام تقنية النمو الملتصق المدمج داخل احواض الحماة المنشطة على إزالة المركبات النتروجينية. وجد الباحث بان استخدام هذا النظام يعد من أفضل الطرق الاقتصادية في إزالة المركبات النتروجينية حيث أن الطرق الأخرى تحتاج إما إلى توسيع أحواض التهوية أو إلى بناء أحواض جديدة.

كما درس (Federico et al, 2002) إمكانية استخدام المعالجة البيولوجية بنظام النمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماة المنشطة لتطوير محطة معالجة تقليدية تعمل بنظام الحماة المنشطة باتجاه إزالة المركبات النتروجينية حيث كان التحدي القائم في عملية التطوير محدودية الأرض المقامه عليها المحطة بالإضافة إلى انخفاض درجات الحرارة. وجد الباحث بان استخدام هذا النظام يحقق تطورا كبيرا لأداء المحطة دون الحاجة إلى بناء أحواض جديدة.

كما تناول (Fouad and Bhargava, 2005) تأثير استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة على كمية صافي الأحياء المجهرية المتولدة (*Solid production*).

الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة (IFAS).

2.دراسة تأثير زيادة التصريف على كفاءة إزالة ألـ (COD) في الأحواض التي تعمل بنظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة ومقارنة النتائج مع مثيلاتها المسجلة في الأحواض التقليدية.

3.دراسة تأثير استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة على الخصائص الترسيبية للحماة وذلك من خلال مراقبة معامل الدليل الحجمي للحماة (SVI) في هذه الأحواض ومقارنة النتائج مع الأحواض التي تعمل بنظام الحماة المنشطة الاعتيادي.

المعالجة البيولوجية باستخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماة المنشطة

على الرغم من حداثة استخدام هذه التقنية في تطوير المحطات التي تعمل بأسلوب الحماة المنشطة إلا أن الكثير من الباحثين استطاعوا تحقيق نتائج ايجابية من خلال استخدام هذا النظام في تطوير المحطات المقامة فعليا على ارض الواقع باستخدام هذا النظام حيث قام (Johnson et al, 2001) بدراسة إمكانية تطوير محطة معالجة تقليدية تعمل بنظام الحماة المنشطة بحيث يمكن زيادة التصريف الداخلى إلى المحطة من 5.4 mgd إلى 8.0 mgd بالإضافة إلى إمكانية إزالة المغذيات، وذلك عن طريق دراسة أربعة أنظمة كان من بينها استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة لغرض تحقيق التطوير المطلوب. توصل الباحث بان استخدام هذا النظام هو الأفضل من الناحية الاقتصادية من حيث كلفة الإنشاء بالإضافة إلى الكلف التشغيلية.

قام (Wanner et al, 1988) بدراسة تأثير استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض

على المنظومة وبما يتناسب مع درجة تأقلم وزيادة عدد الأحياء المجهرية. ففي الأيام العشرة الأولى للأقلمة تم تشغيل المنظومة على نسبة حمل عضوي (F/M) أولى بحدود (0.1 gm BOD/gm MLVSS.day) ثم تم زيادة هذه النسبة تدريجياً لتصل إلى (0.2 gm BOD/gm MLVSS.day) في نهاية فترة الأقلمة. استمرت هذه المرحلة لمدة 40 يوماً تقريباً حيث أصبح تركيز الأحياء المهجريّة داخل حوض الأقلمة بحدود 3000 ملغم/لتر، وأصبحت الحماية مؤهلة للعمل في المحطة لأختباره المعدة لغرض إجراء البحث.

ولبناء المحطة التجريبية فقد تم استخدام ثلاثة أحواض مختبرية مصنوعة من مادة الزجاج بحجم 10 لتر للحوض الواحد، يتألف كل حوض من جزئين أو حوضين الأول للتهوية بحجم 7.5 لتر والثاني للترسيب بحجم 2.5 لتر وكما في الشكل رقم (1). يفصل بين الحوضين (التهوية والترسيب) قاطع زجاجي مائل قليلاً باتجاه حوض الترسيب حيث يساعد هذا الميلان البسيط على تجميع الحماية أسفل حوض الترسيب، ويمتد هذا القاطع إلى الأسفل بحيث يترك فتحة بين الحوضين بارتفاع 1.25 سم وذلك لغرض انتقال الحماية من وإلى حوض الترسيب. يتميز تصميم هذا الحوض بانتقاء الحاجة إلى استخدام مضخة تعمل على إعادة الحماية المترسبة من حوض الترسيب إلى حوض التهوية (Romalho, 1977).

تم تطوير اثنين من أحواض المحطة الاختبارية لتعمل بنظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماية المنشطة (IFAS) وذلك بإضافة وسائط ثابتة للنمو الملتصق داخل هذه الأحواض، تمثلت بألواح صنعت من شبكة الفيبر الشكل رقم (2) وضعت ثلاثة منها في أحدا هذين الحوضين بحيث توفر مساحة سطحية تقدر بـ (18.72) م²/م³

أثبتت نتائج هذا البحث أن استخدام هذه التقنية في المعالجة يقلل من كمية الحماية المتولدة عن مثيلاتها في المعالجة التقليدية، كذلك أثبتت النتائج أن استخدام هذا النظام في المعالجة يحسن من الخصائص الترسيبية للحماية حيث تبين ذلك من خلال انخفاض قيم معامل الدليل الحجمي للحماية (SVI) للحماية عند استخدام هذه التقنية في المعالجة.

