دراسة كفاءة المرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلة الواحدة وذو المرحلتين في معالجة المياه الرمادية المنزلية

د. قصي كمال الدين الأحمدي* نادية افرام يعقوب الرحماني**

* أستاذ مساعد، جامعة الموصل/كلية الهندسة ـ قسم الهندسة المدنية

** مدرس مساعد، جامعة الموصل/كلية الهندسة ـ قسم الهندسة المدنية

الملخص

تم في هذا البحث إنشاء وتشغيل محطة مختبريه لغرض دراسة تأثير مراحل الترشيح، وقت المكوث الهيدروليكي وعمق المرشح على سلوك وكفاءة المرشحات البيولوجية اللاهوائية ذات الجريان نحو الأعلى في معالجة المياه الرمادية المنزلية. اشتملت المحطة الاختبارية على مرشحين بيولوجيين الأول ذو مرحلة واحدة والثاني ذو المرحلتين حيث استخدم الحصى المكسر كوسط لنمو الأحياء المجهرية. تم تشغيل المرشحين وفقاً لنظام التغذية المستمرة باستخدام نماذج مياه رمادية منزلية ذات تراكيز COD تراوحت ما بين (190-350) ملغم/لتر وبأوقات مكوث هيدروليكية قدرها 24 و18 و12 ساعة. أظهرت النتائج تفوق المرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلتين خصوصا عند زيادة الحمل الهيدروليكي والعضوي المسلط. إذ بلغت نسبة إزالة كل من COD و BOD في المرشح البيولوجي ذو المرحلتين (75.3 ، 62.7 ، 55.5)% و (78.2 ، 67.4 ، 57.2)% عند أوقات مكوث (24 و18 و12) ساعة على التوالي. في حين كانت نسبة إزالة الـ COD والـ BOD في المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول (67.7 ، 54.8 ، 39.1)% و (73.2 ، 60.5 ، 44.8)% وعند نفس أوقات المكوث وعلى التوالي. كذلك أظهرت النتائج كفاءة هذه المرشحات في إزالة المواد الصلبة العالقة. كما أثبتت النتائج أن ارتفاع المرشح البيولوجي لا يعد عاملا مؤثرا حيث لوحظ بان أسرع إزالة COD تحدث عند ارتفاع (0.3) متر.

Keywords: Greywater, Biological filter, Anaerobic, DT, Organic load, Hydraulic load

Performance Study of the Single and Double Stages Anaerobic Biological Filters in Treating Domestic Greywater

Dr. Kossay K. Al-Ahmady* **Nadia A. Al-Rhmany****

**Ass. Professor; University of Mosul, College of Engineering, Civil Department*

***Ass. Lecturer; University of Mosul, College of Engineering, Civil Department*

Abstract

In this paper, a laboratory plant was constructed and operated in order to assess the effect of stages; detention times and depth of filter on the performance of the upflow anaerobic biological filter that treating domestic grey water. The experimental plant was consisted of two upflow anaerobic filters; the first one operates with a single stage, while the second one was with two stages. Crushed gravels were used as a medium for growing the biological organisms. The two filters were worked simultaneously in continuous flow regime at hydraulic detention times of 12, 18 and 24 hours using greywater samples with COD concentration between 190-350 mg/l. The results showed that the two stages filter was more efficient than the single stage filter. The COD and BOD removals were (55.5, 62.7, 75.3)% and (57.2, 67.4, 78.2)% for the detention times of (12, 18 and 24) hours respectively. While the COD and BOD removals were (67.7, 54.8, 39.1)% and (73.2, 60.5, 44.8)% for the first filter and at the same detention times respectively. The two filters were also efficient in removing the suspended solids. Increasing depth of filter has a little influence on the performance efficiency. Depth of (0.3) m was considered the most effective height by which the quickest COD removal is performed.

أستلم : 17 - 6 - 2009 قبل : 13 - 12 - 2010

المقدمة

تعد مشكلة شحة المياه من أكثر التحديات المستقبلية إثارة للقلق وخصوصا والنقص الكبير الذي تعانيه الكثير من المناطق الحارة في العالم ومنها العراق في هذا المورد. إن العراق الذي تجهز أكثر من (66%) من موارده المائية من مصادر تقع خارج حدوده [14] معني بشكل كبير بالتصدي لهذه المشكلة وعلى كافة السبل وذلك من خلال البدء بوضع البرامج التخطيطية وإنشاء النظم الهندسية اللازمة التي تكفل السيطرة على مصادر الملوثات سواء الصناعية منها أم المدنية [1].

إن معالجة أي مصدر ملوث ومحاولة تعديل خصائصه هو خطوة جيدة في التقليل من الحمل التلوثي الذي يضيفه طرح هذه المياه إلى المورد المائي، إلا أن دراسة إمكانية إعادة استخدام هذه المياه مرة أخرى والبحث عن موقع ما حيث يمكن استخدامها سواء في نفس هذا الموقع أو في موقع آخر يعد خطوة متقدمة في هذا المجال خصوصا وان مثل هذه الدراسات لا تساهم فقط في رفع الحمل التلوثي لهذا المصدر بل وأيضا في تقليل استهلاك المياه النظيفة [1].

ولعل من المركبات الهامة جدا في مياه الفضلات المنزلية هي ما يسمى بالمياه الرمادية (Greywater) والتي تعرف بأنها المياه الناتجة عن جميع الفعاليات المنزلية عدا تلك الفعاليات المرتبطة بإنتاج المياه السوداء أو ما يسمى بمياه المرافق الصحية. تمثل المياه الرمادية نسبة كبيرة جدا من مياه الفضلات المنزلية تتراوح ما بين (50-80)% [13,15,22] .

وبما أن حجم المياه الرمادية يمثل الحجم الأكبر من مياه الفضلات المنزلية وتحتوي على تراكيز قليلة من الملوثات والمغذيات، أصبح من الضروري عزلها ومعالجتها وإعادة استخدامها [12,16]. حيث من الممكن توفير ما يقارب ألـ (40%) من كمية استهلاك المياه النظيفة للأسرة الواحدة في حالة المباشرة ببرامج إعادة استخدام هذه المياه [4,12,13].

تتلخص فكرة إعادة الاستخدام بعزل هذه المياه أولا عن تيار الفضلات المنزلية ومن ثم معالجتها. تحتاج المياه الرمادية إلى معالجة فيزياوية وكيماوية وبيولوجية لإزالة الجسيمات والمواد العضوية الذائبة الموجودة فيها. وهنالك العديد من الأنظمة المستخدمة عالمياً لمعالجة هذه المياه وإعادة استخدامها، ومن هذه الأنظمة الأقراص البيولوجية الدوارة وفرش السطح العائم والأحواض الحيوية ذات الأغشية والمرشحات بالتنقيط وأخيرا تم استخدام أنظمة المعالجة اللاهوائية [11].

تعد المعالجة البيولوجية اللاهوائية للفضلات عملية بيولوجية معقدة تقوم بها مجموعة من الأحياء المجهرية [8] والتي يتم فيها تثبيت الفضلات المعقدة بواسطة ثلاثة عمليات هي التميؤ، تكوين الحوامض، وتكوين الميثان. يتم في عملية التميؤ تكسير المواد العضوية المعقدة إلى مواد أبسط في حين يتم في مرحلة تكوين الحوامض تحويل هذه المواد إلى حوامض دهنية بسيطة مثل حامض الخليك والبروبيونيك. أما المرحلة الأخيرة فتشتمل على تكسر الحوامض الدهنية إلى غازي ثاني أوكسيد الكربون والميثان بواسطة بكتريا الميثان [7].

