

## Efficiency of the work of almond shells as biological carriers in activated sludge aeration tanks

Raghad Salim Al-Shalabi

Naeima Ajib

Civil Faculty || Al-Baath University || Syria

Mahmoud Fattamah

Civil Faculty || Hamah University || Syria

**Abstract:** Based on the interest in environmentally friendly materials for wastewater treatment, this research is aimed at evaluating the efficiency of almond shells work as biological carriers in activated sludge aeration tanks, known as the integrated fixed film activated sludge treatment, a hybrid tank with attached growth and suspended growth is obtained. Almond shells were placed at 7% of the size of the aeration tank throughout the experiment period for about 4 months with a number of indicators such as hydraulic retention time and mixed liquor suspended solids. Two sets of experiments were performed, the first group with a constant hydraulic retention time (HRT= 4 hours), and mixed liquor suspended solids was changed (500-1000-2000-3000 mg/L), with the best removal efficiency at MLSS = 2000 mg/l, by 91.3% and 92.1% for COD and SS respectively. The optimal MLSS concentration was adopted for the second group of experiments where HRT was increased to 5 and 6 hours. As a result, the best chain was found to be MLSS = 2000 mg/l and HRT = 5 hours, with removal efficiency of 93.4% and 93.9% for COD and SS respectively. As a result, the rate of return activated sludge was reduced from 100% to 60% and the rate of inflow into the aeration tank was increased due to the reduction HRT from 6 hours to 5 hours compared to conventional activated sludge treatment.

**Keywords:** hybrid reactor, attached growth, suspended growth

## كفاءة عمل قشور اللوز كحوامل بيولوجية في أحواض التهوية بالحمأة المنشطة

رغد سليم الشلبي

نعيمة عجيب

كلية الهندسة المدنية || جامعة البعث || سورية

محمود فطامة

كلية الهندسة المدنية || جامعة حماه || سورية

الملخص: انطلاقاً من الاهتمام بالمواد الصديقة للبيئة لمعالجة مياه الصرف الصحي تم التوجه في هذا البحث إلى تقييم كفاءة عمل قشور اللوز كحوامل بيولوجية في أحواض التهوية بالحمأة المنشطة. تُعرف بالمعالجة المدمجة للحمأة المنشطة مع الغشاء المثبت إذ يتم الحصول على حوض هجين يحوي على نمو مثبت ونمو معلق في آن واحد. تم وضع قشور اللوز بنسبة 7% من حجم حوض التهوية طيلة فترة البحث أي لمدة 4 أشهر، مع تغيير عدد من المؤشرات مثل زمن المكث الهيدروليكي وتركيز الكتلة الحيوية المعلقة في السائل المختلط (الممزوج). تم إجراء مجموعتين من التجارب، المجموعة الأولى كان فيها زمن المكث الهيدروليكي ثابت HRT= 4hours وتم تغيير تركيز الكتلة الحيوية المعلقة في السائل المختلط (500-1000-2000-3000 mg/l)، حيث حققت أفضل كفاءة إزالة عند MLSS= 2000 mg/l

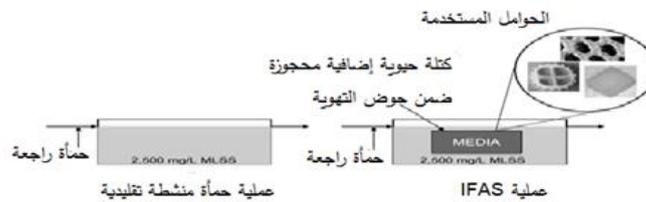
بنسبة % 91.3 و 92.1% لكل من COD و SS على التوالي. تم اعتماد تركيز MLSS الأمثل للمجموعة الثانية من التجارب حيث تم رفع زمن المكث إلى 5 و 6 ساعات. بالنتيجة تم التوصل إلى أن أفضل سلسلة كانت عند MLSS= 2000 mg/l و HRT= 5 hours إذ تم الحصول على كفاءة إزالة % 93.4 و % 93.9 لكل من COD و SS على التوالي. أدى ذلك إلى تخفيض نسبة الحمأة المعادة من 100% إلى 60% وارتفع معدل التدفق الداخل إلى حوض التهوية بسبب تخفيض زمن المكث الهيدروليكي من 6 ساعات إلى 5 ساعات مقارنةً مع المعالجة التقليدية بالحمأة المنشطة.

الكلمات المفتاحية: حوض هجين، النمو المثبت، النمو المعلق.

