

## تأثير متغيرات عمر الحمأة ومعدل التهوية وأزمنة المكوث الهيدروليكية على التدفق النافذ في المفاعلات الحيوية الغشائية

محمد هيثم حبوب\* عمار خربوطلي\*\*

(الإيداع: 22 آيار 2023، القبول: 25 حزيران 2023)

### الملخص:

المفاعلات الحيوية الغشائية MBR تقنية حديثة مستخدمة لمعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي تعتمد على دمج عملية المعالجة البيولوجية التقليدية بالحمأة المنشطة CAS مع عمليات الترشيح الغشائي عالية الدقة، حيث تكون فيها الكائنات الحية الدقيقة هي المسؤولة عن كفاءة إزالة الملوثات، بينما تحجز الأغشية المواد الصلبة المعقدة والندف وكل ما يمكن حجزه من الكتلة الحيوية في السائل الممزوج. يقدم هذا البحث نتائج أربعة أشهر (من شهر آب وحتى شهر تشرين الثاني من عام 2021) تم فيها دراسة أثر أعمار الحمأة ومعدلات التهوية وأزمنة المكوث الهيدروليكية على أداء المفاعل الحيوي من حيث التدفق النافذ وكفاءة إزالة الملوثات وتأخير الانسدادات، كما تم تحليل ودراسة التنبؤ بالانسداد على الحالة المثلى المستنتجة من التجارب المخبرية. تم تعيين عمر الحمأة 30 يوم كأفضل عمر مطبق على المفاعل، ومعدل التهوية 55 لتر من الهواء/الدقيقة أفضل حالة تهوية للتدفق النافذ، وتعيين زمن المكوث الهيدروليكي: 12.8 ساعة لرفع كفاءة إزالة الملوثات وتأخير الانسدادات.

### الكلمات المفتاحية:

المفاعل الحيوي الغشائي: (MBR)

زمن المكوث الهيدروليكي (h): HRT

قيمة تركيز المواد الصلبة في السائل الممزوج (mg/l): MLSS

عمر الحمأة: SRT

معدل التهوية: AR

\* أستاذ مساعد - كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة البيئية - جامعة حلب

\*\* طالب دراسات عليا (دكتوراه) كلية الهندسة المدنية - قسم الهندسة البيئية - جامعة حلب

## Effect of sludge age, aeration rate, and hydraulic retention times on membrane bioreactors permeability

\*D.Habbob.M.H      \*\*Ammar Kharboutly

(Received: 22 May 2023, Accepted: 25 June 2023)

### Abstract:

MBR membrane bioreactors technology has been used for industrial and municipal (domestic) wastewater treatment. This process is based on the integration of the classical or conventional activated sludge (CAS) process with micro membranes filtration processes, in which microorganisms are responsible for the efficient removal of contaminants, while the membranes retain suspended solids, flocs and all What biomass can be reserved in the mixed liquid.

This research presents the results of four months (From August to November of 2021) in which the effect of sludge age SRT, aeration rate, and hydraulic retention time on the performance of the bioreactor was studied in terms of permeability, pollutant removal efficiency, and fouling delay. The fouling prediction on the optimal state derived from laboratory experiments was analyzed and studied. The sludge age was set as 30 days as the best age applied to the reactor, aeration rate was set as 55 L of air/min as the best permeability aeration condition, and the hydraulic retention time was set: 12.8 hours to raise the efficiency of pollutant removal and delay fouling.

**Keywords:** MBR): Membrane Bioreactor– –h (Hydraulic Retention time :HRT

MLSS: mixed liquor suspended solids (mg/l)

SRT :Sludge Retention time or sludge age

AR: Aeration rate

---

\*Assistant Professor, Department of Environmental Engineering – faculty of Civil Engineering – University of Aleppo.

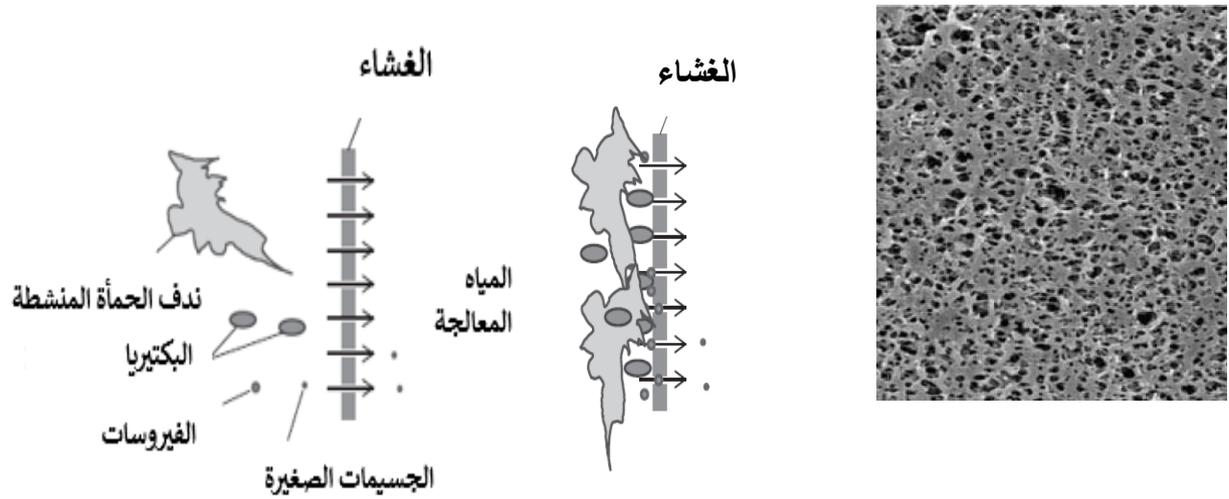
\*\* PhD student, Department of Environmental Engineering – Faculty of Civil Engineering – University of Aleppo.

## 1-المقدمة:

بدأ انتشار المفاعلات الحيوية الغشائية كتقنية حديثة لمعالجة مياه الصرف الصحي والصناعي بشكل واسع في الآونة الأخيرة نتيجة الأبحاث العلمية التي أجريت عليها، والتي أدت لانخفاض أسعارها، وتأخر انسدادات الأغشية التي تحصل بها، والتي تعتبر العائق الأكبر لانتشار مثل هذا النوع من المفاعلات. وساهم تطور العلوم والإنتاج والمنافسة بين الشركات إلى انتشار المفاعلات الحيوية الغشائية وتبنيها من قبل الباحثين والمصممين في شتى أنحاء العالم وخصوصاً خلال السنوات العشرين الأخيرة. تشير الدراسات والتقارير الاقتصادية الدولية إلى أن قيمة مشاريع محطات معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام المفاعلات الحيوية الغشائية (MBR) عبر العالم بلغت 10 ملايين دولار عام 1995، وتضاعفت إلى 217 مليون دولار عام 2005، ثم إلى 360 مليون دولار عام 2010 [1].