تمتلك الأنظمة البيولوجية اللاهوائية ميزات عديدة مقارنة مع الأنظمة التقليدية الهوائية، إذ تمتاز بالبساطة وتوفير بالطاقة، مع إنتاج كمية قليلة من الحمأة وسهلة التشغيل. كذلك لا تحتاج هذه الأنظمة إلى عملية تهوية وأجهزة ومعدات معقدة، كما وتتحمل الصدمات العضوية والهيدروليكية [7,13]

يعد استخدام المعالجة اللاهوائية لمياه الفضلات المنزلية ملائما وخصوصا في المناطق الحارة والمناطق الريفية البعيدة مثل القرى والمجمعات الصغيرة وكذلك في السواحل والمدن السياحية [7].

أهداف البحث

1. دراسة كفاءة المرشحات البيولوجية اللاهوائية في إزالة المواد العضوية والمواد الصلبة العالقة للمياه الرمادية ومقارنتها مع مواصفات الطرح العراقية.
2. دراسة تأثير وقت المكوث الهيدروليكي، الحمل الهيدروليكي والعضوي في كفاءة المعالجة وخصائص المياه الناتجة من المرشحات البيولوجية اللاهوائية.
3. دراسة تأثير زيادة ارتفاع عمود الترشيح في كفاءة الإزالة للمواد العضوية.
4. دراسة تأثير تعدد مراحل المعالجة في كفاءة الإزالة للمواد العضوية والمواد الصلبة العالقة.

استعراض المراجع

درست المنظمة [22] كميات ومحتويات وخواص المياه الرمادية وبحسب مصادرها في المنزل، ووجدت أنها تشكل نسبة كبيرة تصل إلى (70)% من مياه الفضلات المنزلية، كما وتختلف نوعيتها حسب مصدرها. أوصت المنظمة بضرورة معالجة هذه المياه قبل إعادة استخدامها وذلك لما تحويه من ملوثات قد تشكل خطورة على الصحة العامة والبيئة.

واستعرض [12] الاختلاف بين المياه الرمادية والمياه السوداء من ناحية الحمل التلوثي وتراكيز المغذيات (لاحظ الجدول1)، وبين إمكانية استخدام هذه المياه (بعد المعالجة) في غسل المرافق الصحية، ري الحدائق المنزلية، المنتزهات والحقول الرياضية، الزراعة، غسل السيارات والشبابيك، إطفاء الحرائق، تغذية ماء الغلايات، إنضاج الخرسانة، المحافظة على الأهوار، والترشيح داخل الأرض.

الجدول (1): مقارنة بين معدل الحمل التلوثي للمياه الرمادية والمياه السوداء

الخصائص	المياه الرمادية (g/p.day)	مياه الفضلات المنزلية (g/p.day)
المتطلب الحيوي للأوكسجين (BOD)	34	71
المواد الصلبة العالقة (S.S)	18	70
النيتروجين الكلي (TN)	1.6	13.2
الفسفور الكلي (TP)	3.1	4.6
الفسفور الكلي (TP)*	0.5	1.9

*(المياه لا تحوي على منظفات)

كما درس [6] إمكانية استخدام نظام معالجة لاهوائي لمعالجة المياه الرمادية في المجمعات الصغيرة في الأردن. يتكون النظام من أربعة براميل، يمثل الأول حوض معالجة تمهيدية يمرر بعدها الماء إلى البرميلين الوسطيين اللذين يعملان بمثابة مرشح بيولوجي لاهوائي، في حين يمثل البرميل الرابع حوض تجميع لتحويل الماء المعالج إلى شبكة الري بالتنقيط. وأظهرت نتائج البحث فعالية المنظومة في تحقيق إزالة جيدة للأحمال العضوية الموجودة والمواد الصلبة العالقة وباستخدام وقت مكوث هيدروليكي يتراوح ما بين (2-1) يوم، فضلاً عن كون النظام بسيط واقتصادي ومن الممكن إقامته داخل المنزل. كما وأوصى الباحث بإمكانية استخدام المياه المعالجة لسقي أشجار الفاكهة والخضراوات التي تؤكل مطبوخة.

واستعرض [5] ميزات استخدام نظام الخندق المحصور اللاهوائي في معالجة المياه الرمادية في الأردن. يتكون النظام من برميلين بلاستك وخندق، يمثل البرميل الأول حوض معالجة ابتدائية، أما الخندق فهو عبارة عن حفرة ذات حجم محسوب ملئت بحصى ذو قطر (20-30) ملم وهي تعمل كمرشح لاهوائي ذو جريان نحو الأعلى يعمل بوقت مكوث هيدروليكي يتراوح ما بين (2-3) أيام. أما البرميل الثاني فهو عبارة عن حوض تجميع، ومنه ينقل الماء المعالج بوساطة المضخة إلى شبكة الري بالتنقيط.

وقام [17] بدراسة إمكانية استخدام المياه الرمادية المعالجة لاهوائياً في ري أشجار الزيتون في مدينة نابلس في فلسطين. تكونت منظومة المعالجة من بركة لاهوائية لإزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب والمواد الطافية، يليها مرشح لاهوائي ثم تمرر مياه الفضلات على مرشح رملي يؤدي إلى بركة تهذيب، إذ يتم القضاء فيها على البكتريا الحية بوساطة أشعة الشمس. استنتج الباحث أن النظام المستخدم يحقق كفاءة معالجة عالية مع إمكانية استخدامه للري غير المحصور، إذ كانت نسبة إزالة الـ COD والـ BOD بحدود (92%) و(95%) على التوالي.

كما واستخدم [20] المرشحات البيولوجية ذات الجريان نحو الأعلى (UAF) في معالجة مياه الفضلات الناتجة من مصانع الورق. حيث تم تحقيق نسبة إزالة COD تساوي (67.59، 65.61، 65.47، 49.60 و 47.49)% عند معدل حمل عضوي يساوي (2.37، 2.84، 3.55، 4.74، و 10.66) كغم COD/ م^3.يوم على التوالي. كما استنتج الباحث حصول إزالة عالية لتراكيز الـ COD في الجزء السفلي من المرشح، تقل تدريجيا كلما زاد الارتفاع إلى أن تصبح ثابتة نسبيا في الجزء العلوي من المرشح .