## 1. المقدمة:

تتم المعالجة الثانوية عادةً لمياه الصرف البلدية عن طريق العمليات البيولوجية التي يمكن تصنيفها على أنها إما عمليات نمو معلقة أو مثبتة وفقاً لموقع الكائنات الدقيقة المساهمة في عملية المعالجة<sup>[13]</sup>، في النمو المعلق تنمو الكائنات الدقيقة ككتل معلقة في المياه أما في النمو المثبت تلتصق الكائنات الحية الدقيقة على سطح صلب<sup>[7]</sup>. إن كفاءة المعالجة بطريقة النمو المعلق، مثل عملية الحمأة المنشطة التقليدية، يمكن أن تقل عند تعرضها لحمولات هيدروليكية وعضوية مرتفعة، كما أن تشغيلها يُعتبر أكثر تعقيداً مقارنةً بعمليات النمو المثبت مثل المرشحات البيولوجية. ومع ذلك، قد لا تكون جودة كفاءة المعالجة الناتجة عن النمو المثبت (الغشاء الحيوي) بنفس جودة النمو المعلق بسبب قيود نقل الأكسجين<sup>[13]</sup>، من ناحية أخرى، تسمح تدرجات الركيزة (المغذيات) ضمن الغشاء الحيوي المتشكل بتطوير مناطق مختلفة ضمنها مثل المنطقة منقوصة الأوكسجين مما يؤدي إلى إزالة النتروجين داخل الأغشية الحيوية<sup>[7]</sup>.

من أجل زيادة كفاءة عمل نظام الحمأة المنشطة يجب تصميم أحواض تهوية جديدة أو زيادة تركيز الكتلة الحيوية المعلقة داخل المفاعل الهوائي، إن العقبة الرئيسية لمحطة المعالجة التقليدية هي حجم المرسب؛ لأن تصميم مرسب إضافي مُكلف للغاية. لذلك تم اقتراح إضافة حوامل ضمن حوض التهوية لتثبيت الحمأة عليها يؤدي ذلك بدوره إلى زيادة زمن المكث لتوفير بيئة مناسبة لنمو بكتيريا النتجة على الحوامل<sup>[9]</sup>. والتي تُعرف بعمليات الحمأة المنشطة المُدمجة مع الغشاء المثبت IFAS، إذ أنها تدمج بين النمو المثبت الناتج عن تجمع البيوفيلم/ الميكروبي على الحوامل والنمو المعلق الناتج عن إعادة الحمأة المنشطة ضمن حوض التهوية<sup>[14]</sup>، والسائل المتدفق سينقل المواد الصلبة المعلقة فقط من الحوض الهجين إلى حوض الترسب الثانوي. يمكن القول أن المعالجة الهجينة لا تفرض عمليات تحميل زائدة للمواد الصلبة على المرسبات النهائية؛ لأن النمو الإضافي يبقى داخل حوض التهوية وبالتالي لا نحتاج إلى زيادة حجمه أو حجم المرسب<sup>[3]</sup>، يوضح الشكل (1) الفروق الأساسية بين المعالجة بطريقتي الحمأة المنشطة التقليدية و IFAS.



الشكل (1) الفروق التشغيلية الأساسية بين المعالجة بطريقتي الحمأة المنشطة التقليدية و IFAS

المصدر: (WEF, 2010)

يمكن أن تكون الحوامل إما مثبتة مثل الحوامل الحبلية والشبكية أو ممكن أن تتحرك بحرية داخل المفاعل مثل الحوامل الاسفنجية والبلاستيكية، ويُشترط أن تكون الحوامل المُستخدمة غير مكلفة، لا تتعرض للانسداد، ولها

مساحة سطحية عالية<sup>[14]</sup>. في السنوات الأخيرة تم إجراء العديد من الدراسات حول الأنظمة الهجينة للتحقق من كفاءتها.

أثبت الباحثون (Sabzali, Nikaeen, and Bina, 2011) أن نظام IFAS فعال ومُجدي في إزالة المواد العضوية والمغذيات من مياه الصرف الصحي، حيث استخدموا فلاتر السجائر كحوامل بيولوجية إذ أنها مكونة من أسيتات (خالات) السليلوز هو عبارة عن بلاستيك بطيء التحلل<sup>[10]</sup>.

تحقق الباحثون (Chegini, Javid, and Hassani 2017) من قدرة نظام IFAS على إزالة الصبغة الحمراء المباشرة 12B، إذ أنها مادة مسرطنة ضارة للبيئة ووجود هذه الصبغة حتى ولو بتركيز منخفض في المسطحات المائية تُسبب العديد من المشاكل مثل التقليل من عملية التركيب الضوئي، حيث تم استخدام حوامل مصنوعة من الـ PVC ووضعت بنسبة 30% من حجم المفاعل. نتائج الدراسة بينت أن نظام IFAS فعال حتى عند التركيز العالي للصبغة، حيث وصلت كفاءة إزالتها إلى 88-95% كما حقق نسبة عالية من إزالة COD وصلت إلى أكثر من 70%<sup>[2]</sup>.