كما درس (Yerrell et al, 2001) إمكانية تطوير محطتين لمعالجة المياه المطروحة في الولايات المتحدة الأمريكية باستخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماية المنشطة وذلك لغرض إزالة المركبات النتروجينية. لقد تم إزالة أكثر من 80 % من هذه المركبات بعد تطوير المحطتين باستخدام هذا النظام، علماً بأن المحطتين كانتا تعملان بنظام الحماية المنشطة وكانتا مصممتين لإزالة المركبات الكربونية فقط.

المواد وطرائق العمل

اشتمل العمل البحثي على إنشاء وتشغيل محطة اختبارية لدراسة قابلية أنظمة المعالجة بالنمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماية المنشطة (Integrated Fixed Film Activated Sludge-IFAS) على تطوير أداء وحدات الحماية المنشطة التقليدية وزيادة قدرتها على استيعاب أحمال هيدروليكية إضافية من خلال زيادة التصريف الداخلى إلى هذه الأحواض. تألفت المحطة الاختبارية المستخدمة من ثلاثة أحواض صممت لكي تعمل بشكل متوازي تحت نفس الظروف التشغيلية باستخدام نظام التغذية المستمرة (Continuous Flow Regime).

اعتمد نظام التغذية بالجرعة (Batch Operation Mode) كأسلوب تشغيلي في مرحلة تنمية وأقلمة الأحياء المجهرية اللازمة لعمل المحطة الاختبارية حيث تم تسليط أحمال عضوية متدرجة

ملغم/لتر، ثم إضافة 22.6 غم بيكاربونات الامونيوم لغرض الحصول على تركيز للنيتروجين بحدود (40 ملغم/لتر) بعد ذلك يتم دفع هذه المياه إلى خزان تغذية المنظومة (سعة 120 لتر) بواسطة مضخة كهربائية وتتم هذه العملية يوميا وباستمرار طيلة فترة البحث.

النتائج والمناقشة

تم مراقبة تركيز أُل (COD) الداخِل إلى الخارج من أحواض المعالجة البيولوجية للمحطة أَلختباريه بشكل دوري بمعدل قراءة واحدة كل يومين ولكل حوض. وبالاعتماد على نتائج هذه المراقبة فقد تم تحديد وقت وصول أحواض المحطة أَلختبارية لحالة الاستقرار التشغيلي (Steady State) في كل مرحلة تشغيلية وذلك من خلال ثبات كفاءة الإزالة (Romalho, 1977). ومن الملاحظ حصول تذبذب كبير في كفاءة المعالجة عقب كل مرحلة تشغيلية وعند زيادة التصريف مباشرة ويستمر هذا التذبذب في الكفاءة عدة أيام ليستقر عند قيمة ثابتة بحيث يمكن أن تعتبر هذه القيمة هي كفاءة إزالة أُل (COD) المميزة لتلك المرحلة وكما مبين في الجدول (1). ويعزى سبب هذا التذبذب إلى حالة الصدمة التي ترافق عملية زيادة التصريف ولحين تأقلم الأحياء المجهرية في المنظومة مع ظروف التشغيل الجديدة.

في الشكل رقم (5) تم عرض نموذج لحالة التذبذب بالكفاءة ولأحواض المحطة أَلختباريه الثلاثة عند قيمة تصريف 38 لتر/يوم (المرحلة التشغيلية الثالثة)، حيث يلاحظ من المنحني أن كفاءة الإزالة لأحواض المحطة أَلختباريه الثلاثة قد استقرت بشكل نسبي بعد اليوم الحادي عشر من زيادة التصريف.

في الشكلين (6 و 7) تم رسم العلاقة ما بين قيمة التصريف المسلط خلال كل مرحلة تشغيلية

في حين تم إضافة ستة ألواح في الحوض الآخر لتوفر مساحة بحدود (37.44) م²/م³ (الشكل 3). وبحسب توصية العديد من البحوث بأفضلية استخدام أسلوب التهوية بالهواء المضغوط في أنظمة النمو الملتصق المدمجة مع الحماية المنشطة (Metcalf and Eddy, 2003) (Water Technology and Eddy, 2003) (Group, 2001)، فقد تم خلال البحث اعتماد هذا النظام كأسلوب لتحقيق التهوية والمزج اللازمين لعمل المحطة الأختبارية ولتوفير تركيز الأوكسجين الكافي لتحقيق الأوكسدة الهوائية للمواد العضوية في المنظومة. جهز كل حوض من أحواض المحطة الأختبارية بثلاث ناشرات هواء حجرية قطر (1.5 سم) ومن النوع القادر على توفير دفع فقاعات صغيرة (Fine Bubbles) وضعت بترتيب ضمن صف واحد ملاصق للجدار الخارجي لحوض المعالجة (لاحظ الشكل رقم 3)، حيث يتيح مثل هذا الترتيب إحداث حركة دورانية تؤدي إلى مزج جميع مكونات الحوض بدون التأثير على استقرارية الأحياء الملتصقة داخل المنظومة. تم اختيار ناشرات الهواء من النوع المولد للفقاعات صغيرة (Fine Bubbles) والتي تمتاز بكونها توفر مساحة تلامس سطحية عالية بين كل من الفقاعة والمياه مما يزيد من كفاءة ذوبان الأوكسجين في الماء وبالتالي رفع كفاءة التهوية (Water Technology Group, 2001) (Metcalf and Eddy, 2003) (Shechter, 2002).