المواد وطرائق العمل

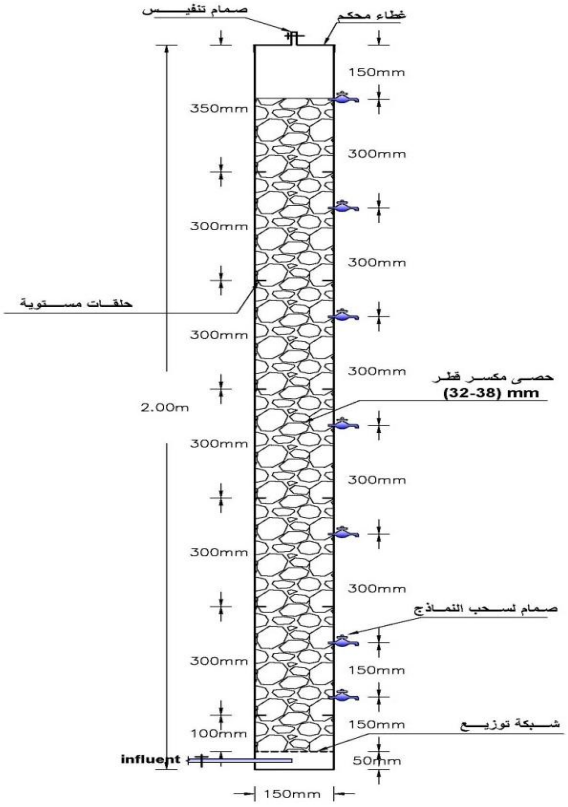
تكونت المحطة الاختبارية قيد الدراسة من مرشحين بيولوجيين لاهوائيين يعمل الأول بمرحلة واحدة في حين يعمل المرشح الثاني بمرحلتين. تم تصنيع كلا المرشحين من صفائح معدنية مغلونة مقاومة للصدأ قياس (20) وكما يلي:

1- المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول (ذو المرحلة الواحدة):

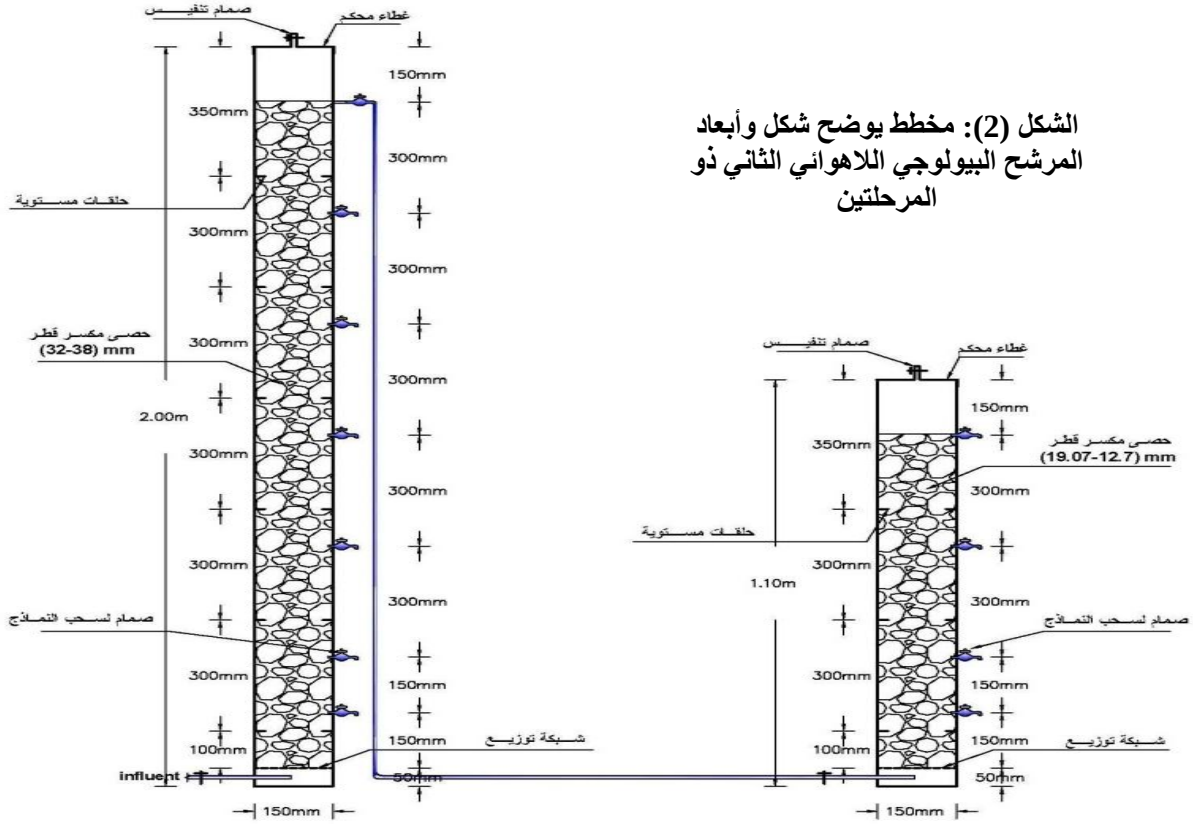
تم تصنيع المرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلة الواحدة (الشكل 1) من عمود اسطواني قطر قاعدته (150) ملم وارتفاعه (2000) ملم وتبلغ السعة الإجمالية له (31.7) لتر. تم إدخال مياه الفضلات إلى المرشح بوساطة صمام سفلي مثبت جانبياً في قاعدة المرشح.

2- المرشح البيولوجي اللاهوائي الثاني (ذو المرحلتين):

تم تصنيع هذا المرشح ليحتوي على مرحلتين تشتمل المرحلة الأولى على مرشح مشابه بشكل كامل للمرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلة الواحدة والمشار إليه في أعلاه في حين تشتمل المرحلة الثانية على مرشح آخر بارتفاع (1100) ملم وقطر (150) ملم أيضا وبسعة إجمالية بحدود (15.8) لتر، يرتبط كلا المرشحين على التوالي بشكل جانبي ومن الأسفل وذلك لتحقيق الجريان نحو الأعلى (الشكل 2).



الشكل (1): مخطط يوضح شكل وأبعاد المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول ذو المرحلة الواحدة



الشكل (2): مخطط يوضح شكل وأبعاد المرشح البيولوجي اللاهوائي الثاني ذو المرحلتين

تم تجهيز كلا المرشحين اللاهوائيين ذو المرحلة الواحدة وذو المرحلتين بمصفاة لتوزيع المياه وضعت على ارتفاع (50) ملم من القاعدة لغرض ضمان توزيع المياه الداخلة على مساحة مقطع الاسطوانة، كذلك جهزت المرشحات بصمامات جانبية لسحب النماذج موزعة على طول ارتفاع المرشح وبمسافة (300) ملم بين صمام وآخر لغرض مراقبة تأثير الارتفاع على كفاءة الإزالة مع وضع صمام إضافي على مسافة (150) ملم من قاعدة المصفاة لغرض تعزيز مراقبة الجزء السفلي من المرشح. تم ملئ كلا المرشحين اللاهوائيين بالحصى المكسر إلى ارتفاع (1800) ملم وبقطر (32-38) ملم وذلك حسب توصية العديد من الباحثين مثل [13,23] ، في حين تم ملأ المرشح الذي يمثل المرحلة الثانية من المرشح الثاني بحصى مكسر قطر (12.7-19.07) ملم وبارتفاع (900) ملم.

تم حساب مسامية الوسط في كل مرشح بيولوجي وفقا للطريقة المذكورة من قبل [2] حيث بلغت مسامية الوسط (0.46) في المرشحات ذات الحصو المكسر قطر (32-38) ملم، في حين كانت المسامية (0.44) في المرشح ذو الحصى المكسر قطر (12.7-19.07) ملم. كذلك تم تجهيز المرشح بغطاء محكم الغلق، وضع في الجزء العلوي من المرشحات البيولوجية وذلك لضمان تحقيق الظروف اللاهوائية مع تجهيز الغطاء العلوي بصمام لخروج الغازات المتولدة عن عملية التحلل اللاهوائي.