أثبت الباحث (Eslami et al., 2018) كفاءة عمل نظام IFAS في معالجة المياه الرمادية الصناعية المكونة من حمض البوريك، الجلوكوز، فوسفات هيدروجين الصوديوم، كبريتات الصوديوم، بيكربونات الصوديوم وطين، عند أحمال عضوية مختلفة حيث استخدم حوامل مصنوعة من PVC<sup>[4]</sup>.

أكد الباحث (Singh, N. et al., 2015) أن نظام IFAS فعال أيضاً في إزالة المعادن الثقيلة والبكتيريا المسببة للأمراض دون أي وحدة تطهير؛ سبب ذلك يعود إلى مفرزات الغلاف الخارجي للكتلة الحيوية المثبتة التي تغير من الشحنات السطحية لمسببات الأمراض مما يجعلها قابلة للامتزاز من قبل البيوفلم حيث استخدم حوامل من الستائر الثابتة (Biotextil Cleartec media)، حوامل Cleartec عبارة عن نسيج مصنوع من البوليبروبيلين محبوك على شكل مستطيل<sup>[11]</sup>.

إن جميع الحوامل المستخدمة في الدراسات المذكورة سابقاً هي حوامل صناعية، إن هذه الحوامل مكلفة وغير متوفرة بسهولة، ولا يمكن العمل دون وجود مدة تأقلم محددة للميكروبات كما يوجد مشاكل عديدة لنقلها وتخزينها في البلدان النامية والذي سيؤدي في النهاية إلى زيادة التكاليف التشغيلية لنظام المعالجة<sup>[1]</sup>. لذلك تحقق الباحثين (Farrokhi, Ashrafi, Roohbakhsh, Esmaeil and Yoonesi (2014) من فعالية استخدام قشور الأرز كحوامل بيولوجية في حوض الحمأة المنشطة حيث ساهمت في زيادة أداء وكفاءة المعالجة دون أي تكاليف إضافية<sup>[5]</sup>. في وقت مبكر من عام 1838، أثبت Anselme Payen أن المكون اللبني لجميع خلايا النبات له بنية كيميائية فريدة، أطلق عليها السليلوز  $(C_6H_{10}O_5)_n$ ، يتوفر بكثرة في المحيط الحيوي أكثر من أي مادة أخرى، كما له قدرة عالية على امتصاص الماء بسبب التفاعل بين شوارد OH وجزيئات الماء لكنه لا يذوب في الماء بسبب تشكيله مجموعات بلورية قوية يعود ذلك إلى الترابط الهيدروجيني<sup>[15]</sup>.

تتكون المخلفات الزراعية أيضاً من Hemicellulose, Liginin، المستخلصات، الدهون، البروتينات، السكريات البسيطة، النشويات، الماء، الهيدروكربونات والرماد<sup>[12]</sup>. تتميز المخلفات الزراعية بقدرتها العالية على الامتزاز ويُعتبر استخدامها كميزات أمراً واعداً في المستقبل لمعالجة مياه الصرف الصحي؛ بسبب وفرة هذه المواد وقابلية تجديدها<sup>[8,12]</sup>.

تهتم الدراسة الحالية باستخدام المخلفات الزراعية السليلوزية كحوامل بيولوجية حيث تم اختيار قشور اللوز، تتميز هذه القشور بأنها ذات بنية مسامية، كلفتها منخفضة، لها شكل هندسي ثابت تسبب التعلق السريع وتطور التجمعات البكتيرية.

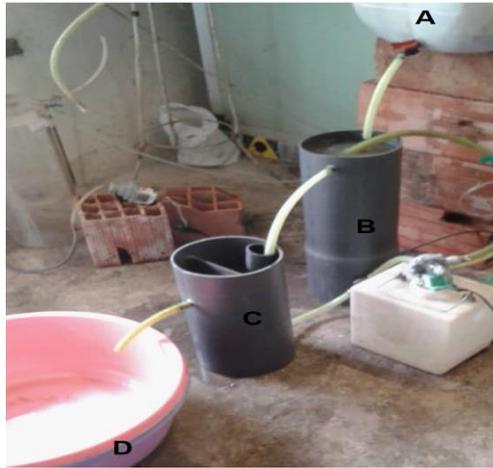
## 2. المشكلة البحثية:

من خلال ملامسة الواقع في البلدان النامية يمكن تحديد الإشكالية الرئيسة للبحث ارتفاع التكاليف، بالإضافة إلى ضعف تصميم وتشغيل محطات المعالجة التي تعمل بالحمأة المنشطة التقليدية. على الرغم من توفر العديد من الخيارات إلا أنه يوجد عملية واحدة تظهر كمرشح ناجح لترقية المنشآت القائمة وهي المعالجة الهجينة. إن الهدف الأساسي لنظام IFAS هو زيادة كفاءة المعالجة عن طريق توفير كتلة حيوية إضافية داخل نفس حجم حوض الحمأة المنشطة.