### 1-1-طريقة عمل الأغشية في المفاعل:

تعتمد الأغشية بتقنية MBR على إجراء ترشيح من خلال استخدام أغشية بأقطار مسامية تتراوح بين  $0.1-0.05\mu\text{m}$  لفصل المياه المعالجة عن الجسيمات الدقيقة، وكما هو موضح بالشكل 1: (أ) و (ج) أقطار مسام الأغشية المستخدمة في MBR صغيرة بما يكفي لحجز ندف الحمأة المنشطة والبكتيريا وحتى الفيروسات والجزيئات كبيرة الحجم ولذلك تنتج عن MBR مياه معالجة عالية الجودة خالية من المواد التي يزيد حجمها عن فتحات الأغشية الدقيقة. عند مقارنة نوعية المياه المعالجة الناتجة عن عمليات المعالجة التقليدية CAS (الحمأة المنشطة العادية) مع تقنية MBR نجد أن نوعية المياه المعالجة من خلال MBR هي الأفضل، وأيضاً باستخدام عمليات المعالجة التقليدية CAS تحتاج المياه إلى أحواض ترسيب مما ينتج عنه الحاجة إلى مساحة أكبر من تلك المستخدمة في تقنية MBR. بيد أن تقنية MBR لها مساوئ تتمثل بانسداد وسطم الأغشية بالمواد الصلبة المعقدة والمواد العضوية وغير العضوية أثناء عملية الترشيح (الشكل 1-ب). تم تطوير تقنيات مختلفة للحد من مشاكل الأغشية عن طريق تعديل فيزيائية سطح الغشاء أو تعديل دورات الترشيح أو التزويد بنظام التهوية [2].



(ب)

السطحية للغشاء بمقياس

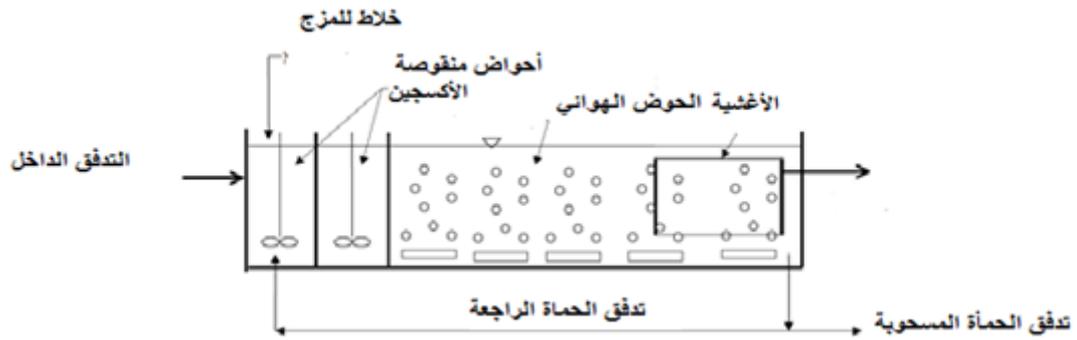
الشكل (1): (أ): عمل غشاء الترشيح (ب): (ج)

تلوث الغشاء في MBR (ج): الصورة

$1\mu\text{m}$  [1].

## 1-2- ميزات المفاعل الحيوي الغشائي:

- إمكانية استعمال التدفق المعالج بطريقة مباشرة (إلقاء بالمسطحات المائية وسقاية مزروعات) أو غير مباشرة (استخدامات صناعية) حسب المواصفات.
  - لا توجد في هذه الطريقة مشاكل أحواض الترسيب الكلاسيكية [3].
  - معدل التحميل الهيدروليكي مرتفع [3].
  - تمنع مرور البكتيريا والفيروسات، ويحقق إزالة  $BOD_5$  و COD والمواد الصلبة حتى بأكثر من نسبة 90% [3].
  - خفض العوامل المسببة للأمراض.
  - نوعية النفايات السائلة الناتجة عن المعالجة بالمفاعلات الحيوية الغشائية أفضل من نوعية النفايات الناتجة بالمعالجة التقليدية.
  - تنتج حمأة أقل من الحمأة المنتجة بالطريقة الكلاسيكية.
  - ذات تصميم محكم وبالتالي يكون انبعاث الغازات والروائح الضارة أقل.
  - مساحة لمحطة المعالجة أقل حتى 75% من المساحة الكلاسيكية.
- والشكل (2) يبين كروكي مبسط لشكل المفاعل:



الشكل رقم (2): يبين شكل مبسط للمفاعل الغشائي الحيوي [1].

يتم العمل بتحديد كمية مياه الصرف التي يجب ضخها بوحدة الزمن إلى حوض المعالجة بعد مرحلة المعالجة الأولية (أحواض التخلص من الزيوت وأحواض حجز الرمال)، ثم يدخل التدفق إلى الحوض منقوص الأكسجين، ثم الحوض الهوائي المؤلف من جزء بدون غشاء للمعالجة البيولوجية وقسم يحوي على كتلة الأغشية لفلتر المياه، ويتم تعيير مضخة السحب السالب بالتفريغ (الفاكيوم) لضمان سحب مياه مساوية لكمية المياه التي تضخ إلى الحوض بشكل مستمر، أو يتم تعيير المضخة بطريقة ثانية على قوة سحب معينة وذلك لمراقبة التدفق النافذ بحيث تسحب بالبدائية كمية مساوية للتدفق الداخل وما تلبث هذه الكمية بالتناقص مع مرور الزمن نتيجة تشكل الانسدادات [4].

هذه المضخة موصولة بمجمع مرتبط بالألواح الأغشية التي يجري تمرير المياه المعالج من خلالها فيسمح هذا الغشاء بمرور الماء النظيف فقط والذي يطرح مباشرة إلى الجداول أو الأنهار، أو يمكن بعد معالجات بسيطة غير مكلفة سقاية المزروعات منه، وفي حالات خاصة من المعالجات اللاحقة يمكن أن تستخدم كمياه للشرب.

لمنع انسداد الأسطح الخارجية للأغشية بالطبقة البيولوجية الملتصقة وبالتالي انخفاض كمية تدفق الماء المعالج يقوم النظام نتيجة لوجود عناصر التهوية أسفل أغشية MBR بتشكيل إجهادات قص بين هذه الألواح فتساهم بإزالة الطبقة الملتصقة على الأغشية.

## 2-هدف البحث:

تعمل المفاعلات الحيوية الغشائية بتراكيز عالية من المواد الصلبة المعقدة في السوائل المختلطة MLSS لأن الغشاء هو الذي يفصل المواد الصلبة عن السائل [5]، وتسمح تراكيز MLSS المرتفعة والمتزايدة مع أوقات المكوث الهيدروليكي المناسبة بتحديد عمر حمأة عالٍ وعملية معالجة أكثر إحكاماً، وبالنظر إلى أعمار الحمأة المختلفة تسمح تراكيز MLSS العالية بالتشغيل مما يؤدي إلى انخفاض الحمأة الناتجة ومزايا أخرى. وقد يكون لتراكيز MLSS العالية تأثيرات ضارة على أداء الغشاء متمثلاً ذلك بتقليل التدفق النافذ مالم تقترن بأداء تهوية متميز ومتنوع يؤثر على نفوذية الغشاء [6].