ولغرض منع حدوث ظاهرة الدورة القصيرة (Short-Circuiting) أثناء مرور المياه داخل الوسط [23]، فقد تم إضافة مجموعة من الحلقات الأفقية المستوية داخل كل مرشح بيولوجي تم تصنعيها من صفيح مغلون قياس (18) وبعرض 19 ملم مثبتة على حلقات مطاطية أكبر وبقطر مساوٍ تماما لقطر المرشح البيولوجي، (لاحظ الشكل 3). وزعت هذه الحلقات داخل المرشح بترتيب خاص يجعل صمامات سحب النماذج واقعة تقريباً بمنتصف المسافة ما بين كل حلقتين، حيث يسمح هذا الترتيب بسحب نماذج ممثلة مارة بالوسط البيولوجي للمرشح بدون مرورها من السطح الجانبي للاسطوانة.

الشكل (3): صورة فوتوغرافية توضح الحلقات المستوية الموضوعة داخل المرشحات البيولوجية اللاهوائية

3- التشغيل التمهيدي للمرشحات البيولوجية اللاهوائية:

نظرا لعدم وجود شبكة مجاري مدينية عامة تحوي على مياه رمادية معزولة بشكل تام عن المياه السوداء وغير معرضة للتخفيف والتغيير في الخصائص الناتج عن هطول الأمطار، فقد تم خلال هذا البحث تجميع هذه المياه من مجموعة منازل داخل مدينة الموصل، حيث تحتوي هذه المنازل (كحال غالبية بيوت المدينة) على شبكة مجاري داخلية مستقلة لنقل المياه السوداء إلى حوض التعفين في المنزل، في حين يتم نقل مياه الفضلات الأخرى (المياه الرمادية) إلى خارج المنزل بواسطة شبكة داخلية مفصولة، وبما يضمن عدم تداخل هذه المطروحات. الجدول رقم (2)، يبين خصائص مياه الفضلات الرمادية المستخدمة في البحث.

الجدول رقم (2): خصائص المياه الرمادية المنزلية المدروسة

الخصائص	الوحدة	المدى	المعدل
المتطلب الكيميائي للأوكسجين (COD)	mg/l	350-190	254.82
المتطلب الحيوي للأوكسجين (BOD)	mg/l	185-85	110.18
الأوكسجين المذاب (DO)	mg/l	0.9-0.5	0.70
الرقم الهيدروجيني (pH)	-	7.75-6.8	7.19
التوصيل الكهربائي (EC)	µmho/cm	870-625	757.85
المواد الصلبة العالقة (TSS)	mg/l	535-75	171.14
النترات (NO_3)	mg/l	0.38-0.3	0.31
الفوسفات (PO_4)	mg/l	3.5-1.8	2.36
الكلوريدات (Cl)	mg/l	50-22	38.90
الصوديوم (Na)	mg/l	90-70	82.34
الكبريتات (SO_4)	mg/l	136-92	108.50

تم ضخ المياه الرمادية إلى خزان تغذية مرتفع سعة (120) لتر ومنه إلى خزان وسطي اقل ارتفاعاً سعة (30) لتر مزود بصمام قطع تصريف لضمان بقاء منسوب المياه ثابت داخل الخزان الوسطي، مما يساعد على توفير ضغط هيدروستاتيكي ثابت يقلل من تذبذب تصريف المياه الداخلة إلى المرشحات البيولوجية اللاهوائية. تم ربط خزان التغذية الوسطي بالمرشحات البيولوجية بواسطة أنابيب بلاستيكية (PVC) تحتوي على صمام خاص يمكن من خلاله التحكم بكمية المياه الداخلة لكل مرشح.

قبل البدء بتشغيل المرشحين الأول والثاني تم إمرار ماء نظيف لإتمام عملية غسل الحصى المكسر والمرشحات وجعلها نظيفة تماما والتأكد من خلوها من التسريب والنضوح [21]، تم بعد ذلك تفريغ المرشحات البيولوجية اللاهوائية من الماء النظيف، ثم حقنت بالبذور الأولية (Seed) وعلى جرعتين وبحسب النسب والطريقة المقترحة من الباحثين [18,23]، حيث حقنت الجرعة الأولى من البذور والتي مقدارها (30) غم في الجزء السفلي من كل مرشح بيولوجي، ثم تركت لمدة (20) يوماً تلاها حقن بالجرعة الثانية (جرعة تكثيف البكتيريا) التي أدخلت على كل مرشح بالطريقة نفسها وبالمقدار الذي اعتمد بالجرعة الأولى.

تم تشغيل المرشحات بأسلوب التغذية المستمرة (continuous flow) وبجريان نحو الأعلى، حيث استخدم في بداية التشغيل، ولمدة (10) أيام، وقت مكوث هيدروليكي عالٍ نسبياً (72 ساعة) وذلك للتقليل من سرعة التصريف، وبالتالي انجراف البذور خارج المرشحات [13]، بعدها تم الانتقال لاستخدام وقت مكوث هيدروليكي (24) ساعة ولحين الحصول على حالة الاستقرار في المحطات الاختبارية.

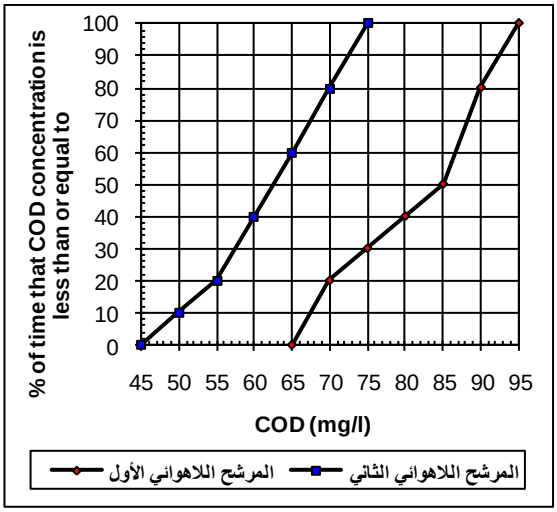
استمرت مرحلة التشغيل التمهيدية (82) يوماً تم خلالها إجراء فحوص دورية للمياه الخارجة وبمعدل قراءة واحدة كل يومين أو ثلاثة للاستدلال على حالة التوازن والاستقرار للمرشحات البيولوجية وبحسب توصية [19].

قسم العمل المختبري إلى ثلاثة مراحل، تم خلال المرحلة الأولى تشغيل المرشحات البيولوجية على وقت مكوث هيدروليكي يساوي (24) ساعة، في حين تم خلال المرحلتين الثانية والثالثة تشغيل هذه المرشحات على أوقات مكوث هيدروليكية تساوي (18) و (12) ساعة على التوالي. تم خلال هذه المراحل دراسة خصائص المياه الخارجة من المرشحات البيولوجية اللاهوائية ومقارنتها لغرض بيان تأثير مراحل الترشيح في الكفاءة، فضلا عن دراسة خصائص المياه الخارجة من كل صمام موجود على ارتفاع المرشح لمعرفة تأثير ارتفاع المرشح في كفاءة الإزالة.