## 3. مواد البحث وطرائقه:

### 3.1. موقع إجراء البحث:

تم إجراء البحث في سورية ضمن محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمحافظة حمص في منطقة الدوير إذ تم فيها تصميم محطة معالجة تجريبية، موضحة في الشكل (2).



الشكل (2) المحطة التجريبية المصممة

- أ- حوض لتجميع مياه الصرف الصحي المراد معالجتها بسعة 60litter مع سكر تحكم .
  - ب- حوض تهوية بحجم 10 litter مصنوع من ال PVC ومزود بنظام تهوية من الأسفل، وأنبوب للتغذية بالمياه.
  - ج- حوض ترسيب ثانوي بحجم 6 litter مصنوع من ال PVC أيضاً، ذو قاعدة مخروطية ليساعد على تكثيف الحمأة وتسهيل سحبها من نقطة مركزية في أسفل الحوض.
  - د- حوض لتجميع المياه الناتجة عن المعالجة.
- يتم إعادة الحمأة المنشطة من حوض الترسيب الثانوي إلى حوض التهوية بواسطة مضخة لإعادة، أما الحمأة الفائضة يتم جمعها يدوياً، كما يوجد مضخة لنفث الهواء.

### 3.2. تشغيل المحطة التجريبية:

في البداية تم تزويد المحطة التجريبية بمياه مأخوذة من حوض التهوية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي في الدوير لمدة ثلاثة أيام بمعدل 50litter للاستفادة من الحمأة المنشطة الموجودة للبدء بعمل المحطة التجريبية مباشرة، بعد ذلك تم تزويد المحطة التجريبية بمياه من مخرج أحواض الترسيب الأولية بمعدل 50-60 litter يومياً طيلة فترة البحث.

يتألف مخطط التجارب من مجموعتين وكل مجموعة تتألف من عدة سلاسل، تم معايرة مضخة الهواء بحيث يتم ضبط تركيز الأكسجين المنحل ضمن مجال 2-2.5 mg/l عند كل سلسلة كما بلغت القيمة الوسطية ل pH المياه الداخلة بحدود 7.3

قبل إضافة الحوامل تم إجراء تشغيل تجريبي للمحطة حتى استقرار تركيز COD عند مؤشرين ثابتين: HRT= 6 Hours و MLSS= 3000 mg/l لمدة أسبوعين كما هو موضح في الجدول (1)، تم حساب كفاءات الإزالة (N) باستخدام المعادلة التالية:

$$N \% = \left( \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \right) 100$$

حيث أن:  $C_{in}$  تركيز الملوثات الداخلة إلى المحطة التجريبية [mg/l]

$C_{out}$  تركيز الملوثات الناتجة عن المعالجة [mg/l]

الجدول (1) نتائج الدراسة خلال فترة التشغيل التمهيدي عند زمن مكث هيدروليكي 6 ساعات

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	كفاءة إزالة COD %
1	1200	310	111	64.2
2	1900	290	65	77.6
3	2200	296	50	83.1
4	2500	321	44	86.3
5	2900	324	39	87.9

### 3.3. إضافة الحوامل:

جُففت قشور اللوز في فرن تابع لمحطة المعالجة عند درجة حرارة 105 درجة مئوية حتى انعدام الرطوبة منها، كما هو موضح في الشكل (3). تم وضع القشور المجففة بنسبة 5% من حجم حوض التهوية ذو الحجم 10 litter أي تم وضعها بحجم 0.5 litter بعد ذلك تم زيادتها إلى 10% أي تم وضعها بمقدار 1 litter فحصلنا على كفاءة إزالة أقل ل COD و SS للمياه الناتجة عن المعالجة؛ لذلك خفّضنا النسبة إلى 7% وتم الاعتماد عليها طيلة فترة البحث، تم وزن القشور بنسبة 7% من حجم حوض التهوية فكانت كتلتها 163 gr ووزنها النوعي  $0.23 \text{ gr/cm}^3$  حيث وُضعت ضمن مناخل موزعة على ثلاثة ارتفاعات، كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل (3) قشور اللوز عند تجفيفها في الفرن



الشكل (4) المناخل المستخدمة

بعد مرور أسبوع من وضعها ضمن المفاعل تثبتت كمية من الحمأة على سطحها؛ سبب ذلك يعود إلى مساميتها العالية وخشونة سطحها، بعد مرور حوالي شهر ازدادت كمية الحمأة بشكل ملحوظ، كما هو مبين في الشكلين (5) و(6).



الشكل (5) قشور اللوز بعد أسبوع من وضعها في المفاعل



الشكل (6) قشور اللوز بعد شهر من وضعها في المفاعل

تبين خلال الفحص المجهرى للكتلة الحيوية تشكل بكتيريا: الفورتسيلا *Vorticella*، الاسبيديسكا *Aspidisca*، بالإضافة إلى باقات من الأوبير كولاريا *Opercularia* والكارشيسيوم *Carchsium*، كما هو موضح في الشكل (7). تم البدء بعدها بمجموعي التجارب.