تم تقسيم برنامج عمل المحطة الأختبارية إلى خمس مراحل، تم في كل منها زيادة التصريف الداخِل إلى المنظومة تدريجياً بنسبة 150 %، 200 %، 250 %، 300 % من تصريف المرحلة الأولى وبشكل متوالي. تم تحضير مياه التغذية في حوض زجاجي مستقل عن هذه المنظومة وذلك من إذابة 7.6 غم من الحليب الجاف في 100 لتر من الماء وذلك للحصول على تركيز (COD) بحدود 400

(3.79) ساعة كذلك انخفاض تركيز الحمأة المنشطة في الحوض (اقل من 250 ملغم/لتر) (الجدول رقم 2) بسبب فشل حوض الترسيب وانجراف معظم الحمأة خارج حوض المعالجة مما أدى إلى ارتفاع في مستوى الحمل الغذائي المسلط على الأحياء المجهريه (F/M) وبالتالي حصول انحراف للمنظومة خارج حدود المواصفات المقترحة للتشغيل مما ساهم بالتالي بشكل فاعل في خفض كفاءة الإزالة.

ويلاحظ من نفس المنحني، أن كفاءة إزالة ألد (COD) في حوضي المعالجة الثاني والثالث (أحواض IFAS) كانت مرتفعة وتراوحت ما بين (80-90) % على الرغم من زيادة التصريف وخلال المراحل التشغيلية الأولى والثانية والثالثة والرابعة.

ولابد من الإشارة إلى أن ارتفاع كفاءة الإزالة في هذه الأحواض كانت على الرغم من انخفاض تركيز الأحياء المجهريه العالقة الموجودة مقارنة مع تركيزها في الحوض الأول، والسبب في ذلك يعود إلى اختلاف أسلوب المعالجة واختلاف نوعية الأحياء المجهريه الموجودة في هذين الحوضين، حيث أن الأحياء المجهريه الملتصقة عادة ما تكون أكفاء وأسرع في أكسدة المواد العضوية من الأحياء المجهريه العالقة (Metcalf and Eddy, 2003). إن مثل هذه النتيجة تعطي امتيازاً كبيراً باتجاه تشغيل هذه الأنظمة حيث انه من الممكن الحصول على مستويات معالجة مرتفعة بدون الحاجة لزيادة عدد الأحياء المجهريه العالقة الموجودة في المفاعل.

وبالنظر لكون محدد قابلية حوض الترسيب على عزل الحمأة المنشطة يعد المحدد الرئيسي الذي يحكم المستوى المسموح لتركيز الأحياء المجهريه الموجودة في حوض التفاعل وبالتالي يحدد مقدار ما يمكن تسليطه من أحمال على هذا المفاعل (Metcalf and Eddy, 2003) وحيث أن غالبية

وكفاءة إزالة ألد (COD) لتلك المرحلة من جهة وكذلك قيم تراكيز المواد العضوية (COD_{effluent}) في المياه المعالجة من جهة أخرى. وكما يلاحظ من الشكل (6) أن كفاءة إزالة ألد (COD) للحوض الأول (حوض الحمأة المنشطة) في المرحلة الأولى كانت مقبولة (89.9) % وضمن الحدود المتوقعة لمثل هذا النوع من المعالجة والسبب في ذلك يعود إلى انخفاض معدل الحمل العضوي والتصريف المسلط على هذا الحوض والذي ساهم بزيادة وقت المكوث الهيدروليكي، بنفس الوقت الذي أدى ارتفاع تركيز الأحياء المجهريه داخل الحوض (2500-3000) ملغم/لتر (الجدول رقم 2) في خفض نسبة الغذاء المسلط على الأحياء المجهريه (F/M) مما أدى إلى ارتفاع كفاءة الإزالة (Metcalf and Eddy, 2003). في حين يلاحظ بان كفاءة إزالة ألد (COD) لنفس الحوض (الحوض الأول) انخفضت بمعدل 10 % في المرحتين الثانية والثالثة بسبب تزايد الحمل العضوي والتصريف وانخفاض وقت المكوث الهيدروليكي.

ولكن وبالرغم من هذا الانخفاض في كفاءة المعالجة في هاتين المرحتين إلا أن قيم ألد (COD) في المياه المعالجة كانت منخفضة بحيث تقع ضمن مواصفات الطرح العراقية المعتمدة (100 ملغم/لتر كحد أعلى)، والسبب في ذلك يعود إلى استمرار عمل هذا الحوض بالرغم من زيادة التصريف في هاتين المرحتين (المرحلة الثانية والثالثة) ضمن مواصفات محطات الحمأة المنشطة التقليدية (Conventional) (Metcalf and Eddy, 2003) أما خلال المرحلة الرابعة فقد انخفضت كفاءة إزالة ألد (COD) بشكل مفاجئ لتصبح في اليوم الثامن اقل من 56 % وبتجاه فشل المعالجة البيولوجية والسبب في ذلك يعود إلى انحسار زمن المكوث الهيدروليكي ليصل لحد