إن الهدف من هذا البحث دراسة أداء المفاعل بتطبيق أعمار حمأة عالية مختلفة، وتطبيق معدلات تهوية مختلفة (كمية الهواء الداخلة للمفاعل بالدقيقة)، ومراقبة التدفق النافذ (مقدار كمية المياه المعالجة المارة من الأغشية بوحدة الزمن) لمعرفة أثر أعمار الحمأة المختلفة ومعدلات التهوية على أداء المفاعل، وتشغيل المفاعل بأزمة مكوث هيدروليكية مختلفة لدراسة التدفق النافذ وتأخير الانسدادات.

## 2-1- عمر الحمأة بالمفاعلات الحيوية الغشائية MBR:

يعطى عمر الحمأة بالعلاقة التالية [7]:

$$SRT = (MLSS \times V) / (WASV \text{ SS} \times Q \text{ WAS} + EVSS \times EQ)$$

SRT: عمر الحمأة (يوم)

MLSS: تركيز المواد الصلبة بالمفاعل (ملغ/ليتر) أو بالسائل الممزوج

V: حجم حوض التهوية بالمفاعل بالمتر المكعب

WASV SS: تركيز المواد الصلبة في الحمأة الزائدة (ملغ/ليتر)

Q WAS: تدفق الحمأة الزائدة (متر مكعب باليوم)

EVSS: تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه الخارجة (ملغ/ليتر)

EQ: كمية المياه الخارجة من المحطة (متر مكعب/اليوم)

وباعتبار ان تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه الخارجة من المفاعل EVSS معدوم، و تركيز المواد الصلبة بالمفاعل (بالسائل الممزوج) MLSS هو نفسه تركيز المواد الصلبة في الحمأة الزائدة WASV SS، لذلك يعطى عمر الحمأة بهذا النوع من المفاعلات بالعلاقة:

$$SRT = V / Q \text{ WAS}$$

أي يتم التحكم بعمر الحمأة عن طريق التفريغ الدوري للمواد الصلبة من الحمأة [7].

## 2-2- زمن المكوث الهيدروليكي:

من المعروف أن  $Q = V/T$  أي أن زمن المكوث:  $T = V/Q$

يحدد التدفق من خلال معرفة عدد شرائح الأغشية الموجودة بالمفاعل حيث يتراوح عمل كل غشاء مخبري تجريبي من 100 إلى 150 ليتر باليوم، إضافة لمعرفة حجم المفاعل التجريبي المخبري [8].

## 2-3- طرق سحب الماء المعالج عبر الأغشية [8]:

الطريقة الأولى (طريقة السحب المستمر مع تثبيت قيمة التدفق المعالج): وهي اعتماد كمية التدفق الداخل هي نفسها كمية التدفق الخارج وذلك بتثبيت عمل المضخة على كمية تدفق مسحوب، هذه الطريقة هي المستخدمة بأغلب الأبحاث

نظراً لقوة مضخة السحب المستخدمة مقارنةً بكمية التدفق المطلوب معالجته باليوم. إن بدء تشكل الانسداد يعني ارتفاع الضغط الانفراغي بمضخة السحب مما ينتج عنه ازدياد يومي بمقدار الضغط الانفراغي حتى الوصول للانسداد التام.

**الطريقة الثانية (طريقة السحب المستمر مع تثبيت قوة السحب):** وهي تعيير المضخة في البداية على قوة سحب بواسطة لولب تعيير دون تثبيت كمية التدفق المعالج المطلوب سحبه، هذه القوة تكافئ سحباً للتدفق مقداره التدفق الأولي الداخل باليوم عند بدء التجربة.

وما إن يتشكل الانسداد حتى ينقص التدفق الخارج من المفاعل ومن خلاله أيضاً يمكن ملاحظة الانسداد عن طريق قياس النفوذية (مقدار التدفق الداخل في المتر المربع الواحد من الغشاء خلال وحدة الزمن).

هذه الطريقة لقياس التدفق النافذ يجب استخدامها بحذر نظراً لعدم وجود ارتفاع كاف يستوعب الفائض من المياه الحاصل بالفرق بين كمية التدفق الداخل للمفاعل وكمية التدفق الخارج منه مع الزمن.

### 3- المواد وطرائق البحث:

جرى تصميم المفاعل اعتماداً على المعادلات الرياضية والقوانين الحسابية استناداً للمراجع المعتمدة [1] [9] باعتبار استطاعة الغشاء الواحد للتصفية باليوم: 150 ليتر من السائل المعالج باليوم، نوع الغشاء والشركة المصنعة: SINAP 25 من شركة SINAP العالمية، والغشاء من النوع المسطح ومصنوع من البولييميرات العضوية PVDF. طول الغشاء: 47 سم، وعرضه: 34 سم، وسماكته: 7 ملم.

تم استخدام 4 شرائح أغشية  $\Leftarrow$  التدفق  $Q = 600 \text{ l/d}$   $\Leftarrow$  زمن المكوث الهيدروليكي = 16 ساعة [1].

1- حجم المفاعل الكلي = 400 ليتر، حجم حوض التهوية = 285 ليتر.

2- حجم جزء المفاعل المنقوص الاكسجين = 115 ليتر.

3- تصميم أبعاد جزء المفاعل الهوائي: أبعاد قاعدة وارتفاع، وتصميم أبعاد الجزء منقوص الأكسجين: أبعاد قاعدة وارتفاع ينتج لدينا تصميم نهائي للمفاعل بأبعاد (80 سم X 55 سم) للقاعدة وارتفاع 90 سم (مضافاً له 10 سم لملاحظة التدفق بحالة الانسدادات).

4- يسحب الفائض من كميات الحمأة يومياً على التوالي: 9.5 ليتر – 7.7 ليتر – 5.7 ليتر وذلك لتثبيت عمر الحمأة

[7] على أعمار 30، 37، 50 يوم، ويبين الشكل (3) المفاعل المخبري المستخدم.



الشكل (3) التصميم النهائي للمفاعل في المخبر

تم ضخ مياه الصرف الصحي إلى المفاعل مباشرة بواسطة مضخة مركبة ضمن المجرور العام لتجمع كليات الهندسة الكهربائية والتقنية في جامعة حلب إلى مخبر معالجة المياه ضمن ساعات الدوام الرسمي، وللوصول لحالة مستقرة من المعالجة.

تم بدء الحساب وإجراء التجارب بعد شهر من عمل المفاعل لضمان إقلاعه، ونمو البكتريا المعالجة وتشكل حماة ضمن المفاعل، عند هذه الحالة المستقرة تم ضمان إزالة لل BOD بنسبة اكثر من 95%، إذ يبين الجدول (1) كفاءة إزالة ال BOD مع تقدم بداية زمن إقلاع المفاعل (الأول من شهر آب).