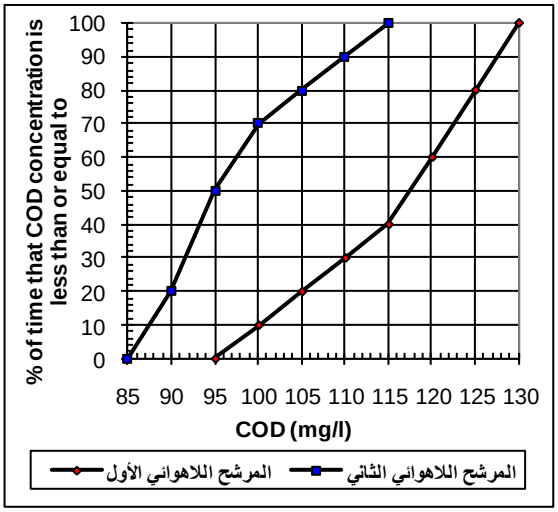
النتائج والمناقشة

1- كفاءة المرشحات البيولوجية اللاهوائية في إزالة المواد العضوية:

تبين الأشكال (4 ، 5 ، 6) منحنيات التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز الـ COD للمياه الخارجة من المرشحات الثلاث عند أوقات مكوث هيدروليكية (24 و18 و12) ساعة على التوالي وللمراحل التشغيلية التي أعقبت المرحلة التمهيدية. وكما يلاحظ من الشكل (4)، فانه عند وقت مكوث هيدروليكي مقداره (24) ساعة فإن (100)% من القيم كانت أقل أو تساوي (95) و(75) ملغم/لتر للمرشحين الأول والثاني على التوالي، في حين انخفضت نسبة القراءات ذات تراكيز COD المساوي لـ (100) ملغم/لتر أو اقل إلى (10)% مع انخفاض وقت المكوث الهيدروليكي إلى (18) ساعة في المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول والى (70)% من القراءات في المرشح الثاني (لاحظ الشكل رقم 5). بالمقاب انخفضت نسبة

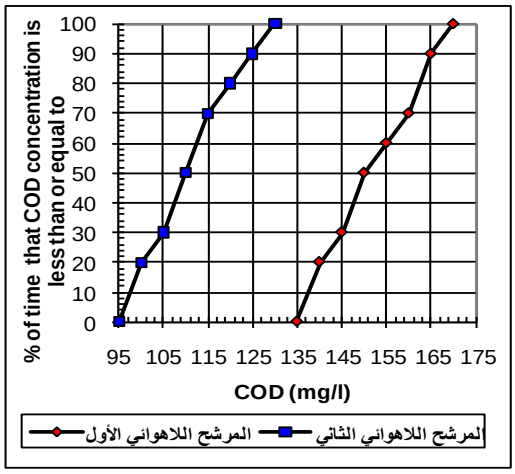


الشكل(4): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية عند وقت مكوث هيدروليكي 24 ساعة



الشكل (5): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية عند وقت مكوث هيدروليكي 18 ساعة

الإزالة عند تقليل وقت المكوث الهيدروليكي إلى (12) ساعة حيث أصبحت (10)% من قراءات المرشح الأول ذات تراكيز COD أكثر من (135) ملغم/لتر واقل من (170) ملغم/لتر أو تساويه، في حين أصبحت (20)% من القراءات المسجلة في المرشح الثاني ذات تراكيز COD أقل من أو تساوي (100) ملغم/لتر بينما النسبة المتبقية من القراءات كانت ذات قيم أكثر من (100) ملغم/لتر وأقل أو تساوي (130) ملغم/لتر، لاحظ الشكل (6).



الشكل(6): التوزيع التكراري التراكمي لتراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحين اللاهوائيين عند وقت مكوث هيدروليكي 12 ساعة

يبين الجدول (3) معدل تراكيز الـ COD والـ BOD للمياه الخارجة من المرشحين الأول والثاني أثناء المراحل المتعاقبة للبحث. ويلاحظ من الجدول أن وقت المكوث الهيدروليكي المساوي لـ (24) ساعة مناسب للمرشحين اللاهوائيين لخفض تراكيز الـ COD و الـ BOD للمياه الرمادية بحيث تقع ضمن حدود مواصفات الطرح العراقية المعتمدة، بينما أظهرت نتائج التحليل الإحصائي تفوق المرشح الثاني ذو المرحلتين على المرشح الأول في خفض تراكيزالـ COD و الـ BOD وبفرق معنوي ($P \leq 0.05$). كذلك تفوق المرشح البيولوجي اللاهوائي الثاني ذو المرحلتين على المرشح الأول في خفض تراكيز الـ COD و الـ BOD عند وقت مكوث هيدروليكي قدره (18) ساعة وبفرق معنوي إحصائياً مع بقاء تراكيز الـ COD و الـ BOD للماء الخارج من المرشح الثاني ضمن حدود المواصفات العراقية (COD = 100 ملغم/لتر، BOD = 40 ملغم/لتر كحد أعلى[3]). أما عند تقليل وقت المكوث الهيدروليكي إلى (12) ساعة، فان معدل قيم الـ COD والـ BOD الخارجة كانت خارج حدود مواصفات الطرح العراقية مع بقاء المرشح الثاني متفوقاً على المرشح الأول وبفرق معنوي إحصائيا. وكما يتبين من النتائج فان هنالك تأثيرا واضحا لوقت المكوث الهيدروليكي في كفاءة الإزالة حيث تزداد الكفاءة مع زيادة وقت المكوث الهيدروليكي، وتتفق هذه النتيجة مع ما جاء به الباحثون [5,6,13,15,23].

2- كفاءة المرشحات البيولوجية اللاهوائية في إزالة المواد الصلبة العالقة:

تم خلال البحث قياس تركيز المواد الصلبة العالقة (TSS) للمياه الداخلة إلى المرشحين البيولوجيين ذو المرحلة الواحدة والمرحلتين. ومع استمرار التشغيل لوحظ الانخفاض الواضح لتراكيز المواد الصلبة العالقة في المياه الخارجة من المرشحين وعند جميع أوقات المكوث الهيدروليكية المستخدمة في البحث حيث تراوحت قيمها ما بين (15-40) ملغم/لتر. ويعود سبب ذلك إلى أن طول مسار المياه خلال المرشح والذي يساهم في توفير الفرصة لمادة الوسط لكي تعمل بمثابة مصيدة لإزالة المواد الصلبة العالقة، وتتوافق هذه النتيجة مع ما أورده الباحثان [9,10]. كذلك يلاحظ أن تراكيز المواد العالقة كانت اقل من حدود مواصفات الطرح العراقية المعتمدة (S.S = 60 ملغم/لتر كحد أعلى [3]) وتحت مختلف الظروف التشغيلية.

الجدول (3): معدل تراكيز الـ COD والـ BOD للمياه المعالجة الخارجة من المرشحين اللاهوائيين عند المراحل التشغيلية المتعاقبة للبحث

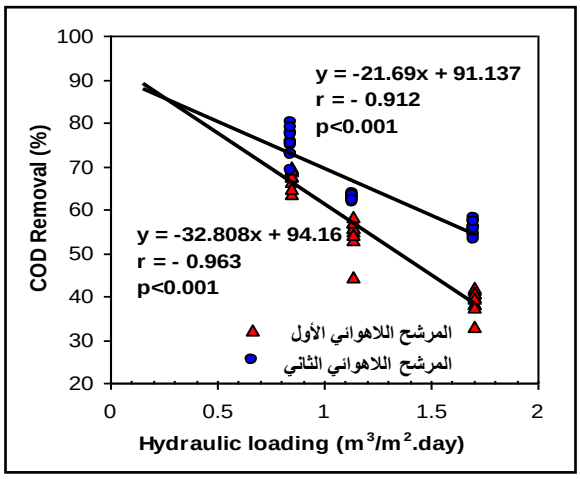
المرحلة	وقت المكوث الهيدروليكي (hr)	COD الخارج (mg/l)		BOD الخارج (mg/l)	
		المرشح الأول	المرشح الثاني	المرشح الأول	المرشح الثاني
الأولى	24	b 80.6	a 61.5	b 26.8	a 21.6
الثانية	18	b 116.6	a 96.6	b 46.0	a 38.0
الثالثة	12	b 152.8	a 111.7	b 62.75	a 48.5

المعدلات ذات الحروف المختلفة افقياً تعني وجود فرق معنوي عند مستوى ($P \leq 0.05$) حسب اختبار دنكن.