إن السبب الذي جعل الحوض الثالث يعمل بكفاءة أكبر من كفاءة الحوض الثاني في هذه المرحلة على الرغم من تعرضهما إلى نفس الظروف التشغيلية يعود إلى الزيادة في تركيز الأحياء المجهرية في الحوض الثالث عن ما هو عليه الحال في الحوض الثاني، ويعود سبب هذه الزيادة في تركيز الأحياء المجهرية إلى الزيادة في المساحة السطحية التي وفرتها وسائط النمو في هذا الحوض (2808 سم² ستة ألواح) والتي بلغت ضعف المساحة السطحية المتوفرة في الحوض الثاني (1404 سم² ثلاثة ألواح) (Yakoulof, 2005). وحسب القيم الواردة في الجدول (1) يلاحظ بأن كفاءة إزالة الـ (COD) للأحواض الأول والثاني والثالث كانت متساوية تقريبا (80) % عند المراحل التشغيلية الثالثة والرابعة والخامسة على التوالي بالرغم من أن التصريف المسلط لم يكن متساويا على هذه الأحواض حيث بلغ هذا التصريف 38 لتر/يوم و 47.5 لتر/يوم و 57 لتر/يوم عند هذه المراحل وعلى التوالي. أي أنه بعبارة أخرى يمكن للحوض الثاني أن يحافظ على كفاءة إزالة المركبات العضوية على الرغم من زيادة التصريف بنسبة 125 % عن التصريف الفعلي في الحوض الأول، كذلك الحال بالنسبة للحوض الثالث حيث أنه يمكن زيادة استيعاب هذا الحوض لتصريف إضافية بنسبة 150 % عن التصريف الفعلي في الحوض الأول من دون أن تؤثر هذه الزيادة على كفاءة إزالة المركبات العضوية. في الشكلين (8) و (9) تم رسم العلاقة بين الحمل العضوي المسلط على أحواض المحطة الاختبارية من جهة وكفاءة إزالة الـ (COD) وتركيز الـ (COD) في المياه المعالجة من جهة أخرى. وكما هو واضح فمن الممكن استخدام هذه العلاقة كأساس للتنبؤ بكفاءة عمل هذه الأحواض وعند مستويات مختلفة من الأحمال العضوية.

وحدات الحماية المنشطة تفشل أو تضطر لتخفيض الحمل الهيدروليكي المسلط عليها نتيجة لعدم قدرة أحواض الترسيب على عزل الكميات الكبيرة من الأحياء المجهرية المتولدة نتيجة لزيادة هذه الأحمال، لذا فإن الحصول على منظومة قادرة على تحقيق مستويات تشغيل عالية وبنفس الوقت يبقى تركيز الأحياء المجهرية داخل المفاعل منخفض وضمن قابلية حوض الترسيب على العزل يعد خطوة متقدمة جدا والسبب الرئيس الذي يمكن مثل هذه الأنظمة (IFAS) من تطوير أداء محطات معالجة مياه الفضلات التقليدية ورفع قابليتها على تحمل تصاريح أعلى.

وفي المرحلة الخامسة أدت زيادة التصريف (57 لتر/يوم) إلى انحسار زمن المكوث الهيدروليكي في حوضي (IFAS) حيث أصبح (3.16) ساعة، وبدا تأثير عامل تركيز الأحياء المجهرية التي توفرها وسائط النمو الموضوعية في كلا الحوضين واضحا على كفاءة المعالجة في هذه المرحلة. حيث يلاحظ بأن كفاءة إزالة الـ (COD) للحوض الثالث والذي يحتوي على ستة ألواح ويقدر مجموع تركيز الأحياء المجهرية العالقة والملتصقة فيه بـ 1135 ملغم/لتر، كانت بحدود 80.4 % أي ما يعادل تركيز (COD) في المياه المعالجة بحدود (72 ملغم/لتر) (الشكل 6). وهو ما يقع ضمن حدود المواصفات العراقية المعتمدة ($COD < 100$) ملغم/لتر. في حين انخفضت كفاءة إزالة الـ (COD) إلى 71.9 % في الحوض الثاني الذي يحتوي على ثلاثة ألواح ويعمل بمجموع تركيز أحياء مهجريّة ملتصقة وعالقة يقدر بـ 811 ملغم/لتر، الأمر الذي انعكس سلبا على تركيز الـ (COD) في المياه المعالجة لتصبح (103 ملغم/لتر) وهو يتجاوز حدود الطرح المسموح بها حسب المواصفات العراقية المعتمدة (الشكل 7).

بان اقل قيمة سجلت لـ (SVI) بالنسبة للحوض الأول (حوض الحماية المنشطة) كانت خلال المرحلة التشغيلية الأولى. ومع زيادة التصريف الداخل خلال المراحل الثانية والثالثة فقد ازدادت قيمة (SVI) لتصل إلى حد 160 مللتر/غم في المرحلة الثالثة، وهذا ما يؤشر تحول المنظومة تدريجياً باتجاه حالة انتفاخ الحماية (Romalho, 1977). ويعود السبب في هذه الحالة إلى تأثير زيادة نسبة الغذاء المسلط على الأحياء المجهرية (F/M) على خصائص هذه الأحياء وكما أكد على ذلك العديد من الباحثين (Hashemi et al, 2005) (Pipes, et al 1979). أما بالنسبة للحوضين الثاني و الثالث واللذان يعملان بالنظام المطور (IFAS) فيبين نفس الشكل (10) أن قيم معامل دليل الحماية الحجمي (SVI) كانت اقل من قيم مثيلاتها للحوض الأول وعند جميع المراحل التشغيلية. أن الخصائص الترسيبية الجيدة للحماية في أحواض (IFAS) والتي انعكست من خلال انخفاض قيم معامل دليل الحماية الحجمي (SVI) سببها عدم أو قلة احتواء الحماية في هذين الحوضين على البكتريا الخيطية (filamentous bacteria) المسبب الرئيس للانتفاخ وكما هو واضح في الشكل (11) حيث كانت معظم أشكال البكتريا في هذا الحوض كروية أو على شكل عناقيد على عكس الحوض الأول (حوض الحماية المنشطة) حيث يلاحظ أن معظم البكتريا الموجودة في هذا الحوض من النوع الخيطي الشكل (12). ويتفق هذا التفسير مع ما ذكره كل من (Johnson et al, 2002) (Wanner et al, 1988)، حيث أشار هذان الباحثان إلى أن استخدام نظام (IFAS) في المعالجة البيولوجية يؤدي إلى تحسين الخصائص الترسيبية للحماية وذلك بسبب محدودية نمو البكتريا