الجدول رقم (1): كفاءة إزالة ال BOD مع تقدم زمن إقلاع المفاعل

كفاءة الإزالة %	BOD out (mg/l)	BOD in (mg/l)	تاريخ القياس منذ بدء إقلاع المفاعل
86.84	52	395	5/8/2021
88.72	46	408	10/8/2021
89.68	42	407	15/8/2021
91.71	38	400	21/8/2021
94.97	20	398	25/8/2021
95.85	17	410	30/8/2021

بعد فترة إقلاع المفاعل بدأت المعالجة الحقيقية وتم قياس إزالة الملوثات النيتروجينية وال COD وال BOD، إضافة لبعض الملوثات، يبين الجدول (2) قيم الملوثات الداخلة والخارجة من المفاعل، وبعض قيم ظروف التشغيل بقيمتها الصغرى والعظمى:

الجدول رقم(2) :يبين قيم المتغيرات في التدفق الداخل والخارج من المفاعل الحيوي الغشائي

المتغيرات	الواحدة	قيمة المتغيرات بالتدفق الداخل	قيمة المتغيرات بالتدفق الخارج
COD	mg/l	590-490	23-11
BOD	mg/l	410-380	14-11
PO4	mg/l	12-10	2.4-1.7
TKN	mg/l	26-21	1-0.5
العكارة	NTU	120-60	5-2
الحرارة	C°	25-20	30-25
PH	-	8-7	8-6

تم ضخ كمية من الهواء كميتها كالتالي:

- 45 ليتر من الهواء بالدقيقة على أعمار الحمأة المختلفة لمدة عشرة أيام لكل حالة.
- 55 ليتر من الهواء بالدقيقة على أعمار الحمأة المختلفة لمدة عشرة أيام لكل حالة.
- 65 ليتر من الهواء بالدقيقة على أعمار الحمأة المختلفة لمدة عشرة أيام لكل حالة.
- أي: تم تشغيل المفاعل بالطريقة الثانية المذكورة بالفقرة 2-3 لمدة شهر على معدل التهوية 45 ليتر من الهواء في الدقيقة كل عشرة أيام كان يتم تغيير عمر الحمأة من 30 يوم إلى 37 يوم إلى 50 يوم ومراقبة التدفق النافذ.
- ومن ثم تشغيل المفاعل لمدة شهر آخر على معدل التهوية 55 ليتر من الهواء في الدقيقة وبنفس الآلية حيث كل عشرة أيام كان يتم تغيير عمر الحمأة من 30 يوم إلى 37 يوم إلى 50 يوم ومراقبة التدفق النافذ.
- وأخيراً تشغيل المفاعل لمدة شهر آخر على معدل التهوية 65 ليتر من الهواء في الدقيقة كل عشرة أيام كان يتم فيها تغيير عمر الحمأة من 30 يوم إلى 37 يوم إلى 50 يوم ومراقبة التدفق النافذ.

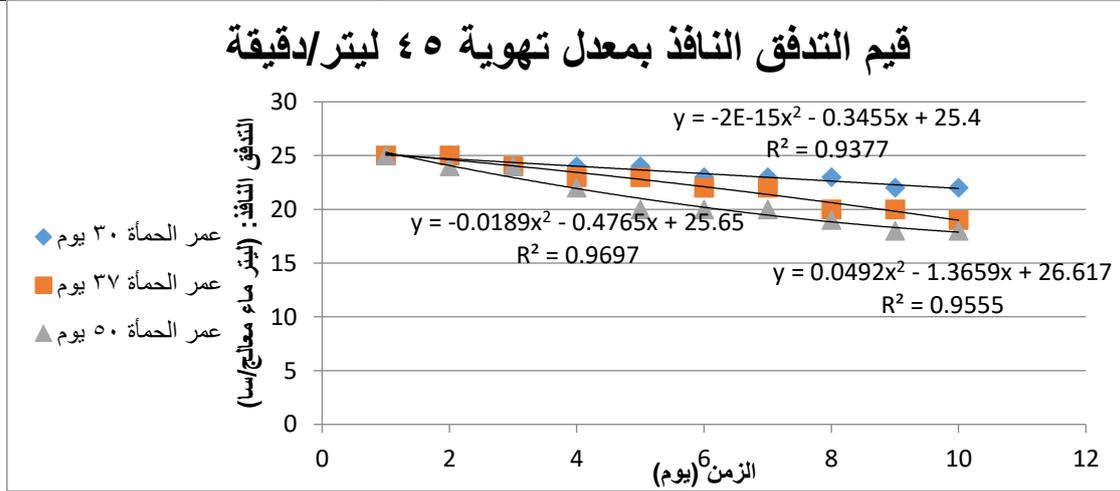
#### 4-نتائج القياسات:

#### 4-1- تأثير أعمار الحمأة ومعدلات التهوية على التدفق النافذ:

تبين الجداول 3-4-5 قيم التدفق النافذ حسب أعمار الحمأة المختلفة بمعدلات التهوية المختلفة، كما تبين الأشكال 4-5-6 تمثيلاً لنتائج الجداول بمخططات بيانية بين الزمن المقاس بالأيام والتدفق النافذ، مع العلم بأنه عند كل عمر حمأة جديد كانت الشرائح تستبدل أو تغسل عسلياً عكسياً، أو تغسل بحمض كلور الماء لضمان أداء عملها بالطريقة المثلى [9]، والعودة إلى التدفق النافذ الأساسي المقدم من الشركة المصنعة.

الجدول رقم (3): يبين قيم التدفق النافذ بأعمار الحمأة المختلفة لمعدل تهوية 45 ليتر هواء بالدقيقة مع الأيام

عمر الحمأة 30 يوم		عمر الحمأة 37 يوم		عمر الحمأة 50 يوم	
اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)
1	25	1	25	1	25
2	25	2	25	2	24
3	24	3	24	3	24
4	24	4	23	4	22
5	24	5	23	5	20
6	23	6	22	6	20
7	23	7	22	7	20
8	23	8	20	8	19
9	22	9	20	9	18
10	22	10	19	10	18