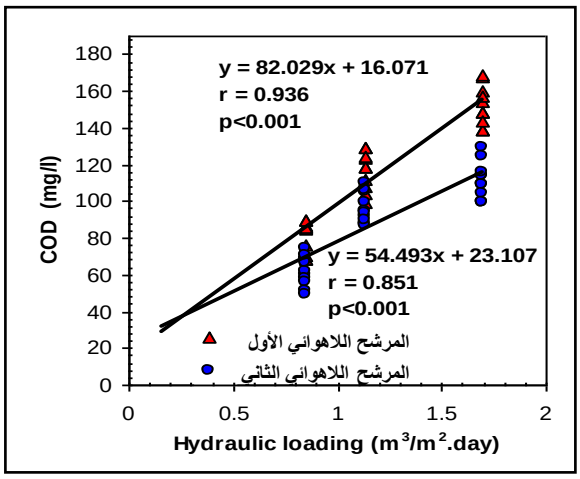
3- تأثير زيادة الأحمال العضوية والهيدروليكية في كفاءة إزالة المواد العضوية

تمثل القيم الواردة في الجدول (4) كفاءة المرشحات البيولوجية اللاهوائية في إزالة تراكيز الـ COD والـ BOD من المياه الرمادية أثناء مراحل البحث. في حين تبين الأشكال (7 ، 8 ، 9 ، 10 ، 11) العلاقة بين كفاءة إزالة المواد العضوية وبين الحمل الهيدروليكي أو العضوي المسلط على المرشحين اللاهوائيين. وكما يلاحظ من الأشكال فأن

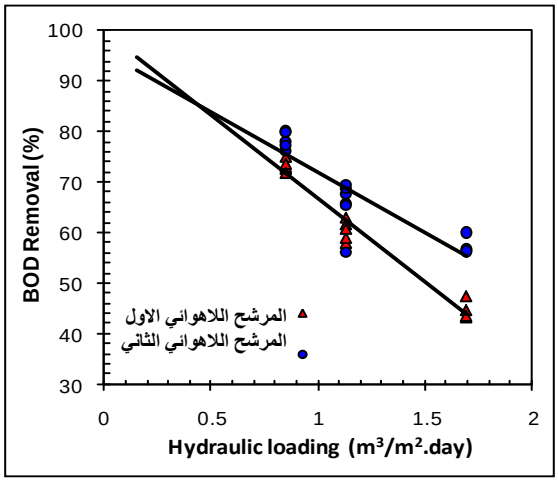
هناك ارتباطاً معنويا بين الحمل المسلط وكفاءة الإزالة ($P<0.001$)، إذ تنخفض النسب المئوية لإزالة المواد العضوية وتزداد تراكيزها مع زيادة الأحمال المسلطة على المرشح، حيث تراوحت قيم معامل الارتباط بين (0.851-0.982).



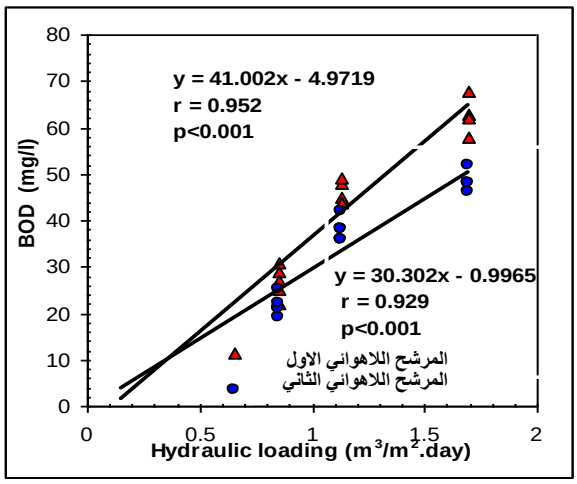
الشكل (7): العلاقة بين نسبة إزالة (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية مع الحمل الهيدروليكي



الشكل (8): العلاقة بين تراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية مع الحمل الهيدروليكي



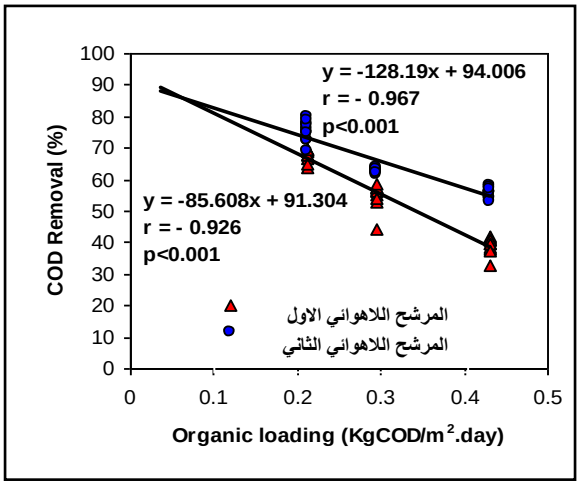
الشكل (9): العلاقة بين نسبة إزالة (BOD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية مع الحمل الهيدروليكي



الشكل (10): العلاقة بين تراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحات اللاهوائية مع الحمل الهيدروليكي

كذلك يلاحظ من الأشكال أن المرشح البيولوجي الثاني ذو المرحلتين قد تفوق على المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول ذو المرحلة الواحدة في كفاءة الإزالة وتقليل تراكيز الـ (COD والـ BOD) عند تسليط أحمال هيدروليكية أو عضوية متساوية على المرشحين.

كذلك فانه وعند نفس نسبة الإزالة فان المرشح البيولوجي الثاني ذو المرحلتين يستطيع تقبل حمل هيدروليكي أو عضوي أعلى مقارنة بالمرشح الأول ذو المرحلة الواحدة. فمثلا عند نسبة إزالة لتراكيز الـ COD الـ BOD قدرها 60% فإن المرشح البيولوجي اللاهوائي الثاني يستطيع تقبل حمل هيدروليكي أعلى بمقدار (1.4 و 1.3) مرة من



الشكل (11): العلاقة بين نسبة الإزالة لتراكيز (COD) للمياه المعالجة الخارجة من المرشحين اللاهوائيين مع الحمل العضوي

المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول، لاحظ الشكل (7) و (9).

ويعود السبب في ذلك إلى أن المرحلة الثانية (التكميلية) تساعد على إزالة المواد العضوية المتبقية التي لم يتم إزالتها في المرحلة الأولى مما يؤدي بالتالي إلى زيادة كفاءة المعالجة البيولوجية. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه عدد من الباحثين [5,6,13].