Carchsium



Aspidisca



Opercularia



Vorticella

الشكل (7) الأحياء المتشكلة على قشور اللوز

#### 4. النتائج والمناقشة

##### 4.1. المجموعة الأولى:

تم في هذه المجموعة ضبط سكر التحكم بالمياه لتزويد حوض التهوية بتدفق قدره 2.5 L/hours لتحقيق زمن مكث هيدروليكي قدره HRT=4 hours وتم تغيير تركيز المواد الصلبة المعلقة ضمن المزيج (MLSS) من أجل تقييم كفاءة عمل المحطة عند تراكيز للكتلة الحيوية المعلقة أقل من 3000 mg/l وبالتالي تخفيض نسبة الحمأة المعادة عما هو عليه في المعالجة بطريقة الحمأة المنشطة التقليدية، إذ تم إجراء أربعة سلاسل عند MLSS= 500-1000-2000-3000 mg/l، وتمت القياسات كما هو مذكور بالتراكيز السابقة فكانت النتائج كما هو موضح في الجداول (2) و(3) و(4) و(5).

الجدول (2) نتائج تجارب السلسلة الأولى عند تركيز MLSS= 500 mg/l (نسبة إعادة الحمأة 40%) و HRT= 4

hours

SS out (mg/l)	SS in (mg/l)	COD out (mg/l)	COD in (mg/l)	MLSS (mg/l)	رقم العينة
45	171	90	308	602	1
50	183	98	324	455	2
47	166	87	296	526	3
54	193	98	350	648	4
48	176	86	288	525	5
49	178	92	313	551	وسطي
72.5		70.6		كفاءة الإزالة %	

الجدول (3) نتائج تجارب السلسلة الثانية عند تركيز MLSS= 1000 mg/l (نسبة إعادة الحمأة 50%) و HRT= 4

hours

SS out (mg/l)	SS in (mg/l)	COD out (mg/l)	COD in (mg/l)	MLSS (mg/l)	رقم العينة
36	161	75	312	922	1
48	211	71	289	889	2
37	172	78	326	1270	3
39	183	73	291	850	4
40	194	72	318	1300	5
40	184	74	307	1046	وسطي
78.3		75.9		كفاءة الإزالة %	

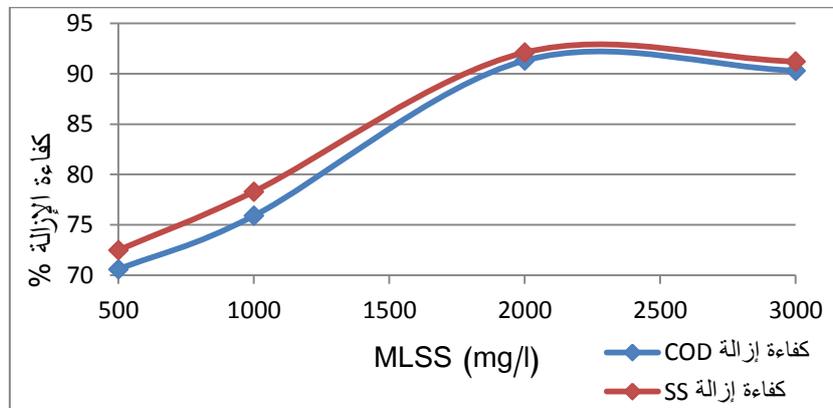
الجدول (4) نتائج تجارب السلسلة الثالثة عند تركيز MLSS= 2000 mg/l (نسبة إعادة الحمأة 60%) و HRT= 4 hours

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	SS in (mg/l)	SS out (mg/l)
1	2078	305	29	186	12
2	2043	312	27	192	11
3	2100	325	25	198	18
4	2200	284	26	204	19
5	1958	273	24	174	14
وسطي	2076	300	26	191	15
كفاءة الإزالة %		91.3	92.1		

الجدول (5) نتائج تجارب السلسلة الرابعة عند تركيز MLSS= 3000 mg/l (نسبة إعادة الحمأة 100%) و HRT= 4 hours

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	SS in (mg/l)	SS out (mg/l)
1	3166	314	31	141	12
2	3200	264	27	167	15
3	3278	282	29	181	18
4	2915	306	26	207	20
5	3023	324	30	212	14
وسطي	3116	298	29	182	16
كفاءة الإزالة %		90.3	91.2		

تم تمثيل نتائج المجموعة الأولى بيانياً كما هو موضح في الشكل (8)، إذ يبين العلاقة بين تغيير تركيز mg/l MLSS= 500-1000-2000-3000 مع كفاءة إزالة كلاً من COD و SS، عند زمن مكث هيدروليكي ثابت وقدره 4 ساعات.



الشكل (8) منحنى بياني لتغير كفاءة إزالة كلاً من COD و SS مع تغيير تركيز MLSS عند زمن مكث هيدروليكي قدره 4 ساعات

من النتائج السابقة نلاحظ أنه عند تركيز المواد الصلبة المعلقة ضمن المزيج مساوٍ  $MLSS = 500-1000 \text{ mg/l}$  وزمن مكث هيدروليكي قدره 4 ساعات، كانت كفاءة المعالجة قليلة حيث كانت كفاءة إزالة COD تساوي 70.6% و 75.9% على التوالي بينما كفاءة إزالة SS تساوي 72.5% و 78.3% على التوالي، بسبب انخفاض تركيز  $MLSS$  مقارنةً مع حمل التلوث الداخل إلى الحوض، كما نلاحظ أن كفاءة المعالجة عند تركيز  $MLSS = 2000 \text{ mg/l}$  و  $HRT = 4$  hours حقق أفضل كفاءة معالجة من حيث كفاءة إزالة COD و SS حيث كانت النسب 91.3% و 92.1% على التوالي، أما بالنسبة لـ  $MLSS = 3000 \text{ mg/l}$  و  $HRT = 4$  hours انخفضت كفاءة إزالة كلاً من COD و SS حيث كانت 90.3% و 91.2%، يعود ذلك إلى نسبة الغذاء إلى الكائنات الدقيقة Food to Organism F/M حيث ازدادت كمية الكائنات الدقيقة من أجل نفس كمية المغذيات بسبب ارتفاع كمية الكتلة الحيوية الكلية في الحوض الهجين. إن أفضل كفاءة معالجة تحققت عند  $MLSS = 2000 \text{ mg/l}$  لذلك تم الاعتماد على هذا التركيز من أجل سلاسل المجموعة الثانية.

#### 4.2. المجموعة الثانية:

تم في هذه المجموعة تثبيت تركيز  $MLSS$  عند  $2000 \text{ mg/l}$  مع تخفيض كمية التدفق من  $2.5 \text{ L/hours}$  إلى  $2 \text{ L/hours}$  و  $1.7 \text{ L/hours}$  لرفع زمن المكث الهيدروليكي من 4 ساعات إلى 5 و 6 ساعات على التوالي، وتمت القياسات كما هو مذكور سابقاً فكانت النتائج موضحة في الجداول (6) و (7) و (8).

الجدول (6) نتائج تجارب السلسلة الأولى عند  $HRT = 4 \text{ hours}$ ،  $MLSS = 2000 \text{ mg/l}$

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	SS in (mg/l)	SS out (mg/l)
1	2078	305	29	186	12
2	2043	312	27	192	11
3	2100	325	25	198	18
4	2200	284	26	204	19
5	1958	273	24	174	14
وسطي	2076	300	26	191	15
كفاءة الإزالة %		91.3		92.1	

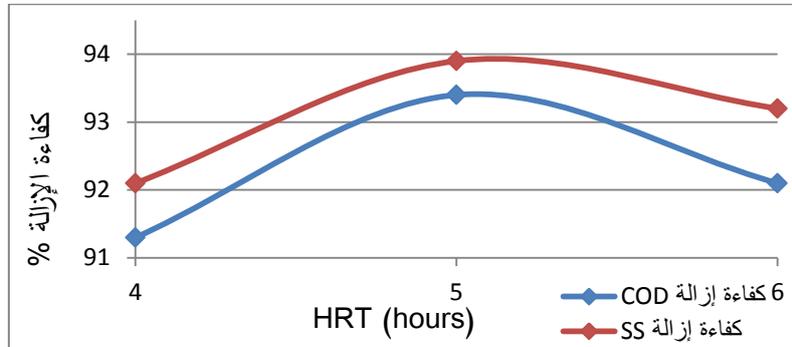
الجدول (7) نتائج تجارب السلسلة الثانية عند  $HRT = 5 \text{ hours}$ ،  $MLSS = 2000 \text{ mg/l}$

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	SS in (mg/l)	SS out (mg/l)
1	1958	281	20	121	8
2	1879	308	17	191	11
3	2200	292	21	150	7
4	2004	318	19	172	10
5	2300	323	22	182	12
وسطي	2068	304	20	163	10
كفاءة الإزالة %		93.4		93.9	

الجدول (8) نتائج تجارب السلسلة الثالثة عند  $HRT=6$  hours،  $MLSS=2000$  mg/l

رقم العينة	MLSS (mg/l)	COD in (mg/l)	COD out (mg/l)	SS in (mg/l)	SS out (mg/l)
1	1880	278	23	160	11
2	2000	312	26	188	12
3	2112	290	27	190	13
4	2200	326	25	171	10
5	1973	318	21	176	15
وسطي	2033	305	24	177	12
كفاءة الإزالة %		92.1	93.2		

تم تمثيل نتائج المجموعة الثانية بيانياً كما هو موضح في الشكل (9)، إذ يبين العلاقة بين تغيير HRT عند 4،5،6 ساعات مع كفاءة إزالة كلاً من COD وSS، عند تثبيت  $MLSS=2000$  mg/l



الشكل (9) منحنى بياني لتغير كفاءة إزالة كلاً من COD وSS مع تغيير زمن المكث الهيدروليكي عند تركيز  $MLSS=2000$  mg/l قدره

من النتائج السابقة نجد أن كفاءة إزالة كلاً من COD وSS عند  $MLSS=2000$  mg/l و  $HRT=5$  hours كانت 93.4% و 93.9% على التوالي أي أنها ذات كفاءة معالجة أعلى من  $MLSS=2000$  mg/l و  $HRT=4$  hours يُفسر ذلك بسبب توفر زمن مكث أفضل للبكتيريا لتقوم بتفكيك المواد العضوية الموجودة داخل الحوض، كما كانت كفاءة المعالجة عند  $HRT=5$  hours أفضل مقارنةً مع زمن مكث 6 ساعات بسبب زيادة معدل التحميل العضوي عند زمن مكث 5 ساعات مما أدى إلى زيادة نشاط البكتيريا وبالتالي ازدادت كمية الكتلة الحيوية، هذا يتفق مع ما توصل إليه الباحثان Hamoda and Al-Sharekh فكلما قل زمن المكث الهيدروليكي في المفاعل أدى إلى زيادة كمية الكتلة الحيوية المحتجزة يعود ذلك إلى التحميلات العضوية المفرطة المطبقة عند زمن المكث الأقصر والتي تدعم زيادة نمو الكتلة الحيوية [6]. من النتيجة المذكورة أعلاه نستنتج أنه عند استخدام قشور اللوز كحوامل بيولوجية، يمكن تقليل زمن المكث في حوض التهوية مما يزيد من إمكانية تمرير تدفق إضافي إلى حوض التهوية دون فقدان كفاءة المعالجة، وهذا يمكن اعتباره عاملاً هاماً لتقليل كلفة المعالجة.

من النتائج السابقة تم التوصل إلى أن السلسلة الأمثلية هي  $HRT=5$  hours و  $MLSS=2000$  mg/l، وتم تحديد كفاءتها في إزالة شوارد الأزوت والفسفور كما هو موضح في الجدولين (9) و(10).

الجدول (9) تحليل شوارد الأزوت عند تركيز  $MLSS=2000\text{ mg/l}$  و  $HRT=5\text{ hours}$

N-NH3 out	N-NH3 in	NH3 out	NH3 in	NH4 out	NH4 in	المؤشرات
3.65	32.07	4.25	39	4.5	32	التركيز (mg/l)
88.62		89.1		85.94		كفاءة الإزالة %

الجدول (10) تحليل شوارد الفوسفور عند تركيز  $MLSS=2000\text{ mg/l}$  و  $HRT=5\text{ hours}$

PO4 out	PO4 in	P2O5 out	P2O5 in	المؤشرات
7.25	30.31	5.37	22.65	التركيز (mg/l)
76.1		76.3		كفاءة الإزالة %

الشكلين (10) و (11) يُوضحان المياه قبل وبعد المعالجة عند السلسلة الأمثلية المذكورة سابقاً.



الشكل (10) مياه من حوض التهوية



الشكل (11) مياه ناتجة عن المعالجة

تم الحصول على كفاءة عالية في إزالة شوارد الفوسفات عند  $MLSS=2000\text{ mg/l}$  و  $HRT=5\text{ hours}$  حيث كانت كفاءة إزالة كلاً من  $P2O5=76.3\%$  و  $PO4=76.1\%$ ، سبب ذلك يعود إلى قدرة قشور اللوز السليلوزية على الامتزاز، كما تم الحصول على كفاءة عالية في إزالة شوارد الأزوت عند  $MLSS=2000\text{ mg/l}$  و  $HRT=5\text{ hours}$  حيث كانت كفاءة إزالة  $NH4=85.94\%$  و  $NH3=89.1\%$  و  $N-NH3=88.62\%$  السبب الرئيسي لذلك يعود إلى النمو المثبت (البيوفلم) المتشكل على القشور بالإضافة إلى ذلك قدرة القشور على الامتزاز. إن الميزة الكبيرة لاستخدام قشور اللوز كحوامل بيولوجية أنه لا حاجة لإضافة كربون خارجي؛ بسبب قدرته على إطلاق كربون قابل للذوبان يُستخدم لإزالة النتروجين.

## 5. الخاتمة:

مما سبق نجد أنه يمكن استخدام المخلفات الزراعية التي تتميز بخشونة سطحها ومساميتها العالية كحوامل بيولوجية بدلاً عن استخدام الحوامل الصناعية، حيث أن نتائج الدراسات التي أُجريت على المحطة التجريبية مع قشور اللوز كحوامل بيولوجية، أثبتت جدوى وكفاءة هذا النوع من الحوامل لتحسين معالجة مياه

الصرف الصحي مقارنةً مع أنظمة النمو المعلق. أظهرت الدراسات التجريبية كفاءة عالية للحوض الهجين، خاصةً في إزالة شوارد الأزوت والفوسفور. إن تثبيت الأغشية الحيوية على الحوامل يؤدي إلى زيادة الكتلة الحيوية الكلية في النظام، كما أظهر الفحص الميكروبيولوجي للكتلة الحيوية في المحطة التجريبية أنها مستقرة ومتنوعة، مما يشير إلى أن النظام الهجين مناسب لمعالجة مياه الصرف الصحي. في نظام IFAS أدى تعاون الحمأة المنشطة مع قشور اللوز إلى إزالة المواد العضوية والمغذيات.

#### 6. التوصيات:

- (1) استخدام المعالجة الهجينة في الحالات التي تتغير فيها مواصفات مياه الصرف الصحي من حيث كمية التدفق والتلوث (خاصةً في المياه الصناعية).
- (2) يُوصى من أجل أبحاث مستقبلية في نفس المجال باستخدام قشور الجوز كحوامل بيولوجية ومقارنة فعاليتها في المعالجة مع فعالية قشور اللوز.
- (3) إجراء أبحاث مع الأخذ بعين الاعتبار تحديد الفترة اللازمة لإضافة قشور بدلاً من القشور المهضومة عند استخدام أي نوع من القشور ودراسة كفاءتها.
- (4) إجراء أبحاث باستخدام طريقة المعالجة بالنمو المثبت فقط على القشور.
- (5) إجراء المزيد من الأبحاث حول قدرة القشور السليلوزية على امتزاز الملوثات.

#### 7. References:

- 1- Ali, I., Khan, Z. M., Sultan, M., Mahmood, M. H., Farid, H. U., Ali, M., & Nasir, A. (2016). Experimental study on Maize Cob trickling filter-based wastewater treatment system: design, development, and performance evaluation. *Pol. J. Environ. Stud*, 25(6), 2265.
- 2- Chegini, Z.G., Javid, A. H., & Hasani, A. H. (2017). Removal of Direct Red 12B dye in an integrated fixed film activated sludge reactor (IFAS): performance evaluation and kinetics study. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 5(3), 1035-1040.
- 3- Egyetem, P. (2012). *Contactors Technologies in Wastewater Treatment*, 1–72.
- 4- Eslami, H., Ehrampoush, M. H., Falahzadeh, H., Hematabadi, P. T., Khosravi, R., Dalvand, A., ... & Ebrahimi, A. A. (2018). Biodegradation and nutrients removal from greywater by an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) in different organic loadings rates. *Amb Express*, 8(1), 3.
- 5- Farrokhi, M., Ashrafi, D., Roohbakhsh, E., & Yoonesi, A. (2014). Hospital wastewater treatment by integrated fixed film activated sludge, using rice husk as fixed media. *Advances in Life Sciences*, 4(3), 178-183.
- 6- Hamoda, M. F., & Al-Sharekh, H. A. (2000). Performance of a combined biofilm-suspended growth system for wastewater treatment. *Water science and technology*, 41(1), 167-175.
- 7- Henze, M., van Loosdrecht, M. C., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (Eds.). (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA publishing.

- 8- Malik, D. S., Jain, C. K., & Yadav, A. K. (2016). Removal of heavy metals from emerging cellulosic low-cost adsorbents: a review. *Applied water science*, 7(5), 2113-2136. DOI 10.1007/s13201-016-0401-8
- 9- Randall, C. W., & Sen, D. (1996). Full-scale evaluation of an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) process for enhanced nitrogen removal. *Water Science and Technology*, 33(12), 155-162.
- 10- Sabzali, A., Nikaeen, M., & Bina, B. (2011). Evaluation of cigarette filters rods as a biofilm carrier in integrated fixed film activated sludge process. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5(3), 583-588.
- 11- Singh, N. K., Kazmi, A. A., & Starkl, M. (2015). Environmental performance of an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) reactor treating actual municipal wastewater during start-up phase. *Water Science and Technology*, 72(10), 1840-1850.
- 12- Sud, D., Mahajan, G., & Kaur, M. P. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions—A review. *Bioresource technology*, 99(14), 6017-6027.
- 13- Surampalli, R. Y., Tekippe, R. J., & Baumann, E. R. (1994). Value of supplemental air in improving RBC performance. *Water Quality Research Journal*, 29(1), 53-74.
- 14- Water Environment Federation. *Biofilm Reactors: WEF MOP No.35 (1st Ed.)*. Alexandria, Virginia: McGraw Hill Professional. (2010).
- 15- Wertz, J. L., Mercier, J. P., & Bédué, O. (2010). *Cellulose science and technology*. EPFL press.