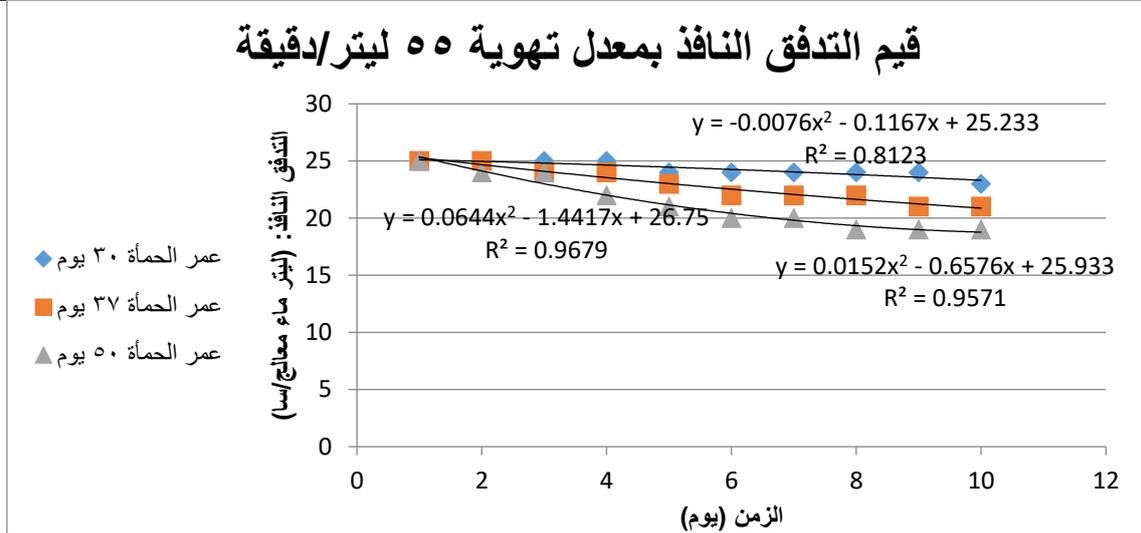


الشكل رقم (4): يبين مخطط قيم التدفق النافذ مع الزمن لأعمار الحمأة المختلفة بمعدل تهوية 45 ليتر/دقيقة

واضح من الشكل السابق أن عمر الحمأة 30 يوم هو الأفضل بالمحافظة على التدفق النافذ وعدم تناقصه وتأخير الانسداد. يبين الجدول 4 قيم التدفق النافذ بأعمار حمأة مختلفة تحت معدل تهوية قدره 55 ليتر هواء/دقيقة حيث كانت النتائج هي الأفضل من حيث تأخير تناقص التدفق النافذ.

الجدول رقم (4): يبين قيم التدفق النافذ بأعمار الحمأة المختلفة لمعدل تهوية 55 ليدر/دقيقة مع الأيام

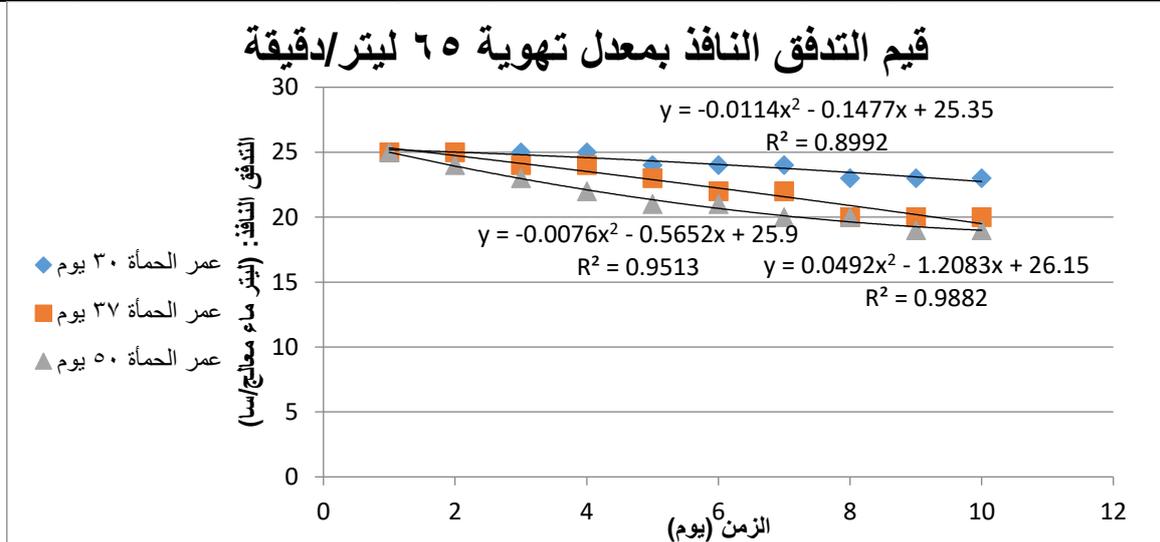
عمر الحمأة 30 يوم		عمر الحمأة 37 يوم		عمر الحمأة 50 يوم	
اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)
1	25	1	25	1	25
2	25	2	25	2	24
3	25	3	24	3	24
4	25	4	24	4	22
5	24	5	23	5	21
6	24	6	22	6	20
7	24	7	22	7	20
8	24	8	22	8	19
9	24	9	21	9	19
10	23	10	21	10	19



الشكل رقم (5): يبين مخطط قيم التدفق النافذ مع الزمن لأعمار الحمأة المختلفة بمعدل تهوية 55 ليدر/دقيقة واضح من المخطط السابق أن عمر الحمأة 30 يوم هو الأفضل للتشغيل، وعدم تناقص التدفق النافذ. الجدول (5) يبين قيم التدفق النافذ بأعمار حمأة مختلفة حيث تظهر القيم الأفضل بتشغيل على عمر الحمأة 30 يوم.

الجدول رقم (5): يبين قيم التدفق النافذ بأعمار الحمأة المختلفة لمعدل تهوية 65 ليتر هواء بالدقيقة مع الأيام

عمر الحمأة 30 يوم		عمر الحمأة 37 يوم		عمر الحمأة 50 يوم	
اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)	اليوم	التدفق النافذ: (ليتر ماء معالج/سا)
1	25	1	25	1	25
2	25	2	25	2	24
3	25	3	24	3	23
4	25	4	24	4	22
5	24	5	23	5	21
6	24	6	22	6	21
7	24	7	22	7	20
8	23	8	20	8	20
9	23	9	20	9	19
10	23	10	20	10	19



الشكل رقم (6): يبين مخطط قيم التدفق النافذ مع الزمن لأعمار الحمأة المختلفة بمعدل تهوية 65 ليتر/دقيقة

من الجداول والأشكال السابقة نستنتج أن معدل التهوية 55 ليتر من الهواء / دقيقة هو الأفضل بالنسبة للتأثير على التدفق النافذ وذلك بالنسبة لأعمار الحمأة المختلفة.

ونجد أيضاً من خلال الجداول والأشكال أن عمر الحمأة 30 يوم كان هو الأفضل في كل حالة من حالات ضخ الهواء .

4-2- تأثير أزمنا المكوث الهيدروليكية وتركيز المواد الصلبة بالسائل الممزوج على التدفق النافذ:

تم تشغيل المفاعل على قيم مختلفة من تراكيز المواد الصلبة بالسائل الممزوج وذلك بنتيبت النسبة

$$0.1-0.09 = F/M \text{ (kgCOD/kgMLSS.d)}$$

النسبة F/M تعطى بالعلاقة:

$$F/M = (Q.[BOD]) / (MLVSS * Va)$$

أو:  $F/M = (Q.COD) / (MLSS * Va)$  حيث Va حجم حوض التهوية [1].

وبما أن قيمة التدفق ثابتة وحجم حوض التهوية ثابت لذلك نعتمد COD = 495–520 mg/l مع العلم أن معدل التهوية

55 ليتر من الهواء/دقيقة، وهي الغزارة الأفضل المستنتجة من التجارب السابقة، وكما ذكرنا سابقاً أن التشغيل يجري بالطريقة الثانية المذكورة بالفقرة 2-3 وذلك لاختبار التدفق النافذ حيث التشغيل بالطريقة الأولى المذكورة بالفقرة 2-3 لا يعطي دلالة على تناقص التدفق النافذ كما ذكر.