وحسب نفس المنحني (9) فلتحقيق COD effluent لا يتجاوز 60 ملغم/لتر (حد المواصفات العالمية) (Metcalf and eddy, 2003) في المياه المعالجة في الحوض الأول لابد من تسليط حمل عضوي لا يتعدى $1.43 \text{ kg(COD)/day.m}^3$ في حين يمكن زيادة الأحمال المسلطة على الحوض الثاني والثالث (أحواض IFAS) بحيث تكون بمقدار $1.72 \text{ kg(COD)/day.m}^3$ و $2.43 \text{ kg(COD)/day.m}^3$ على التوالي، أي بمعنى آخر يمكن زيادة الحمل العضوي المسلط على المنظومة بمقدار 120 % للحوض الثاني وبمقدار 170 % للحوض الثالث وبدون حصول أي انخفاض في كفاءة الـ COD الخارج.

تأثير زيادة التصريف على معامل الدليل الحجمي للحماية (SVI):

يعتبر معامل الدليل الحجمي للحماية (SVI) من العوامل المهمة في مراقبة عمل أحواض المعالجة البيولوجية. ويمكن التعرف على الخصائص الترسيبية للحماية من خلال قيم هذا العامل، حيث تؤثر القيم المنخفضة لمعامل دليل الحماية الحجمي (SVI) إلى خصائص ترسيبية جيدة للحماية والعكس صحيح (Eckenfelder, 2000). لذا فقد تم خلال البحث إجراء هذا الفحص دورياً على الحماية العالقة الموجودة في أحواض المحطة الاختبارية وفي نهاية كل مرحلة تشغيلية، ويبين الجدول رقم (3) قيم معامل دليل الحماية الحجمي (SVI) للحماية المأخوذة من هذه الأحواض عند زيادة التصريف وفي كل مرحلة تشغيلية من المراحل الخمسة المتعاقبة.

في الشكل رقم (10) تم تمثيل العلاقة بين قيم معامل دليل الحماية الحجمي (SVI) والتصريف المسلط على كل حوض خلال مراحل العمل المختلفة بشكل مخطط أعمدة. ويلاحظ من الشكل

تراوحت قيمة معامل دليل الحماة الحجمي (SVI) في الأحواض التقليدية ما بين (115-160) مللتر/غم ويعود السبب في ذلك إلى محدودية نمو البكتريا الخيطية في الأحواض المطورة.

5. إن زيادة التصريف الداخلى إلى أحواض المعالجة البيولوجية التي تعمل بنظام الحماة المنشطة التقليدية إلى الحد الذي يتجاوز الحدود التصميمية لعمل هذه المحطات قد لا يؤدي بالضرورة إلى فشل المعالجة داخل حوض التهوية، في حين غالبا ما تؤدي هذه الزيادة في التصريف إلى زيادة تركيز الأحياء المجهرية العالقة في المنظومة مما يؤدي لتقليل سرعة ترسبها وتقليل وقت التعويق مما يقود بالتالي إلى فشل المنظومة البيولوجية نتيجة لعدم قدرة حوض الترسيب على عزل هذه الأحياء وبالتالي انجرافها إلى الخارج.

6. أن استخدام نظام (IFAS) في تطوير أحواض الحماة المنشطة التقليدية يمكن أن يقلل من تركيز الأحياء المجهرية العالقة ويحسن من خصائصها الترسيبية دون أن يؤثر ذلك على كفاءة الإزالة. حيث أثبتت نتائج البحث انخفاض تركيز الأحياء المجهرية العالقة في الأحواض المطورة إلى اقل من 12 % من قيمتها الأصلية في الأحواض التقليدية ودون أن يؤثر ذلك على كفاءة عمل هذه الأحواض. إن مثل هذه النتيجة تعطي امتيازا كبيرا باتجاه تشغيل هذه الأنظمة حيث انه من الممكن الحصول على مستويات معالجة مرتفعة بدون الحاجة لزيادة عدد الأحياء المجهرية العالقة الموجودة في المفاعل وبالتالي دون الخوف من حصول فشل في حوض الترسيب.

المصادر

1. Aurola, A. ; Beun, J.J.; Copp, J.; Morgenroth, E.; Loosdrecht, M.C.M.; and Winkler, S. (2000) "Unbalanced growth",

الخيطية (filamentous bacteria) في أحواض المعالجة البيولوجية التي تعمل بهذا الأسلوب.

الاستنتاجات والتوصيات

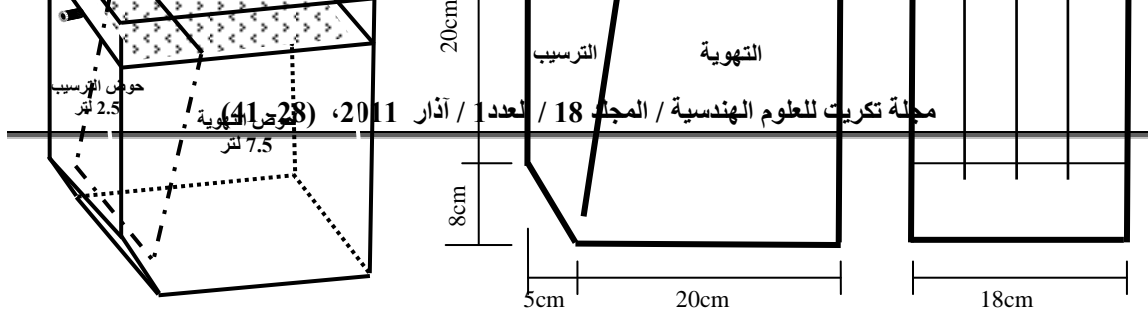
1. يمكن استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل حوض الحماة المنشطة (IFAS) في تطوير أحواض الحماة المنشطة التقليدية حيث يمكن زيادة التصريف الداخلى إلى هذه الأحواض والمحافظة على كفاءة الإزالة في نفس الوقت.

2. أن إضافة وسائط النمو الثابت إلى أحواض الحماة المنشطة بمساحة نسبية تساوي $18.72 \text{ م}^3/\text{م}^2$ يجعل الأحواض المطورة تعمل بنفس كفاءة إزالة الـ(COD) التي كانت قبل التطوير على الرغم من زيادة التصريف بنسبة 125 % وإن وضع وسائط النمو الملتصق بمساحة نسبية تساوي $37.44 \text{ م}^3/\text{م}^2$ يجعل الأحواض المطورة تتعامل مع تصريف أكبر تصل إلى نسبة 150 % من قيمة التصريف الأصلية المسالطة على الأحواض التقليدية دون أن تؤدي هذه الزيادة في التصريف إلى انخفاض كفاءة إزالة الـ(COD).

3. أثبتت نتائج الصور المجهرية الملتقطة لعينات مأخوذة من الأحواض المطورة بنظام (IFAS) أن هذه الأحواض لا تكاد تحتوي على البكتريا الخيطية على عكس البكتريا الموجودة في حوض الحماة المنشطة التقليدية حيث أثبتت الصور المجهرية أن معظم أشكال البكتريا في هذا الحوض كانت خيطية الشكل.

4. أدى استخدام نظام النمو الملتصق المدمج داخل أحواض الحماة المنشطة (IFAS) إلى خفض قيمة معامل دليل الحماة الحجمي (SVI) عن مثيلاتها المسجلة في الأحواض التقليدية حيث تراوحت هذه القيمة في الأحواض المطورة ما بين (78-100) مللتر/غم خلال المراحل التشغيلية المختلفة في حين

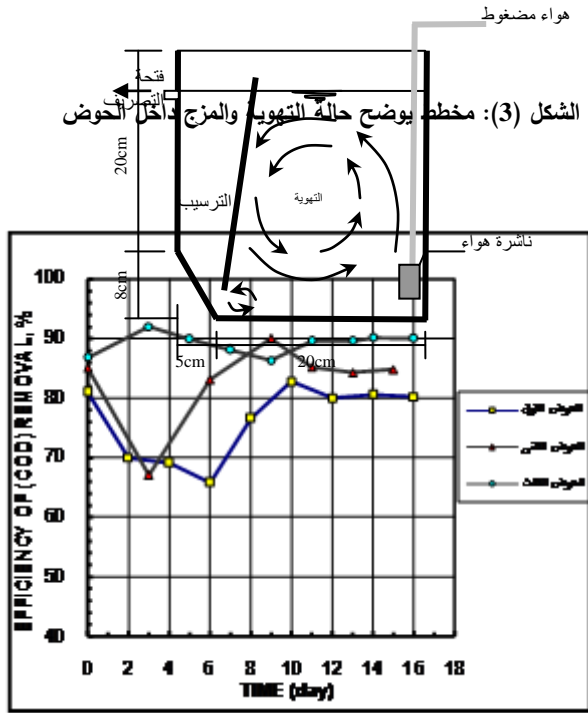
- 10.** Metcalf and Eddy, Inc. (2003) "Wastewater engineering treatment /disposal /reuse", fourth edition, *McGraw-Hill, Inc.*, New York.
- 11.** Pipes, W.O. (1979) "Bulking deflocculation and pin point floc", *Journal Water Pollution Control Federation (WPCF)*, Vol. 51, No. 1.
- 12.** Romalho, R.S. (1977) "Introduction to wastewater treatment process", *Academic press, Inc., Canada*, 165-166
- 13.** Schroeder, E.D. (1977) "Water and wastewater treatment", *McGraw-Hill, USA*, 230.
- 14.** Shechter, R. (2002) "Demonstration of an attached growth airlift reactor for capacity increase and nitrification", *WEFTEC*.
- 15.** Wanner, J.; Kucman, K. and Grau, P. (1988) "Activated sludge process combined with biofilm cultivation", *Water Research*, Vol. 22, No.2, pp. 207-215.
- 16.** Water Technology Group (2001) "Integrated fixed film/activated sludge (IFAS) technology", October, document N o. 4.
- 17.** Yakoulof, S.V. Voronof, Y.V. (2005) "Wastewater treatment and disposal", *Moscow Sate University of Civil Engineering*, Moscow, (In Russian).
- 18.** Yerrell, K.; Gobbie, M.; Dold, P.; Jones, R. & Sickerdick, L. (2001) "Full scale demonstration of a free-moving media IFAS process for enhancing nitrification performance", *WEFTC*.
- European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research*, 6-7 April 2000, Delft The Netherlands.
- 2.** Eckenfelder, W.W. (2000) "Industrial water pollution control", *McGraw-Hill*, New York, third edition.
- 3.** Englehardt, J.D. & Ward, R.C. (1986) "Operation and maintenance requirement for small flow treatment system", *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 58(10).
- 4.** Federico, J.; Richtarik, S.; Gilligan, T.; BETA group Inc. (2002) "IFAS system demonstration of cold temperature nitrogen removal", *WEFTEC*.
- 5.** Fouad, M. & Bhargava, R. (2005) "Sludge production and settleability biofilm-activated sludge process", *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 131, No. 3.
- 6.** Hashemi, S.H.; Azimi, A.A.; Torabian, A.; Bidhendi, G. Nabi; Mahmoodkhani, R. (2005) "Low dissolved oxygen sludge bulking in sequencing batch reactors", *International Journal of Environmental Study*, Vol. 62, Issue 4, pp. 415-420.
- 7.** Johnson, T.; Blak, PE. & Vetch C. (2002) "IFAS BNR full-scale design and performance challenges", *WEFTEC*.
- 8.** Johnson, T.; Macquarie, J. and Shaw, A. R. (2003) "Aged to perfection an integrated fixed- film activated sludge process can nitrify wastewater without increasing existing tankage", *WE&T*, Vol. 15, No. 4.
- 9.** Johnson, T.; Maxwell, M.; Macquarie, J. and Rutt, K. (2001) "Attached growth and hybrid treatment systems", *WEFTC*.

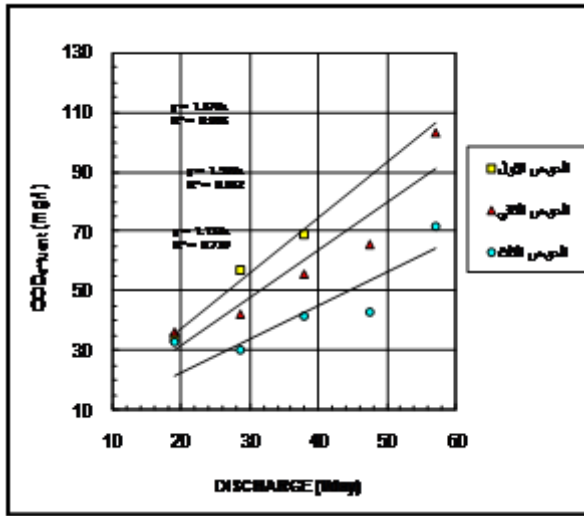


الشكل رقم (1): مخطط يوضح شكل وإبعاد الحوض الأختبري المستخدم في البحث

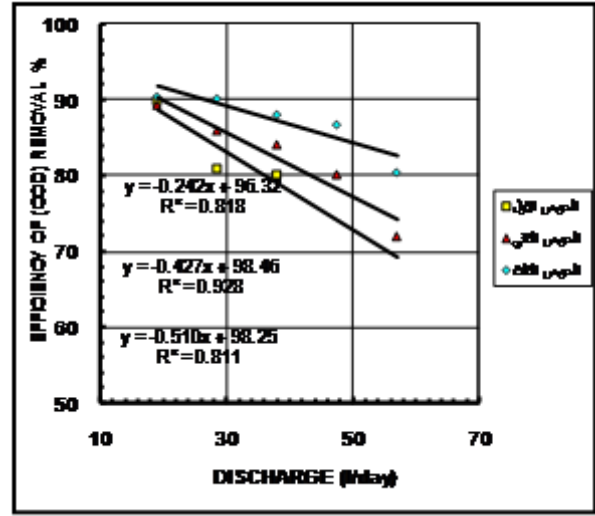


الشكل (2): احد ألواح وسائط شبكة الفايبرر الثابتة المستخدمة في البحث

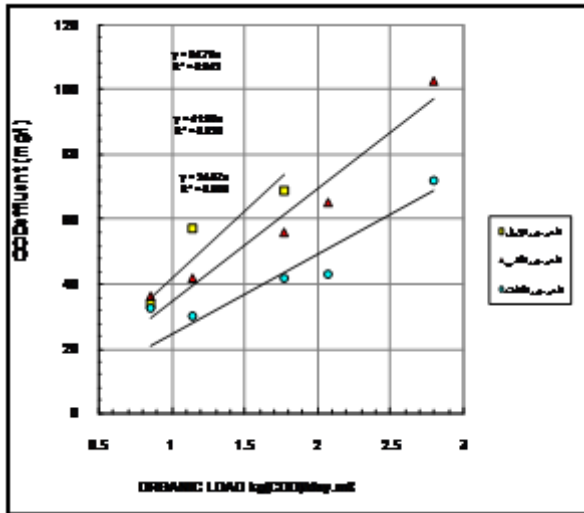




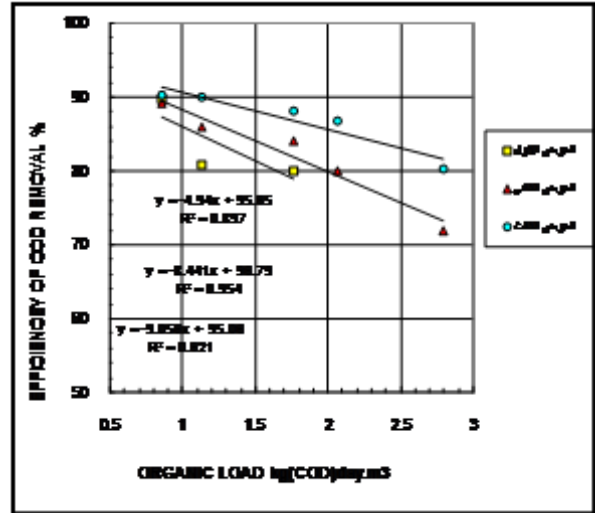
الشكل (7): يوضح علاقة زيادة التصريف الداخل إلى المحطة الاختبارية مع تركيز الـ COD في المياه المعالجة ولكل حوض



الشكل (6): يوضح علاقة زيادة التصريف الداخل إلى المحطة الاختبارية مع كفاءة إزالة الـ COD



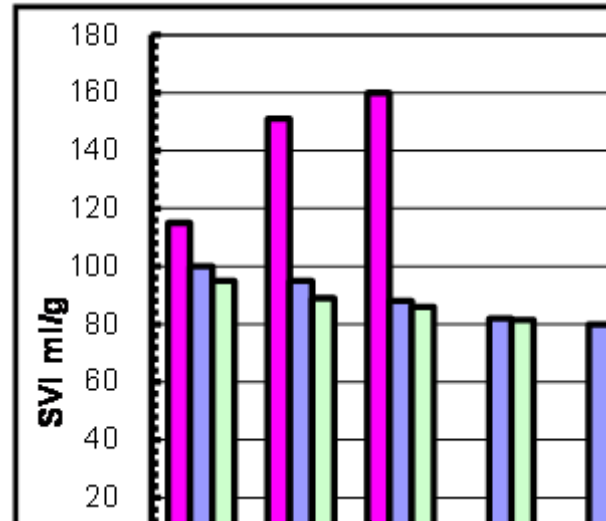
الشكل رقم (9) : يوضح العلاقة بين الحمل العضوي المسلط على أحواض المحطة الاختبارية وتركيز الـ (COD) في المياه المعالجة



الشكل (8) : العلاقة بين الحمل العضوي المسلط على أحواض المحطة الاختبارية وكفاءة إزالة الـ (COD)



الشكل (11): صورة مجهرية مكبرة (100x) لأحياء أمجهرية لعينة مأخوذة من الحوض الثالث (IFAS)



الشكل (10): يوضح قيم الـ (SVI) عند التصريف المختلفة الداخلة إلى أحواض المحطة الاختبارية



الشكل (12): يوضح صورة مجهرية مكبرة (100x) للأحياء المجهرية لعينة مأخوذة من الحوض الأول (AS)

جدول رقم (1): يبين كفاءة إزالة ألد (COD) وتركيز ألد (COD) الخارج من أحواض المحطة الاختبارية عند المراحل التشغيلية المتعاقبة للبحث

الحوض الثالث		الحوض الثاني		الحوض الأول		الحمل العضوي Kg ^{cod} /m ³ .da y	COD الداخل ملغم/لتر	التصريف الداخل لتر/يوم	المرحلة
COD الخارج ملغم/لتر	كفاءة الإزالة %	COD الخارج ملغم/لتر	كفاءة الإزالة %	COD الخارج ملغم/لتر	كفاءة الإزالة %				
32,7	90,3	36,4	89,2	34	89,9	0,854	337	19	الأولى
30	90	42	86	57	81	1,14	300	28,5	الثانية
41,5	88,1	55,8	84	69,1	80,2	1,77	349	38	الثالثة
43,2	86,8	65,4	80	-	-	2,07	327	47,5	الرابعة
72	80,4	103	71.9	-	-	2,8	367	57	الخامسة

جدول رقم (2) تركيز الأحياء المجهرية في الحوض الأول عند المراحل التشغيلية

معدل تركيز الأحياء المجهرية في الحوض الأول (ملغم/لتر)	المرحلة التشغيلية
2500 - 3000	المرحلة الأولى
2500 - 2800	المرحلة الثانية
2500 - 2700	المرحلة الثالثة
250 - 2500	المرحلة الرابعة
لا يوجد بسبب فشل الحوض	المرحلة الخامسة

جدول رقم (3): يوضح قيم معامل دليل الحماية الحجمي (SVI) لأحواض المحطة الاختبارية عند زيادة التصريف في المراحل التشغيلية المتعاقبة

معامل دليل الحماية الحجمي ملتر/غم (SVI)			التصريف الداخلى لتر/يوم	المرحلة التشغيلية
الحوض الثالث	الحوض الثاني	الحوض الأول		
95	100	115	19	الأولى
89	95	151	28,5	الثانية
86	88	160	38	الثالثة
81,5	82	-	47,5	الرابعة
78	80	-	57	الخامسة