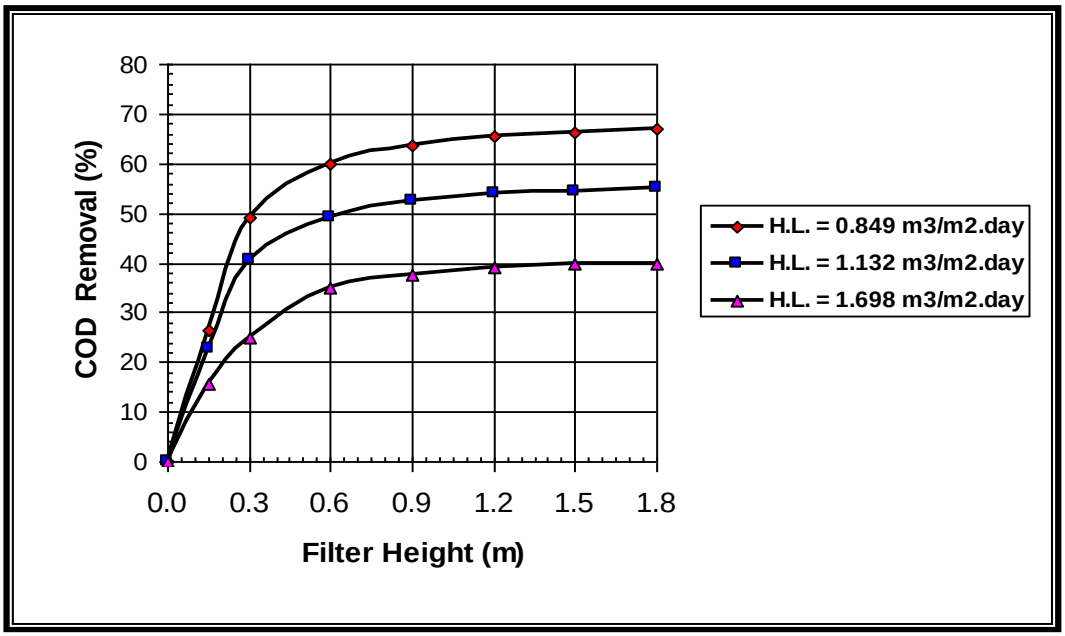
الجدول (4): النسبة المئوية لكفاءة إزالة تراكيز الـ COD والـ BOD للمياه المعالجة الخارجة من المرشحين اللاهوائيين

المرحلة	وقت المكوث الهيدروليكي (hr)	المرشحات البيولوجية اللاهوائية	معدل الحمل الهيدروليكي ($m^3/m^2.d$)	معدل الحمل العضوي ($Kg_{COD}/m^2.d$)	كفاءة الإزالة COD (%)	كفاءة الإزالة BOD (%)
الأولى	24	الأول	0.849	0.212	67.7	73.2
		الثاني	0.849	0.212	75.3	78.2
الثانية	18	الأول	1.132	0.294	54.8	60.5
		الثاني	1.132	0.294	62.7	47.4
الثالثة	12	الأول	1.698	0.432	39.1	44.8
		الثاني	1.698	0.432	55.5	57.2

4- تأثير زيادة ارتفاع عمود الترشيح في كفاءة إزالة المواد العضوية:

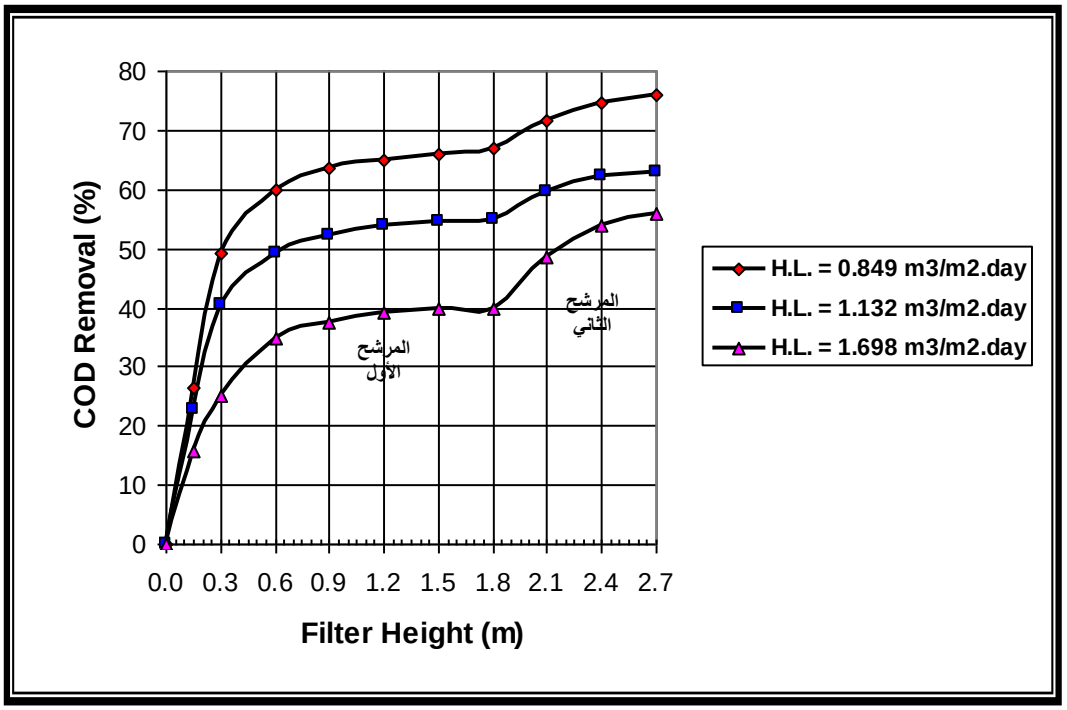
تبين الأشكال (12 و 13) العلاقة بين ارتفاع عمود الترشيح والنسبة المئوية لإزالة المواد العضوية ممثلة بقيم الـ COD للمرشح البيولوجي الأول والثاني وعند أوقات مكوث هيدروليكية مختلفة.

وكما يلاحظ من الشكل (12) فأن أعلى نسبة إزالة تحدث في الجزء السفلي من المرشح وإلى حد ارتفاع (300) ملم، تليها مرحلة تدريجية لحد ارتفاع (600) ملم، يصبح بعدها تأثير الارتفاع محدودا جدا. ويعود السبب في هذه الحالة إلى التجمع الكثيف للبادات الأحياء المجهرية في الجزء السفلي من المرشح نتيجة لتوفر الغذاء، والتي يقل تركيزها كلما ارتفعنا إلى أعلى المرشح مما يقلل من فاعلية الإزالة في الجزء العلوي من المرشح. ويتفق هذا التعليل مع ما أشار إليه عدد من الباحثين [18,20,23] من أن زيادة ارتفاع المرشح البيولوجي اللاهوائي عن 1200 ملم غير محبذ في مدى الأقطار المستخدمة في البحث كون أن كفاءة الإزالة تصبح ثابتة تقريباً بعد هذا الارتفاع.