بما أن حجم حوض التهوية ثابت، وقيمة COD الداخلة للمفاعل تمت تثبيتها فإن زيادة التدفقات (بزيادة عدد الشرائح والأغشية) وأزمنة المكوث الهيدروليكية كانت كمايلي:  
- التدفق الداخل 600 ل/اليوم، وزمن المكوث الهيدروليكي 16 ساعة، وقيم MLSS مسجلة بالجدول 6 للمحافظة على نسبة F/M بين القيم المذكورة.

- التدفق الداخل 750 ل/اليوم بزمن المكوث الهيدروليكي 12.8 ساعة.

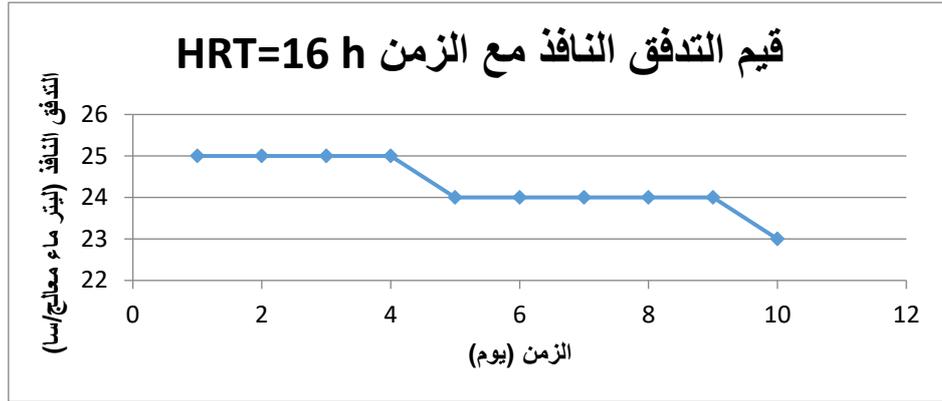
- والتدفق الداخل 900 ل/اليوم بزمن المكوث الهيدروليكي 10.6 ساعة.

مع العلم بأن حجم حوض التهوية ثابت ويبلغ 285 ليتر والحجم الكلي للمفاعل ثابت ويبلغ 400 ليتر .  
يبين الجدول (6) قيم التدفق النافذ بالنسبة لحالة التشغيل وفق قيم مختلفة من تركيز المواد الصلبة بالسائل الممزوج

الجدول رقم(6): يبين قيم التدفق النافذ بأزمنة المكوث الهيدروليكية المختلفة مع الزمن

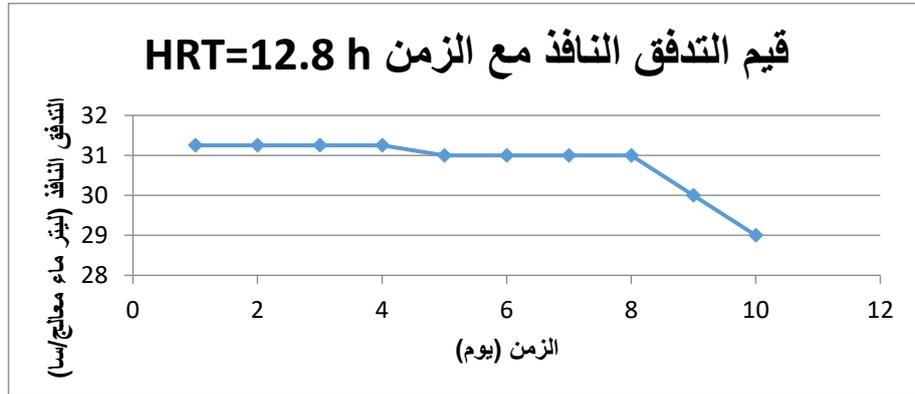
الزمن (يوم)	MLSS mg/l	التدفق النافذ: لبيتر ماء معالج/سا	
1	10.2	25	زمن المكوث = 16 ساعة
2	10.2	25	
3	10.9	25	
4	10.2	25	
5	10.3	24	
6	10.1	24	
7	10.7	24	
8	10.7	24	
9	10.6	24	
10	10.8	23	
1	13	31.25	زمن المكوث = 12.8 ساعة
2	13.5	31.25	
3	13.4	31.25	
4	13.8	31.25	
5	13.3	31	
6	13.4	31	
7	13.7	31	
8	13.2	31	
9	13.5	30	
10	13.4	29	
1	15.8	37.5	زمن المكوث = 10.6 ساعة
2	15.8	37.5	
3	16.3	36.5	
4	16.3	36.5	
5	15.9	36	
6	16.2	35.5	
7	16.2	35.5	
8	16.4	33	
9	16.2	33	
10	16	33	

وعند رسم العلاقة بين التدفق النافذ والزمن لكل تدفق على حدة تنتج لدينا المخططات 7-8-9 التالية:



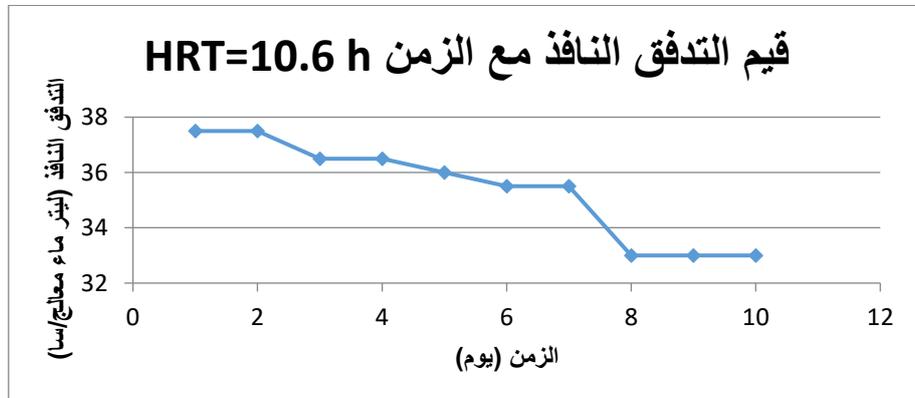
الشكل رقم (7) :يبين علاقة التدفق النافذ بالزمن لتدفق 600 ليتر/اليوم

من الشكل السابق نجد أن قيم التدفق النافذ ثابتة بالأيام الأربعة الأولى، ثم نقصت بمقدار 1 ليتر في الأيام الأربعة التالية، ثم استقرت عن القيمة 23 ليتر ماء معالج/سا، يبين الشكل (8) قيم التدفق النافذ بتدفق داخل قدره 750 ليتر باليوم:



الشكل رقم (8) :يبين علاقة التدفق النافذ بالزمن لتدفق 750 ليتر/اليوم

من الشكل رقم (8) نجد بأن التدفق النافذ حافظ على قيمته بالأيام الأربعة الأولى، ثم تناقص بقيمة (0.25 ليتر) بالأيام الأربعة التالية، ثم هبط خلال آخر يومين بمقدار 2 ليتر، ويبين الشكل (9) قيم التدفق النافذ بتدفق قدره 900 ليتر باليوم:



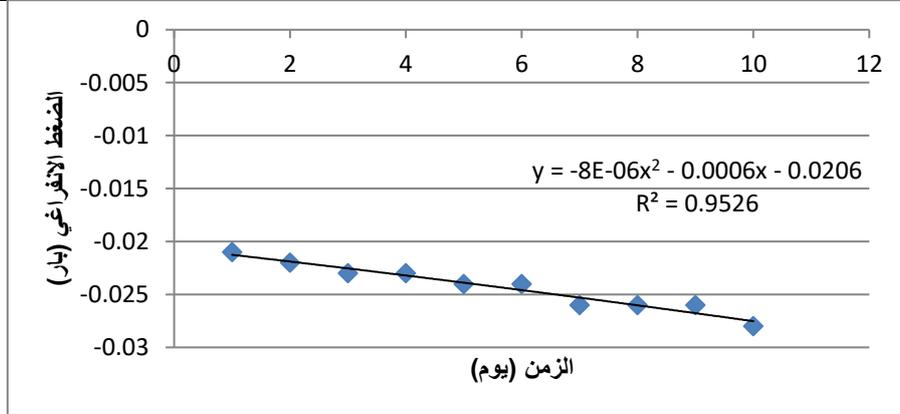
الشكل رقم(9): يبين علاقة التدفق النافذ بالزمن لتدفق 900 ليتر/اليوم

من الشكل رقم (9) نجد بأن تناقص التدفق النافذ كان بشكل تدريجي، لكن هذا التناقص وصل للقيمة 4.5- لتر ماء معالج/سا خلال أيام التجربة الكلية.

3-4- تطبيق السحب الانفراغي على المفاعل الحيوي الغشائي لمعرفة كفاءة المعالجة ودراسة التنبؤ بالسطم: تم تشغيل المفاعل بالحالة المثلى المستتجة من التجارب السابقة: عمر حمأة 30 يوم، وزمن مكوث هيدروليكي 12.8 ساعة تحت تأثير معدل تهوية 55 لتر من الهواء/دقيقة بالطريقة الأولى المذكورة بالفقرة 2-3 لمعالجة الCOD والأمونيوم والفوسفات بالمياه الداخلة للمفاعل، وتم حساب كفاءة الإزالة للملوثات لمدة عشرة أيام فكانت النتائج كما في الجدول 7، وتم تمثيل تزايد الضغط الانفراغي للمضخة مع الزمن وذلك للتنبؤ بقيمة الانسداد المتوقع لهذه الحالة بالشكل رقم (10):

الجدول رقم (7): يبين قياس قيم الشوارد والطلب الكيميائي للأوكسجين بالنسبة للمياه الداخلة للمفاعل والخارجة منه

اليوم	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	كفاءة الإزالة %	NH4-N in (mg/l)	NH4-N out (mg/l)	كفاءة الإزالة %	PO4 in (mg/l)	PO4 out (mg/l)	كفاءة الإزالة %	الضغط الانفراغي (بار)
1	503	11	97.81	18	0.9	95.00	11.9	3	74.79	-0.021
2	504	10	98.01	19	0.8	95.79	12.4	3	75.61	-0.022
3	502	12	97.60	18	0.9	95.00	12.4	2.9	75.80	-0.023
4	501	10	98.00	21	1.1	94.76	12.3	2.9	76.42	-0.023
5	497	9	98.19	21	1.2	94.29	11.9	3.1	73.95	-0.024
6	498	9	98.19	21	1.1	94.76	11.8	3.3	72.03	-0.024
7	498	10	98.00	22	1	95.45	12.1	2.8	76.86	-0.026
8	497	10	97.99	20	1	95.00	12.2	2.9	76.22	-0.026
9	498	11	97.97	18	1.2	93.33	12.6	3.2	74.60	-0.026
10	499	10	98.00	20	1	95.00	12.1	3	75.21	-0.028



الشكل رقم (10): يبين قيم الضغط الانفراغي مع الزمن للحالة المثلى

من خلال المعادلة في الشكل السابق وبتعويض المتحول Y بالقيمة (1 بار) (تمام الانسداد) وبحل المعادلة [10] نجد بأن المتحول X الذي يمثل يوم الانسداد سيكون بالقيمة 314 يوم وهذا هو الوقت الطبيعي للانسدادات في المفاعلات الحيوية الغشائية MBR والمصممة على عمل طويل الأمد قبل الانسداد إذا ما تم تشغيلها بالحالة المثلى للمتغيرات [10].

إلا أنه يتم مراقبة الضغوط الانفراغية بشكل دائم لتلافي حالات الانسداد ومعرفة أوقاتها، والقيام بالغسيل العكسي أو الكيميائي أو حتى استبدال الشرائح بشرائح جديدة ومعالجة الشرائح القديمة منعاً لتوقف العمل.

## 5- مناقشة النتائج وتحليلها:

5-1- أعمار الحمأة الطويلة المقترحة تم تطبيقها لمعرفة نجاعة عمل هذه المفاعلات بطريقة التشغيل المذكورة، مما ينتج عنه انخفاض بكمية الحمأة الناتجة، وحمأة ذات طبيعة سهل التعامل معها، لكن وجب التنويه بأن جميع الدراسات العالمية لم تحدد عمر حمأة مناسب لهذه المفاعلات إذ أن عمر الحمأة يختلف من حالة لأخرى حسب مواصفات التصميم وقيم الملوثات بالسائل الممزوج، لكنها لم تتعد هذه الحدود [11] المقترحة للتجريب. إذ يعتقد الباحثون أنه يجب أن يكون هناك حد أدنى من معدل إهدار الحمأة من أجل الحفاظ على النطاق الأمثل لتركيز الحمأة، فعندما لا يتم سحب الحمأة من المفاعل يمكن توقع تراكم المركبات غير العضوية، ويمكن أن يؤدي الاحتفاظ بالمركبات غير القابلة للتحلل وتراكمها في المفاعل الحيوي إلى تثبيط الميكروبات أو زيادة السمية، مما يحد من البدائل المتاحة للتخلص من الحمأة الزائدة [12]، وقد تم التنويه بالعديد من الدراسات عن أداء مستقر لـ MBR خلال فترات التشغيل الطويلة، مع توازن ديناميكي للكتلة الحيوية النشطة والجزء غير العضوي خلال فترات التشغيل [12].

5-2- من الأشكال 4-5-6، وإذا ما أردنا استنتاج تنبؤ رياضي من المعادلات الرياضية لأي علاقة بين التدفق النافذ والزمن لأي من الأشكال المذكورة فإن زمن الانسداد أو السطم المتبقي به لن يتجاوز 50 يوم، مع العلم بأن عمل هذه المفاعلات يدوم لشهور منذ بدء إقلاع المفاعل قبل السطم وقد يصل لعام وأكثر، لذلك فإن التنبؤ الرياضي بزمن الانسداد لا يكون إلا على التجارب المختبرة بالطريقة الأولى المذكورة بالفقرة 2-3.

## 6- نتائج البحث والمقترحات والتوصيات:

### 6-1- نتائج البحث:

1- إن عمر الحمأة 30 يوم هو الأفضل من حيث معدل تناقص التدفق النافذ، إذ زاد فيه معدل تناقص التدفق النافذ من 8% في حالي التهوية: 55،65 لتر هواء/دقيقة إلى 12% في حالة التهوية 45 لتر هواء/دقيقة وذلك من قيمة التدفق النافذ الكلية الأساسية (25 لتر/سا)، يليه عمر الحمأة 37 يوم، فمعدل تناقص التدفق النافذ زاد فيه من 16% إلى 24% من قيمة التدفق النافذ الأساسية (25 لتر/سا) المعتمدة عند بدء التجربة، يليه عمر الحمأة 50 يوم حيث تناقص التدفق النافذ زاد فيه من 24% في حالي التهوية 55-65 لتر هواء/دقيقة إلى 28% في حالة معدل التهوية 45 لتر هواء/دقيقة.

2- تعتبر قيمة معدل التهوية 55 لتر هواء/دقيقة، وقيمة معدل التهوية 65 لتر هواء/دقيقة أفضل قيم التهوية من حيث تقليل تناقص التدفق النافذ، إلا أن القيمة 55 لتر هواء/دقيقة كانت الأفضل لأن الهبوط إلى القيمة 23 لتر ماء معالج/سا لم يكن إلا باليوم الأخير (اليوم العاشر)، لذلك تم اعتماد القيمة 55 لتر هواء/دقيقة هي الأفضل، والحالة المثلى تكون بعمر الحمأة 30 يوم ومعدل التهوية 55 لتر هواء/دقيقة.

3- يعتبر زمن المكوث الهيدروليكي 12.8 ساعة هو الأفضل لأنه من خلاله تناقص التدفق النافذ فقط 7.2% من قيمة التدفق الداخل عند البدء، تليها حالة زمن المكوث الهيدروليكي 16 ساعة إذ تناقصت به قيمة التدفق النافذ 8%، ثم زمن المكوث 10.6 ساعة حيث تناقصت به قيمة التدفق النافذ بنسبة 12%، مما يقرب نتائج البحث من تحديد زمن المكوث الهيدروليكي الأفضل لعمل المفاعلات الحيوية الغشائية.

### 6-2- المقترحات والتوصيات:

1- لمعرفة الحالة المثلى لعمل المفاعل الحيوي الغشائي يجب تطبيق أزمنة المكوث الهيدروليكية لعمل المفاعل مع أعمار الحمأة المقترحة تحت تأثير غزارات معدلات التهوية المختلفة ومراقبة نتائج كفاءة إزالة الملوثات وقيم الضغط الانفراغي.

2- هنالك عوامل تلعب دوراً مهماً في عمل المفاعل، كضغط الهواء المطبق بوحدة الضغط والذي يلعب دوراً مهماً

في تطبيق قوى القص التي تساعد على إزالة تشكلات طبقات الانسداد والسطم، وأيضاً حجم فقاعات التهوية المقدمة من نافثات الهواء والتي تساعد بإزالة تشكلات الانسدادات عبر تغلغلها بين طبقات الأغشية بهذا النوع من المفاعلات [13]، وأيضاً بعد كتلة الأغشية عن قاعدة المفاعل والتي تساعد بأخذ التهوية سرعاً مناسبة لأداء أفضل بإزالة طبقات الانسداد من على سطوح الأغشية، لذلك يوصي البحث بإدخال بارامترات ضغط الهواء، وحجم فقاعات التهوية وبعد كتلة الاغشية عن قاعدة المفاعل على الدراسات المستقبلية.

3- يجب تطبيق طريقة السحب الانفراغي بمضخة السحب المرتبطة بالأغشية ودراسة التنبؤ بوقت السطم على جميع حالات التشغيل وبارامترات التجربة، ومراقبة أثر هذه التطبيقات على نسب كفاءة إزالة الملوثات وتأخير السطم ونوعية المياه المعالجة المراد استخدامها لاحقاً.

4- يمكن استخدام الأغشية بالاعتماد على البارامترات التشغيلية الموضحة في نتائج البحث النهائية، وإضافتها لتحسين كفاءة المعالجة في المحطات المنفذة، أو لإزالة المغذيات من المياه المعالجة لدرء خطرهما عن البيئة بشكل عام، وعن المصادر المائية بشكل خاص.

#### 8-المراجع:

- 1-Judd Simon, (2006),The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. Elsevier Ltd, 1<sup>st</sup> ed, Great Britain, pp 1–63.
- 2- Van Nieuwenhuizen A. F., Evenblij H., Uijterlinde C. A. and Schuting F. L,(2008), Review on the state of science on membrane bioreactors for municipal.
- 3- C. Visvanathan, R. Ben Aim, K. Parameshwaran, 2015 – Membrane Separation Bioreactors for Wastewater Treatment– Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 8–10 pages.
- 4- Weiwei Chen, Jinrong Liu, Fang Xie (2012)، Identification of the moderate SRT for reliable operation in MBR, Water Desalination Magazine, 263–267.
- 5- Fan, F.S., Zhou, H.D., Husain, H., 2006. Identification of wastewater sludge characteristics to predict critical flux for membrane bioreactor processes. Water Res. 40, 205.
- 6- Hwang, E.J., Sun, D.D., Tay, J.H., (2003). Operational factors of submerged inorganic membrane bioreactor for organic wastewater treatment: sludge concentration and aeration rate. Water Sci. Technol. 47, 121.
- 7- Stephenson, T., Judd, S., Jefferson, B. and Brindle, K. (2000) Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment, IWA Publishing, London.
- 8- Grelier, P., Rosenberger, S., Tazi-Pain, A., (2006). Influence of sludge retention time on membrane bioreactor hydraulic performance. Desalination 192, 10.
- 9- Trussell, R.T. et al. (2007) The effect of organic loading on process performance and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor treating municipal wastewater. Water

- Res. P 2675–2684.
- 10- كابوس أمل، دركزعلي محمد سمير، بلکش عبد المجيد، 2003- مبادئ الإحصاء-الحاسوب ونظم المعلومات في الاقتصاد والإدارة والمحاسبة، منشورات جامعة حلب، حلب، صفحة 198.
- 11- Membrane Bioreactor (MBR) as an Advanced Wastewater Treatment Technology Springer-Verlag Berlin Heidelberg Hdb Env Chem Vol. 5, Part S/2 (2008): 37–101.
- 12- Wilen BM, Balmer P (2003) Doktor savhandlingar vid Chalmers Tekniska Hogskola (German reference) p:391.
- 13- Chunhua Deng, (2006), Research on the Denitrification Capability of Crossflow Membrane Bioreactor in Treating Caprolactam Wastewater[D]. Donghua University.