الشكل (12): العلاقة بين ارتفاع المرشح والنسبة المئوية لإزالة (COD) في المرشح الأول ذو المرحلة الواحدة عند أحمال هيدروليكية مختلفة

كذلك يلاحظ من الشكل (13) أن كفاءة الإزالة في المرحلة الأولى من المرشح ذو المرحلتين مماثلة لكفاءة الإزالة في المرشح البيولوجي اللاهوائي الأول، كون أن كلا المرشحين متماثلين تماما في الأبعاد والشكل والظروف التشغيلية.
في حين يلاحظ نفس تأثير الارتفاع في المرحلة الثانية من المرشح البيولوجي الثاني حيث تحدث أعلى نسبة إزالة في الثلث الأول من المرشح ولحد عمق (300) ملم يعقبها تباطأ في العملية مع ازدياد ارتفاع المرشح. من ذلك يستنتج بأن ارتفاع (300) ملم هو الارتفاع المؤثر الذي تحصل عنده أكبر نسبة إزالة لتراكيز المواد العضوية عند استخدام مرشح بيولوجي لاهوائي بقطر (150) ملم.



الشكل (13): العلاقة بين ارتفاع المرشح والنسبة المئوية لإزالة (COD) في المرشح الثاني ذو المرحلتين عند أحمال هيدروليكية مختلفة

الاستنتاجات

1- تستغرق المرشحات البيولوجية اللاهوائية ذات الجريان نحو الأعلى وقتا طويلا بحدود (82) يوماً للوصول إلى حالة الاستقرار والتوازن.
2- تزداد كفاءة الإزالة مع زيادة وقت المكوث الهيدروليكي.
3- يستطيع المرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلة الواحدة خفض قيم BOD و COD في المياه الخارجة إلى حدود مواصفات الطرح العراقية المعتمدة عند تشغيله على وقت مكوث هيدروليكي قدره (24) ساعة، في حين يمكن خفض وقت المكوث الهيدروليكي إلى (18) ساعة عند استخدام مرشح بيولوجي لاهوائي بمرحلتين مع الحفاظ على مواصفات المياه الخارجة نفسها.
4- عند تسليط أحمال هيدروليكية أو عضوية متساوية يتفوق المرشح البيولوجي ذو المرحلتين على المرشح البيولوجي اللاهوائي ذو المرحلة الواحدة في تحقيق كفاءة إزالة أعلى وتراكيز (COD) و (BOD) اقل في المياه الخارجة.
5- تحصل اكبر نسبة إزالة لتراكيز الـ (COD) في الجزء السفلي من المرشح والى حد ارتفاع (300) ملم من قاعدة المرشح بقطر (150) ملم.
6- تستطيع المرشحات البيولوجية اللاهوائية العمل لفترات طويلة عند معالجة المياه الرمادية بدون حدوث مشكلة الانسدادات، إذ لم تلاحظ هذه المشكلة طوال مدة تشغيل هذه المرشحات التي امتدت لأكثر من (7) أشهر.

التوصيات

1. دراسة تأثير قطر حبيبات الوسط في كفاءة إزالة المواد العضوية وخصائص المياه الناتجة.
2. دراسة تأثير استخدام مرشح بيولوجي هوائي يعقب المرشح البيولوجي اللاهوائي في كفاءة وتحسين خصائص المياه الناتجة.

المصادر

1-المصادر العربية:

1. الأحمدي، قصي كمال الدين (2006) "دراسة طبيعة المطروحات السائلة وتقييم إمكانية إعادة استخدام مياه التبريد في مصنع سمنت حمام العليل الجديد"، *مجلة هندسة الرافدين*، المجلد 14، العدد 4، الصفحة 20-33.
2. العشو، محمد عمر (1991) "مبادئ ميكانيك التربة"، مطبعة جامعة الموصل، الموصل، العراق.
3. عباوي، سعاد عبد و حسن، محمد سليمان (1990) "الهندسة العملية للبيئة - فحوصات الماء"، دار الحكمة للطباعة والنشر، الموصل، العراق.
4. منظمة الصحة العالمية (2004) "مراجعة شاملة للآثار الصحية الناجمة عن إعادة استخدام المياه الرمادية"، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط، المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، عمان، الأردن.

ب. المصادر الأجنبية:

5. Al-Beiruti, S.N. (2006) "Greywater treatment and use for poverty reduction in rural areas", *Sustainable Water Management*, Concepts Towards a Zero-Outflow Municipality, Vol. 2, No 1, pp. 18 – 20.
6. Bino, M.J. (2004) "Greywater Reuse for Sustainable Water Demand Management", *International Water Demand Management Conference*, 30 May – 3 June, Amman, Jordan.
7. Cakir, F.Y. and Stenstrom, M.K. (2003) "A dynamic model for anaerobic filter", *Journal of Environmental Science and Health*, Part A-Toxic/Hazardous substances & environmental engineering, Vol. A 38, No. 10, pp. 2069-2076.
8. Cha, G.C. and Noike, T. (1997) "Effect of rapid temperature change and HRT on anaerobic acido-genesis", *Water Science and Technology*, Vol. 36, No. 6-7, pp. 247-253.
9. Chung, A.P.Y. (1982) "Treatment of low strength wastewater with anaerobic filter", M.Sc. thesis, *University of California, Los Angeles*, USA.
10. Corea, E.J.H.; Gamage, I.R. and Wickramanayake, P.N. (1998) "Anaerobic filters for on-site sewage treatment", *24th WEDC Conference, Sanitation and water for all*, 31 August-4 September, Islamabad, Pakistan
11. Elmitwalli, T.A. and Otterpohl, R. (2007) "Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor", *Water Research*, Vol. 41, Issue. 6, No. 3, pp. 1379-1387.
12. Imhof, B. and Muhlemann, J. (2005) "Greywater Treatment on Household Level in Developing Countries – A State of the Art Review", *Semester for Swiss Federal Institute of Technology Zurich*, February.
13. Liu, D.H.F. and Liptak, B.G. (2000) "Waste water treatment", Lewis Publishers, Florida, USA.
14. Masters, GM. (1998) "Introduction to environmental engineering and science", *Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.*
15. Metcalf and Eddy, Inc. (2003) "Wastewater engineering treatment /disposal /reuse", 4th ed., *McGaw-Hill*, Inc., New York.
16. Oldenburg, M. (2006) "Sanitation as a resource management system in urban conditions", *Sustainable Water Management*, Concepts Towards a Zero-Outflow Municipality, Vol. 2, No 1, pp. 6 – 8.
17. Othman, A.S.A. (2004) "The use of treated gray water for irrigation of rainfed olives", M.Sc. Thesis, *Faculty of Graduate Studies at An-Najah National University*, Nablus, Palestine.

18. Punal, A.; Mendez, R. and Lema, J.M. (1998) "Multi-fed upflow anaerobic filter: development and features", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 124, No. 12, pp. 1188-1192.
19. Romalho, R.S. (1977)."Introduction to wastewater treatment process", Academic press, Inc., Canada, pp. 165-166
20. Sopajaree, K. and Sancom, A. (2001) "Performance of up-flow anaerobic filter treating wastewater from Saa paper", *Water Pollution-WIT Conference*, 17-19 September, Rhodes, Greece.
21. Tay, J.H. and Zhang, X. (2000) "Stability of high-rate anaerobic system", *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 126, No. 8, pp. 713-725.
22. Washington State Department of Health, (2005) "Water conservation using greywater", Fact Sheet, *office of Environmental Health and Safety Wastewater Management Program*, May, USA.
23. Young, J.C. and McCarty, P. (1969) "The anaerobic filter for waste treatment", *Journal of Water Pollution Control Federation,* Vol. 41, No. 5, Part.2, pp. 160-173.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل