

## المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي بمسحوق أوراق نبات البطم الأطلسي

عدنان علي نظام \*\*

عبيده الحجلي \*

### الملخص

تستأثر المساحيق النباتية بأهمية كبيرة في عمليات معالجة مياه الصرف لاسيما في البلدان النامية نتيجة ارتفاع تكاليف طرائق المعالجة الأخرى وكونها صديقة للبيئة وفعالة وغير مكلفة؛ لذلك هدفت هذا البحث إلى تقييم كفاءة مسحوق أوراق نبات البطم في تحسين الخصائص الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي، إذ جُمعت الأوراق النباتية من مدينة السويداء ومياه الصرف المنزلي من مدينة جرمانا وفق الطرائق القياسية، ودرست العوامل المؤثرة في تجارب المعالجة لتحقيق أفضل كفاءة لإزالة الجراثيم، مثل: كمية المساحيق النباتية (0.5، 1، 2، 3، 4 غ/ل)، زمن المعالجة (30، 60، 120، 180، 240 دقيقة)، درجة الحرارة (15، 20، 25، 30 م°)، الرقم الهيدروجيني (6، 7، 8)، ثم أُجري اختبار لقابلية إعادة استعمال المساحيق النباتية دورات متتالية في المعالجة. بينت النتائج كفاءة عالية لمسحوق البطم في تقليل الحمل الجرثومي من مياه الصرف المنزلي؛ إذ تجاوزت فعالية إزالة إجمالي الجراثيم Viable Count Bacteria وجراثيم الكوليفورم الكلي Total Coliform وجراثيم الكوليفورم البرازي Fecal Coliform وجراثيم المكورات المعوية البرازية *Enterococcus faecalis* والإشريكية القولونية *Escherichia coli* والكلبسيلا *Klebsiella sp* والإنتيروبكتير *Enterobacter sp* 97% عند زيادة كمية المسحوق النباتية من 0.5 إلى 4 غ/ل وزيادة زمن المعالجة من 30 إلى 240

\* طالب ماجستير في قسم علم الحياة النباتية من كلية العلوم بجامعة دمشق، سورية.

\*\* أستاذ في قسم علم الحياة النباتية من كلية العلوم بجامعة دمشق، سورية.

دقيقة، وبلغت أفضل فعالية لإزالة مختلف أنواع الجراثيم عند درجة الحرارة 30 م° بنسبة تجاوزت 98%، وزادت فعالية الإزالة الجرثومية مع انخفاض قيم pH من 8 إلى 6 بنسبة تجاوزت 99% لمختلف أنواع الجراثيم، وأظهر مسحوق نبات البطم كفاءة عالية في إزالة الجراثيم بعد دورتين متتاليتين من إعادة استعماله في المعالجة بنسبة انخفاض لم تتجاوز 30% مقارنةً بالقيمة الأولية، وانخفضت فعالية الإزالة بنسبة تجاوزت 50% لمختلف أنواع الجراثيم بعد الدورة الثالثة من المعالجة باستثناء جراثيم المكورات المعوية البرازية؛ لذلك يعد مسحوق الأوراق النباتية بديلاً واعداً لتقليل أعداد الجراثيم من مياه الصرف المنزلي وتخفيف أضرارها على صحة الإنسان.

**الكلمات المفتاحية:** معالجة مياه الصرف المنزلي، التعداد الإجمالي للجراثيم، الكوليفورم الكلي، الكوليفورم البرازي، مسحوق أوراق نبات البطم.

## Microbiological Treatment of Domestic Wastewater Using *Pistacia atlantica* Plant Leaves Powder

Obaida Alhajali\*

Dr. Adnan Ali-Nizam\*\*

### Abstract

Plant powders are of great importance in domestic wastewater treatment processes currently, especially in the developing countries, due to the high costs of other treatment methods and their being environmentally friendly, efficient and inexpensive. Therefore, this research aimed to evaluate the efficiency of *Pistacia* leaves powder in improving the microbiological properties of domestic wastewater. The plant leaves from Suwayda city and domestic wastewater from of Jaramana city were collected according to standard methods. The factors affecting treatment experiments were studied to achieve the best efficiency for bacteria removal, such as: the amount of plant powder (0.5, 1, 2, 3, 4 g/L), time treatment (30, 60, 120, 180, 240 minutes), temperature (15, 20, 25, 30 °C), and pH (6, 7, 8). After that a test for the reusability of the plant powder for successive cycles of treatment was conducted. The results showed a high efficiency of *Pistacia* powder in reducing bacterial load from domestic wastewater. The efficacy of removing Viable Count Bacteria, Total Coliform, Fecal Coliform, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp, *Enterobacter* sp, exceeded 97% when increasing the amount of powder from 0.5 to 4 g/L and time treatment from 30 to 240 minutes. The best effectiveness of removing various types of bacteria was reached at a temperature of 30°C by more than 98%, and the effectiveness of bacterial removal increased with a decrease of pH values from 8 to 6 by more than 99% for various types of bacteria. *Pistacia* powder showed a high efficiency in removing bacteria after two successive cycles of re-use in the treatment with a decrease of not more than 30% compared to the initial value, while the removal effectiveness decreased by more than 50% for

---

\* Master's Student, Department of Plant Biology, Faculty of Science, Damascus University.

\*\* Prof. Dr. Department of Plant Biology, Faculty of Science, Damascus University, Syria.

various types of bacteria after the third cycle of treatment except for *Enterococcus faecalis*. Therefore, plant leaves powder promises alternatives to reduce the number of bacteria from domestic wastewater and reducing their harm to human health.

**Key Words:** domestic wastewater treatment, viable count bacteria, total coliform, fecal coliform, *Pistacia* leaves powder.

**المقدمة Introduction:**

أدى ازدياد التوسع العمراني والنمو السكاني في أنحاء العالم إلى صرف مزيد من المياه الملوثة في البيئة دون معالجة؛ إذ تحتوي مياه الصرف المنزلي خليطاً معقداً من الملوثات العضوية واللاعضوية، وعدداً هائلاً من الجراثيم والعوامل الممرضة، ويؤدي استعمال مياه الصرف غير المعالجة إلى انتقال العوامل الممرضة إلى الإنسان والحيوانات وحدوث الأمراض كالتييفويد والهيضة والزحار والتهاب المعدة والأمعاء واليرقان والإسهال، ووفقاً لتقدير منظمة الصحة العالمية فإن أكثر من 5 ملايين شخص يموتون بالأمراض المنقولة بالماء سنوياً؛ معظمها بسبب الالتهابات المعوية الجرثومية (Cabral, 2010)؛ ما يستدعي الاهتمام بمعالجة المياه الملوثة واستعمال تقانات وطرائق كثيرة كالأكسدة oxidation، والأوزنة Ozonation، والتخثر coagulation والترسيب الكيميائي chemical precipitation، والمعالجة الكهروكيميائية electrochemical، والتبادل الأيوني ion exchange، والحمأة المنشطة activated sludge، إلا أن التقانات السابقة تتصف بعيوب أهمها التكلفة المرتفعة واحتياجها للطاقة والمهارة العالية في التشغيل، إضافة إلى إنتاج الحمأة الثانوية السامة وإنتاج مركبات جديدة ضارة بالأحياء (Bhatnagar and Sillanpaa, 2010, Chiban et al., 2012)، وهو ما يستوجب البحث عن بدائل فعالة ورخيصة لمعالجة المياه الملوثة، إذ إن استعمال المخلفات الغذائية والمخلفات الزراعية في إزالة الجراثيم من المياه بديل جيد فهي صديقة للبيئة ومتوفرة ومنخفضة التكلفة وقابلة للتجديد وذات كفاءة مرتفعة (Abdolali et al., 2014)، في إزالة المعادن الثقيلة، مثل:  $Pb^{+2}$ ،  $Zn^{+2}$ ،  $Cu^{+2}$ ،  $Cd^{+2}$ ، والنترات  $NO_3^-$  والفسفات  $PO_4^-$  (Abdel-Ghani et al., 2008)، والأصبغة (Chiban et al., 2011) <sup>3</sup>، إضافة إلى أن المساحيق النباتية أظهرت كفاءة عالية في إزالة الجراثيم من المياه؛ إذ أمكن تقليل أعداد جراثيم الكوليفورم الكلي Total Coliform بمعدل 96%، 90.47%، 89.52% باستعمال مساحيق بذور البان *Moringa oleifera*، والبلابل *Dolichos lablab*، والحمص *Cicer arietinum* بتركيز 1% على الترتيب (Asrafuzzaman et al., 2011)، وأزيلت الإشريكية القولونية

*Escherichia coli* بمعدل 82.15% بعد 32 دقيقة من عملية المعالجة بمستخلص أوراق الريحان *Ocimum tenuiflorum* بتركيز 1% (Rajesh and Wankhade, 2016)، هذا ويُنتج العالم أكثر من مليار طن من المخلفات الغذائية والمخلفات الزراعية سنوياً نتيجة الإنتاج والاستهلاك غير المسؤول للغذاء، وفقاً لمنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة الفاو (FAO 2011). تتضمن عمليات المعالجة بمساحيق المخلفات النباتية (الامتزاز الحيوي Biosorption أو الامتزاز الأخضر Green adsorption) مجموعة من الآليات، بما في ذلك الامتزاز الفيزيائي والامتزاز الكيميائي إضافة إلى الفعالية التي تمتلكها المساحيق النباتية تجاه الجراثيم، واحتوائها على مجموعات وظيفية، مثل: الهيدروكسيل والكربوكسيل والكربونيل والمجموعات الأمينية والسلفدريل والفوسفوريل والفينولات (Afroze and Sen, 2018)، وقد استعملت غالبية الدراسات السابقة المساحيق النباتية لإزالة ملوثات مختلفة من المحاليل الصناعية في نطاق المختبر، إضافة إلى قلة الدراسات التي تهتم بتجديد هذه المساحيق؛ لذا كان هدف هذا البحث تقييم كفاءة مساحيق أوراق البطم في تحسين الخصائص الجرثومية لمياه الصرف المنزلي، واختبار كفاءتها باستعمالها دورات كثيرة في المعالجة، واستعمال هذه المساحيق دون معالجة مسبقة (كيميائية أو فيزيائية) لإثبات فعاليتها اقتصادياً وبيئياً مقارنة بالمواد الأخرى المستعملة في معالجة المياه؛ إذ تعد الأوراق متوافرة بكميات كبيرة وصديقة للبيئة وغير مكلفة.

#### أهمية البحث Importance of Research:

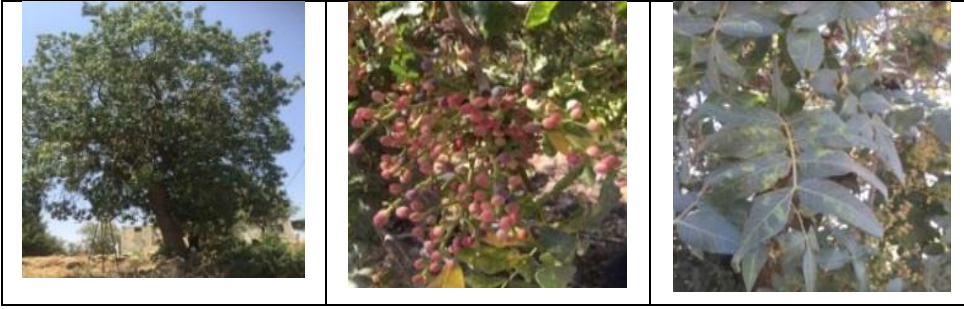
إن ازدياد كميات مياه الصرف المنزلي إضافة إلى التكلفة المرتفعة لطرائق المعالجة، يوجه الاهتمام حالياً نحو إيجاد طرائق بسيطة ومنخفضة التكلفة وفعالة وصديقة للبيئة في معالجة هذه المياه، ومن أجل تحقيق التنمية المستدامة فإن استعمال مساحيق المخلفات النباتية يزيد على الجدوى الاقتصادية لهذه العملية، ويلبي تطویر الأهداف البيئية والاقتصادية للكثير من مناطق العالم التي تهدف إلى تحسين عملية معالجة مياه الصرف الصحي، وتقليل التأثيرات السلبية للتخلص من مياه الصرف الصحي المعالجة في صحة الإنسان.

## المواد والطرائق **Materials and Methods**:

### 1. الاعتيان Sampling:

جُمعت عينات أوراق البطم الأطلسي *Pestacia atlantica* من قرية حبران جنوبي محافظة السويداء على ارتفاع 1400 م عن سطح البحر (الشكل 1)، غُسلت الأوراق بالماء المقطر 2 – 3 مرات لإزالة الشوائب والجسيمات الملتصقة وجُففت بالظل مدة أسبوعين حتى ثبات الوزن نسبياً، وجُمعت مياه الصرف المنزلي بعبوات زجاجية معقمة سعتها 500 مل من نقطة نهاية شبكة الصرف المنزلي في مدينة جرمانا، بغمرها بحدود 20 سم وفتح الغطاء عكس التيار وإغلاقها بعد الملاء، ووضعت في حافظة مبردة 4م° ونقلت إلى المختبر لإجراء التحاليل الجرثومية اللازمة (APHA 2017).

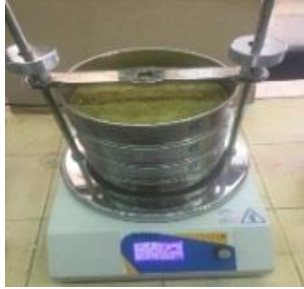
2. تحضير مسحوق أوراق البطم Preparation of Pestacia leaves powders :  
طُجنت الأوراق النباتية المجففة بمطحنة كهربائية وغُرِبت بمنخل ذي ثقوب بأبعاد 250 µm (الشكل 2)، ثم وُضعت المساحيق في زجاجيات معقمة في البراد لحين استعمالها.



الشكل (1) نبات البطم الأطلسي (الأوراق، الثمار، المظهر العام للشجرة)



مساحيق البطم الأطلسي



تنخيل المساحيق، 250 μm



طحن الأوراق النباتية

الشكل (2) مراحل تحضير مسحوق أوراق البطم

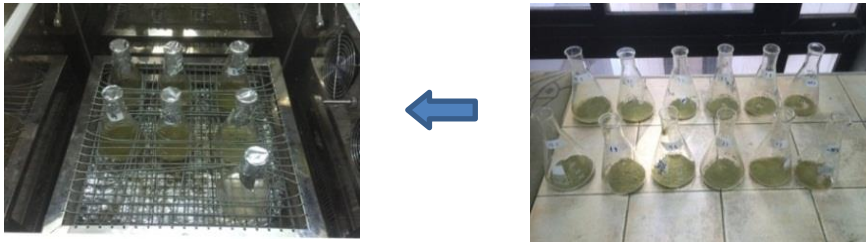
3. توصيف المساحيق النباتية بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) Scanning electron microscopy: استعمل المجهر الإلكتروني من النوع VEGA\\XMU والمرتبط بوحدة تحليل أشعة X نوع EDAX-AMETEX وذلك بهدف دراسة البنية السطحية لمسحوق أوراق البطم، إذ جُففت العينة ووضعت على قطعة من لاصق كربوني خاص وألصقت على حامل من الألمنيوم، ثم أُدخلت إلى حجرة العينات في المجهر، وطبق عليها نظام التخلية المرتفع 10-3 mbar وجهد مرتفع 30 KV (Riahi *et al.*, 2009)، وحُدِّت أبعاد المسام بجهاز ماركة Micromeritics Gemini 3 حسب BET (Brunauer, Emmett and Teller)، لامتزاز النتروجين N<sub>2</sub> (Anastopoulos *et al.*, 2018).

4. سلسلة تجارب استعمال مسحوق أوراق البطم لمعالجة مياه الصرف المنزلي وفق بعض المراجع : treatment

أُجريت سلاسل من تجارب المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي وفق بعض المراجع (Chiban *et al.*, 2012) مع إجراء بعض التعديلات، واستُعملت إرلينات سعة 250 مل في كل منها 100 مل من مياه الصرف المنزلي، وفق الآتي (الشكل 3):



- السلسلة الأولى: أُجريت لتحديد جرعة المسحوق النباتي Plant Powder Dose بإضافة كميات مختلفة (0.5، 1، 2، 3، 4 غ/ل) من مسحوق البطم إلى مياه الصرف المنزلي، في ظروف pH 6.5 ودرجة الحرارة 27 م°، وزمن معالجة 300 دقيقة، وسرعة رَج 150 دورة في الدقيقة.
- السلسلة الثانية: أُجريت لتحديد زمن المعالجة Contact Time (30، 60، 120، 180، 240 دقيقة)، مع تثبيت الكمية المثالية من المسحوق النباتي في ظروف pH 6.5 ودرجة الحرارة 27 م°، وسرعة رَج 150 دورة في الدقيقة.
- السلسلة الثالثة: أُجريت لتحديد درجة الحرارة Temperature (15، 20، 25، 30 م°)، مع تثبيت الكمية المثالية من المسحوق النباتي وزمن المعالجة في ظروف pH 6.5 وسرعة رَج 150 دورة في الدقيقة.
- السلسلة الرابعة: أُجريت لتحديد الرقم الهيدروجيني pH (6، 7، 8)، مع تثبيت الكمية المثالية من المسحوق النباتي والقيم المثالية لزمن المعالجة ودرجة الحرارة لمختلف أنواع الجراثيم، وسرعة رَج 150 دورة في الدقيقة.



الشكل (3) سلسلة اختبارات معالجة مياه الصرف المنزلي باستعمال المسحوق النباتي

رُشحت المياه بعد المعالجة بأوراق ترشيح Whatman (No.45)، وقُيست الخصائص الجرثومية للمياه، وأُجريت جميع التجارب باستعمال ثلاثة مكررات، واستُعمل شاهد لكل سلسلة بإضافة 100 مل مياه الصرف المنزلي دون مسحوق النبات، ضُبِطت قيم pH لمياه الصرف المنزلي باستعمال HCl (M 0.1) و NaOH (M 0.1) بعد إضافة المساحيق النباتية، وحُسبت النسبة المئوية لإزالة الجراثيم بالعلاقة الآتية:

$$\text{Removal Efficiency (R \%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

حيث  $C_i$ ،  $C_f$  التركيز الابتدائي والنهائي للملوثات في مياه الصرف المنزلي على الترتيب.

5. التحليل الجرثومي لمياه الصرف المنزلي Bacterial analysis of domestic wastewater : أُجريت التحاليل الجرثومية لمياه الصرف المنزلي قبل المعالجة وبعدها، واستُعملت طريقة الفرش على الطبق Spread Plate Method بأخذ 1 مل من كل عينة بعد إجراء سلسلة من التخفيفات العشرية للحصول على التخفيف المناسب، وفُرِشت على نحو متجانس ضمن غرفة الزرع الجرثومي المعقمة بجانب اللهب بواقع ثلاثة مكررات لكل منها، حُضنت الأطباق مقلوبة في درجة الحرارة 37 م°، وحُضنت جراثيم الكوليفورم البرازي في درجة حرارة 44.5 م° مدة 24 ساعة، وحُسب المتوسط الحسابي لعدد المستعمرات بكل تخفيف وقُدّرت بالوحدة المكونة للمستعمرة/مل CFU/mL، وعدد الجراثيم في 1 مل يعادل متوسط عدد المستعمرات بالتخفيف المختار × مقلوب التخفيف نفسه (APHA, 2017). أُجريت تعداد الجراثيم غيرية التغذية Nutrient Agar، والكوليفورم الكلي Total Coliform TC على وسط إيوزين زرقة المتلين Eosin Methylene Blue EMB (المستعمرات بلون وردي مخمرة للاكتوز)، والكوليفورم البرازي Fecal Coliform FC على وسط m-FC Agar Base (المستعمرات بالأزرق)، والمكورات المعوية البرازية *Enterococcus faecalis* EF على وسط Enterococcus Selective Agar (المستعمرات بلون أحمر أو وردي)، إضافة إلى تعداد بعض أجناس الأمعائيات على وسط EMB، مثل: الإشريكية القولونية *E. coli* (للمستعمرات بريق معدني واضح)، والكلبسيلا *Klebsiella sp* (المستعمرات مخاطية كبيرة الحجم بلون وردي أو بنفسجي)، والإنتيروباكتير *Enterobacter sp* (المستعمرات كبيرة الحجم محدبة مركزها بني قاتم دون لمعان معدني).

6. قابلية إعادة استعمال مسحوق أوراق البطم في معالجة مياه الصرف المنزلي Reusability of : the *Pistacia's* leaves powder for domestic wastewater treatment

أُجريت عملية تقييم نشاط المسحوق النباتي لإعادة استعماله ثلاث دورات متتالية بعد الدورة الأولى في المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي؛ بوضع المسحوق وفق الشروط المثلى (الكمية، زمن المعالجة، درجة الحرارة، pH) في 100 مل من مياه الصرف وحددت النسبة المئوية لإزالة الجراثيم (الدورة 0)، ثم جففت العينات جيداً وطُبقت في المعالجة التالية، وحسبت النسبة المئوية لإزالة الجراثيم من مياه الصرف (الدورة 1)، كُريت العملية لثلاث دورات متتالية (Zhang *et al.*, 2019)، وأُجريت التجارب بواقع ثلاثة مكررات.

#### 7. الدراسة الإحصائية Statistical Study:

دُرست علاقات الارتباط على برنامج SPSS النسخة 22 اعتماداً على معاملات ارتباط بيرسون باستعمال Correlation Matrix، واعتمد اختبار تحليل التباين أحادي الاتجاه لاختبار وجود فروق معنوية بين جميع المتوسطات One-way analysis of variance (ANOVA)، وعدت القيمة  $P < 0.05$  كقيمة يُعتدّ بها إحصائياً بمستوى ثقة 95%.

#### النتائج والمناقشة Results and Discussion:

1. نتائج سلسلة التجارب لتحديد تأثير كمية مسحوق أوراق البطم في معالجة مياه الصرف المنزلي يبين الجدول إمتوسط نتائج المعالجة الميكروبيولوجية للمياه باستعمال كميات مختلفة من مساحيق أوراق البطم، إذ يلاحظ زيادة كفاءة إزالة الجراثيم مع زيادة كمية المسحوق من 0.5 إلى 4 غ/ل؛ إذ ارتفعت النسبة المئوية لإزالة التعداد الإجمالي للجراثيم من 27.81 إلى 99.82%، ولجراثيم الكوليفورم الكلي من 31.86 إلى 98.81%، ولجراثيم الكوليفورم البرازي من 65.81 إلى 99.55%، ولجراثيم المكورات المعوية البرازية من 90.90 إلى 100%، ولجراثيم الإشريكية القولونية من 57.09 إلى 99.06%، ولجراثيم الكلبييلة من 20 إلى 97.75%، ولجراثيم الإنتيروباكتير من 27.39 إلى 98.53%، وعند زيادة الكمية عن 4 غ/ل كانت فعالية الإزالة زهيدة؛ لذلك اعتمدت كمية 4 غ/ل لإكمال سلسلة تجارب المعالجة، وقد أبدت المساحيق النباتية انتقائية واضحة للجراثيم إيجابية الغرام مقارنةً بالجراثيم سلبية الغرام عند إضافتها بكميات قليلة؛ ما يؤكد أن اختلاف تركيب الجدار الخلوي عند الجراثيم وحساسية النوع الجرثومي لكمية المسحوق المستعمل تؤثر في فعالية

المعالجة، إضافة إلى أن الجراثيم إيجابية الغرام شديدة الكره للماء Hydrophobic مقارنةً بالجراثيم سلبية الغرام وتميل للالتصاق أكثر بالأسطح (Sha'arani et al., 2019)؛ إذ كانت كفاءة الإزالة لجراثيم المكورات المعوية البرازية 90.90 و 99.41% عند استعمال 0.5 و 1 غ/ل على التوالي، وهي أفضل من النسبة المئوية لإزالة الإشريكية القولونية والكلبسيلا والانتيروباكتير عند الكمية نفسها من المسحوق، بينما تقاربت فعالية الإزالة للجراثيم إيجابية وسلبية الغرام عند استعمال كميات أعلى من المساحيق، وأمكن ملاحظة إزالة الإشريكية القولونية على نحو أفضل من الكلبسيلا والانتيروباكتير عند 0.5 و 1 غ/ل؛ إذ بلغت 57.06 و 67.28% على التوالي، وتُلاحظ الكفاءة المرتفعة للمسحوق تجاه طيف واسع من الجراثيم.

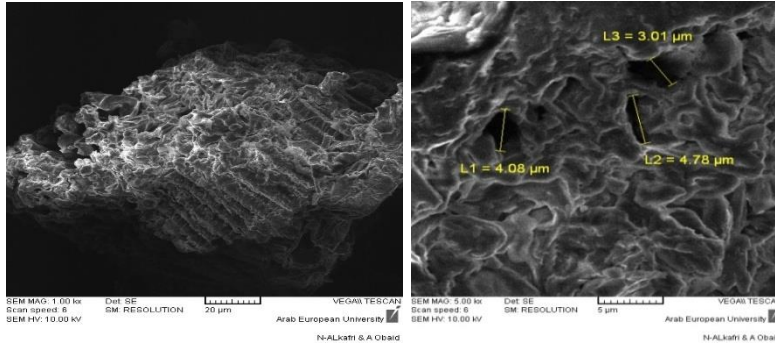
تُعزى فعالية المساحيق في إزالة الجراثيم من مياه الصرف إلى آليات عدة، كالامتزاز adsorption، فالمواد المازة الصلبة وأسطح الخلايا الجرثومية مهمة في تحديد كيفية التصاق الجراثيم بأسطح المواد عن طريق التفاعلات الكيميائية والفيزيائية، قد تكون تفاعلات جذب أو تنافر، حسب نظرية DLVO Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek، إذ تحدث جاذبية الجسيمات على مسافة قصيرة تُسمى الحد الأدنى الأولي (1 نانومتر) ومسافة طويلة تُسمى الحد الأدنى الثانوي (5 - 10 نانومتر)، وتوجد بين المسافتين منطقة من التنافر الكهروستاتيكي الأقصى نتيجة التداخل بين الطبقة المضاعفة الكهربائية للخلية الجرثومية والطبقة التحتية المعروفة باسم حاجز الطاقة، وترتبط قوة حاجز الطاقة ارتباطاً وثيقاً بالقوة الأيونية للمرحلة المائية، وهي على مرحلتين: الامتزاز العكسي reversible adsorption عند تفوق الجراثيم الموجودة في الحد الأدنى الثانوي على قوى التنافر الثانوية بينها والسطح بسبب الحركة البراونية أو حركة الخلايا وهو ما يجعلها تمتز على السطح، والامتزاز العكسي تفاعل ضعيف والقوى الأساسية المسؤولة عن هذه المرحلة وقوى فان دير فالس Van der Waals، حيثُ يمكن للجراثيم المُمترزة بصورة عكسية أن تنفصل عن السطح وتعود إلى الماء؛ اعتماداً على القوة الأيونية للسائل أو تأثير التركيب الكيميائي للمحلول المائي، ثم الامتزاز غير العكسي Irreversible Adsorption أو الالتصاق Adhesion.

الجدول (1) متوسط نتائج معالجة مياه الصرف المنزلي باستعمال كميات مختلفة من مسحوق أوراق البطم الأطلسي

مياه الصرف المعالجة باستعمال كميات مختلفة من مسحوق أوراق البطم					مياه صرف خام	الاختبارات
4 غ.ل <sup>-1</sup>	3 غ.ل <sup>-1</sup>	2 غ.ل <sup>-1</sup>	1 غ.ل <sup>-1</sup>	0.5 غ.ل <sup>-1</sup>		
0.0± 5 4 <sup>10</sup> ×	1± 22 4 <sup>10</sup> ×	74 1.15± 5 <sup>10</sup> ×	2± 146 5 <sup>10</sup> ×	205 2.08± 5 <sup>10</sup> ×	5 <sup>10</sup> × 3± 284	V.C (CFU/mL)
99.82	99.22	73.94	48.59	27.81		فعالية الإزالة %
3 <sup>10</sup> × 1.52± 35.33	67.33 0.57± 3 <sup>10</sup> ×	1± 99 4 <sup>10</sup> ×	159 2.64± 4 <sup>10</sup> ×	3± 201 4 <sup>10</sup> ×	3.51± 295 4 <sup>10</sup> ×	T.C (CFU/mL)
98.81	97.72	66.44	46.10	31.86		فعالية الإزالة %
3 <sup>10</sup> × 0.57± 11.33	1± 15 3 <sup>10</sup> ×	28.66 1.52± 4 <sup>10</sup> ×	58 2.51± 4 <sup>10</sup> ×	2± 84 4 <sup>10</sup> ×	4 <sup>10</sup> × 4± 246	F.C (CFU/mL)
99.55	99.39	88.61	76.42	65.81		فعالية الإزالة %
0	2.33 0.57± 1 <sup>10</sup> ×	7.33 0.57± 1 <sup>10</sup> ×	1± 9 2 <sup>10</sup> ×	14.33 1.52± 3 <sup>10</sup> ×	2.51± 154.6 3 <sup>10</sup> ×	E.F (CFU/mL)
100	99.98	99.95	99.41	90.90		فعالية الإزالة %
1± 10 3 <sup>10</sup> ×	17.66 1.15± 3 <sup>10</sup> ×	22 1.73± 4 <sup>10</sup> ×	35.33 1.52± 4 <sup>10</sup> ×	1± 46 4 <sup>10</sup> ×	4 <sup>10</sup> × 2± 107	<i>E.coli</i> (CFU/mL)
99.06	98.41	79.43	67.28	57.09		فعالية الإزالة %
0.0± 9 3 <sup>10</sup> ×	1± 11 3 <sup>10</sup> ×	14.33 1.15± 4 <sup>10</sup> ×	27.66 1.52± 4 <sup>10</sup> ×	0.57± 32 4 <sup>10</sup> ×	4 <sup>10</sup> × 1± 40	<i>Klebsiella</i> <i>sp</i> (CFU/mL)
97.75	97.25	64.99	32.49	20		فعالية الإزالة %
3 <sup>10</sup> × 0.57± 12	17 1.73± 3 <sup>10</sup> ×	21.33 1.52± 4 <sup>10</sup> ×	1± 37 4 <sup>10</sup> ×	53.66 2.51± 4 <sup>10</sup> ×	3.6± 73 4 <sup>10</sup> ×	<i>Enterobacter sp</i> (CFU/mL)
98.35	97.67	71.23	49.31	27.39		فعالية الإزالة %

وهو تفاعل يتضمن صرف الطاقة فيختفي حاجز الطاقة وتلتصق الخلايا الجرثومية تماماً بالسطح الصلب، اعتماداً على زمن التلامس، وقد يحدث الامتزاز غير العكسي عند نقاط القوة الأيونية المنخفضة في حال استعمال السياط أو إنتاج بلمرات خارجية، ما يسمح باختراق حاجز الطاقة وتشكيل جسور تربط الخلايا الجرثومية بسطح المادة المازة (Stevik *et al.*, 2004). تؤثر عوامل مختلفة في امتزاز الجراثيم على أسطح المواد، مثل: العوامل الفيزيائية (تركيب السطح ومساميته، ووجود المواد العضوية والرقاقة الحيوية biofilm، ودرجة الحرارة، وزمن المعالجة)، والعوامل الكيميائية (القوة الأيونية، ورقم pH)، والعوامل الميكروبيولوجية (الشحنة السطحية للخلايا، تركيز الجراثيم، وجود الزوائد كالسياط، وخاصية الكره للماء hydrophobicity، وأبعاد الخلايا) (Stevik *et al.*, 2010, Hori and Matsumoto, 2010). واستناداً إلى تحليل BET تبين أن مسحوق الأوراق المستعملة يتصف بمسام مجهرية  $0.27 \pm 0.543$  micropores نانومتر؛ ما يدل على أن امتزاز الجراثيم في مسام المسحوق غير ممكن، إلا أن تحليل المجهر الإلكتروني الماسح أظهر وجود مسام من نوع المسام الضخمة macropores أبعادها 3.01–4.78 ميكرومترات بأعداد قليلة نسبياً ويمكنها المشاركة في امتزاز الجراثيم إلى جانب خشونة أسطح المسحوق النباتي وعدم تجانسها (الشكل 4)، وهذا يتوافق مع ما ذكره Terlanga (2016) بأن آلية امتزاز الإشريكية القولونية والسلمونيلة *Salmonella sp* على جزيئات الطين المعدل بفعل  $ZnCl_2$  ومسحوق بذور الكاريكا *Carica papaya* ومسحوق قشور الموز *Musa paradisiaca* لم تكن بفعل مسام المواد المركبة (أبعادها 2.823–3.07 نانومتر)، وهي أصغر من حجم الإشريكية القولونية والسلمونيلة، وقد تُعزى إزالة الجراثيم إلى قوة الجذب الكهروستاتيكي بين الخلايا الجرثومية سلبية الشحنة والمواقع إيجابية الشحنة السطحية للمواد المازة؛ إذ تمتلك الخلايا ايجابية الغرام شحنة سلبية لوجود حمض التيكويك Teichoic acid المرتبط بالببتيدوغليكان أو بالغشاء السيتوبلازمي وهو يحتوي على الفُسفات، وتحتوي الجراثيم سلبية الغرام غشاءً يتكوّن من الدهون الفسفورية وعديدات السكر الدهنية وشحنتها سلبية،

ويمكن استبدال مجموعة  $\text{OH}^-$  على أسطح المواد المازة بمجموعات  $\text{PO}_4^{3-}$  على الجراثيم (Unuabonah *et al.*, 2018).

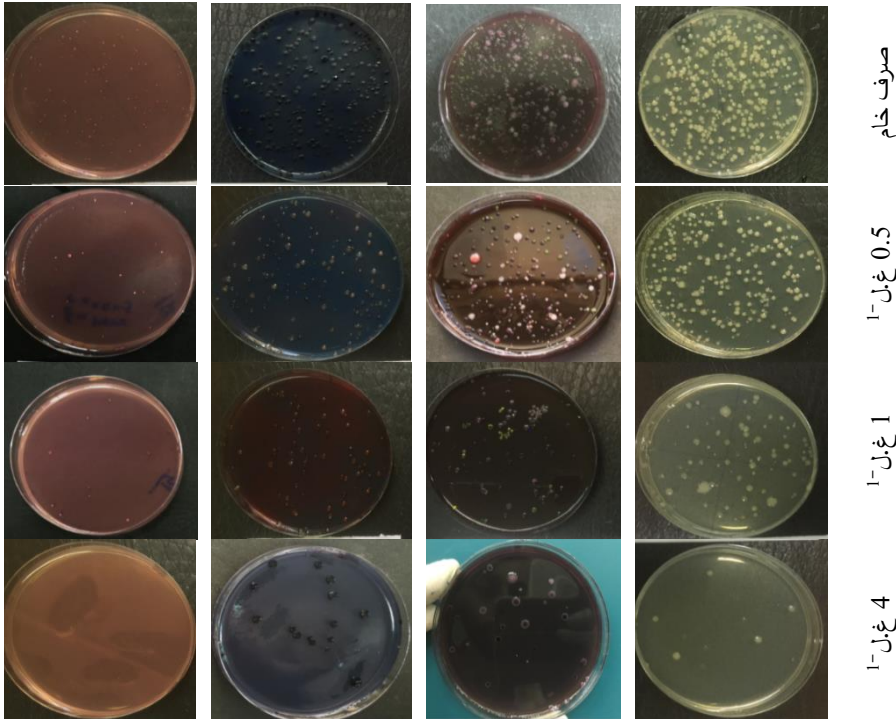


الشكل (4) البنية السطحية لمسحوق أوراق النطم باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح SEM

وتوجد آليات كثيرة للتخثر *coagulation*، أهمها آلية معادلة الشحنات بتكوين روابط الكترولستاتيكية وضغط الطبقة المضاعفة والامتزاز وتكوين الجسور، وتعمل جميعها على خفض حالة الاستقرار للجسيمات العالقة وتجميعها ثم ترسيبها، وقد تفيد المواد النباتية كالبروتين والكربوهيدرات في عملية التخثر (Choy *et al.*, 2015)، ويمكن استعمال المسحوق النباتي كمخثر لإزالة المحتوى الجرثومي من المياه (Pandey *et al.*, 2020).

وقد أظهر مسحوق أوراق النطم الأطلسي فعالية واضحة على تثبيط نمو جراثيم *E. coli*، *Shigella* و *Proteus mirabilis*، و *Enterobacter cloacae*، و *Klebsiella pneumonia* و *boydii*، و *Pseudomonas aeruginosa*، و *Staphylococcus aureus* لاحتوائها مستقلبات ثانوية تشمل الفينولات والفلافونات والتانينات والصابونينات (Alhajali and Ali-nizam, 2021)، وتبدو الجراثيم سلبية الغرام أكثر مقاومة من الجراثيم إيجابية الغرام تجاه المركبات الفينولية (Papuc *et al.*, 2017)، وترتبط الفعالية المضادة للجراثيم بكميات المركبات الفينولية وكذلك بنيتها كما تثبط التانينات الإنزيمات وتحلل الخلايا (Omojate Godstime *et al.*, 2014)، تتفق نتائج هذا البحث مع نتائج أبحاث أخرى أكدت فعالية المساحيق النباتية في إزالة أعداد جراثيم الكوليفورم الكلي والكوليفورم البرازي من المياه، كالبقدونس الذي يحتوي على الفلويدات

والصابونينات والتانينات (Go et al., 2018)، كما أظهرت الدراسة التي قامَ بها Vunain وزملاؤه (2019) أن النسبة المئوية لإزالة إجمالي الجراثيم 96.65%، وللسمونية والشيغلة 97.40%، وللكتوليفورم الكلي 60.50% من مياه الصرف المنزلي باستعمال كمية مثلى 15 غ/ل من مسحوق البان *Moringa oleifera*، وقد تفوقت نتائج هذا البحث على الدراسة السابقة؛ إذ أمكن باستعمال 4 غ/ل من مسحوق البطم تحقيق كفاءة إزالة أكبر للتعداد الإجمالي للجراثيم والكتوليفورم الكلي (الشكل 5).



التعداد الإجمالي VC الكوليفورم الكلي TC الكوليفورم البرازي FC المكورات البرازية EC

الشكل (5) نتائج المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف باستعمال كميات مختلفة من مسحوق أوراق البطم الأطلسي



2. نتائج سلسلة التجارب لتحديد تأثير زمن استعمال مسحوق أوراق البطم في معالجة مياه الصرف المنزلي.

يبين الجدول 2 متوسط نتائج المعالجة الميكروبيولوجية للمياه في أزمنة مختلفة، إذ يلاحظ ارتفاع النسبة المئوية لإزالة التعداد الإجمالي للجراثيم من 99.34 إلى 99.81%، ولجراثيم الكوليفورم الكلي من 97.79 إلى 98.86%، ولجراثيم الكوليفورم البرازي من 98.45 إلى 99.44%، ولجراثيم المكورات المعوية البرازية من 99.98 إلى 100%، ولجراثيم الإشريكية القولونية من 97.89 إلى 99.24%، ولجراثيم الكلبسيلا من 96.24 إلى 97.91%، ولجراثيم الإنتيروباكتير من 98.11 إلى 98.71% عند زيادة زمن المعالجة من 30 إلى 240 دقيقة، إذ اعتمد الزمن 240 دقيقة لإكمال سلسلة تجارب المعالجة باستثناء جراثيم المكورات المعوية البرازية، إذ لم يلاحظ أي نمو بعد 120 دقيقة من

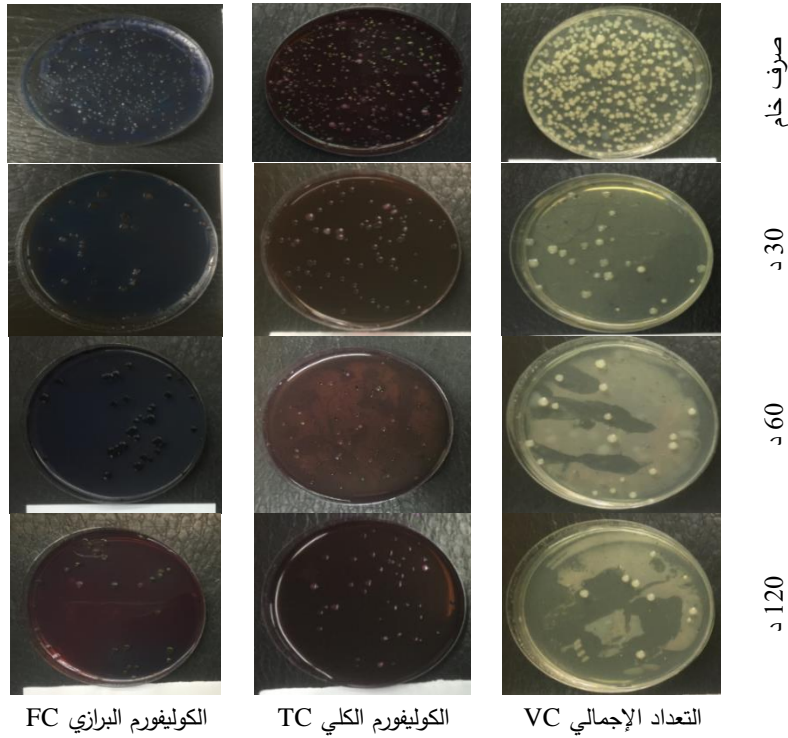
الجدول (2) متوسط نتائج معالجة مياه الصرف المنزلي في أزمنة مختلفة

مياه الصرف المعالجة في أزمنة مختلفة					مياه صرف خام	الاختبارات
240 دقيقة	180 دقيقة	120 دقيقة	60 دقيقة	30 دقيقة		
0.0± 6 410×	7.66 0.57± 410×	9.33 0.57± 410×	1± 16 410×	1± 21 410×	510× 4± 322	V.C (4 g.L <sup>-1</sup> )
99.81	99.78	99.72	99.50	99.34		فعالية الإزالة %
33.66 0.57± 310×	1± 35 310×	1.73± 41 310×	51 1.52± 310×	2± 64 310×	3.60± 290 410×	T.C (4 g.L <sup>-1</sup> )
98.86	98.79	98.58	98.24	97.79		فعالية الإزالة %
1± 14 310×	23.66 1.52± 310×	28.33 0.57± 310×	1± 34 310×	39 2.51± 310×	410× 3± 253	F.C (4 g.L <sup>-1</sup> )
99.44	99.09	98.89	98.65	98.45		فعالية الإزالة %

0	0	0	0.66 0.5±	13.3 0.57±	$3 \times 10^2 \pm 119$	E.F (4 g.L <sup>-1</sup> )
100	100	100	99.99	99.98		فعالية الإزالة %
9.33 1.15± $3 \times 10^3$	0.0± 11 $3 \times 10^3$	12.66 0.57± $3 \times 10^3$	1± 14 $3 \times 10^3$	2± 25 $3 \times 10^3$	$2.51 \pm 119.66$ $4 \times 10^4$	<i>E.coli</i> (4 g.L <sup>-1</sup> )
99.24	99.07	98.99	98.82	97.89		فعالية الإزالة %
0.0± 10 $3 \times 10^3$	10.66 0.57± $3 \times 10^3$	1.15± 10 $3 \times 10^3$	1± 16 $3 \times 10^3$	18.33 1.5± $3 \times 10^3$	$1.73 \pm 48$ $4 \times 10^4$	<i>Klebsiella</i> sp (4 g.L <sup>-1</sup> )
97.91	97.91	97.91	96.66	96.24		فعالية الإزالة %
0.0± 13 $3 \times 10^3$	13.33 0.57± $3 \times 10^3$	13.66 0.57± $3 \times 10^3$	1± 17 $3 \times 10^3$	19.6 1.52± $3 \times 10^3$	$2.64 \pm 101$ $4 \times 10^4$	<i>Enterobacte</i> r sp (4 g.L <sup>-1</sup> )
98.71	98.71	98.71	98.31	98.11		فعالية الإزالة %

المعالجة، ولوحظ ثبات النسبة المئوية لإزالة الجراثيم الكلبسيلا والانتيروباكتير بعد 120 دقيقة من المعالجة (الشكل 6)؛ فلكل نوع من الجراثيم زمن مثالي تتحقق عنده أفضل إزالة جرثومية من مياه الصرف، وهذا يتفق مع ما ذكره Vunain وزملاؤه (2019) أن معالجة المياه باستعمال 15 غ/ل من مسحوق بذور البان بعد 120 دقيقة كانت كافية لتقليل تعداد الكوليفورم الكلي بنسبة 98.31%، وكانت 45 دقيقة كافية لتحقيق أفضل إزالة لجراثيم السلمونيلة والشيغلة. ولوحظ أن 60 دقيقة كافية لإزالة أكثر من 96% لمختلف أنواع الجراثيم؛ مما يؤكد الكفاءة العالية والسريعة لمسحوق أوراق البطم في تقليل أعداد الجراثيم، ويتفق هذا مع نتائج أبحاث كثيرة ذكرت انخفاضاً في تعداد جراثيم الكوليفورم تراوح بين 91 - 97.5% في الوقت نفسه، بمساحيق الكاسافا *Manihot esculenta* والبان *Moringa oleifera* على التوالي (Ugwu *et al.*, 2017)، وبحث Bina وزملاؤه (2010) الذي أشار لانخفاض في تعداد الجراثيم تراوح

بين 99.2 – 99.97% بعد 60 دقيقة من المعالجة بمسحوق البان، ولم يلاحظ أي نمو جرثومي جديد بعد 24 ساعة من المراقبة، وبحث Osei (2009) الذي ذكر انخفاضاً في تعداد جراثيم الكوليفورم البرازي تراوح بين 97.88 – 99.96% بعد 60 دقيقة من المعالجة بمسحوق بذور البان، وأشار Fereja وزملائه (2020) إلى الكفاءة العالية لمسحوق بذور البان تجاه الكوليفورم الكلي والبرازي وتعداد الجراثيم الكلي؛ إذ انخفض تعداد الكوليفورم الكلي من  $2.5 \times 10^6$  إلى  $1.4 \times 10^2$  والكوليفورم البرازي من  $5 \times 10^3$  إلى  $1 \times 10^1$  وتعداد الجراثيم الكلي من  $2.5 \times 10^9$  إلى  $1.5 \times 10^5$  بعد 60 دقيقة من المعالجة، ولم يلاحظ أي نمو جرثومي بعد 100 دقيقة من المعالجة.



الشكل (6) سلسلة تجارب المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف في أزمنة مختلفة

3. نتائج سلسلة التجارب لدراسة تأثير درجات حرارة مختلفة لاستعمال مسحوق أوراق البطم الأطلسي في معالجة مياه الصرف المنزلي:

يبين الجدول 3 نتائج المعالجة الميكروبيولوجية للمياه عند درجات حرارة مختلفة، إذ يلاحظ انخفاض تعداد الجراثيم في المياه مع زيادة درجة الحرارة من 15 إلى 30 م°، إذ زادت نسبة إزالة التعداد الإجمالي للجراثيم من 98.96 إلى 99.89%، والكوليفورم الكلي من 97.5 إلى 99.19%، والكوليفورم البرازي من 98.65 إلى 99.80%، والإنتيروباكتير من 97.18 إلى 99.37%، والكلبسيلا من 96.22 إلى 98.67%، والإنثيروباكتير من 97.18 إلى 99.37%، وبلغت إزالة المكورات المعوية البرازية 100% عند جميع درجات الحرارة المدروسة، أي كانت كفاءة الإزالة لمختلف أنواع الجراثيم أكثر من 96% بين درجات الحرارة من 15-30 م°. وقد اعتمدت درجة الحرارة 30 م° لإكمال سلسلة تجارب المعالجة. تتفق نتائج هذا البحث مع نتائج أبحاث أخرى أشارت إلى زيادة كفاءة امتزاز الجراثيم من المياه عند زيادة درجات الحرارة؛ ويُعزى سبب ذلك لعمليات الامتزاز الفيزيائي والكيميائي وللتأثير الإيجابي لدرجة الحرارة في فيزيولوجيا الأحياء (Stevik et al., 2004)، وتؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة استخلاص المركبات الفعالة وزيادة الفعالية المضادة للجراثيم؛ مثل زيادة المركبات الفينولية في المياه (حمض السيناميك trans-cinnamic acid وحمض الفريوليك ferulic acid وحمض الغاليك gallic acid) بازدياد درجة الحرارة من 15 - 50 م° (Mota et al., 2008).

الجدول (3) متوسط نتائج معالجة مياه الصرف المنزلي عند درجات حرارة مختلفة

مياه الصرف المعالجة عند درجات حرارة مختلفة				مياه صرف خام	الاختبارات
30 م°	25 م°	20 م°	15 م°		
0.0± 3 410×	6.33 0.57± 410×	1± 17 410×	2± 30 410×	510× 5± 291	(4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min) V.C
99.89	99.79	99.41	98.96		فعالية الإزالة %
1.73± 18 310×	1± 27 310×	0.57± 38 310×	2.08± 56 310×	4.58± 224 410×	T.C (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min)
99.19	98.79	98.30	97.5		فعالية الإزالة %

4.33 0.57± ³10×	1± 10 ³10×	1.52± 18 ³10×	27.66 1.15± ³10×	410× 2± 201	F.C (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min)
99.80	99.50	99.10	98.65		فعالية الإزالة %
0	0	0	0	2.08± 103.33 ³10×	E.F (4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min)
100	100	100	100		فعالية الإزالة %
0.0± 4 ³10×	7.33 0.57± ³10×	9.66 0.57± ³10×	1± 14 ³10×	1.52± 89.66 410×	<i>E.coli</i> (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min)
99.55	99.21	98.98	98.42		فعالية الإزالة %
1± 7 ³10×	1.52± 11 ³10×	1± 15 ³10×	2± 20 ³10×	1.73± 53 410×	<i>Klebsiella sp</i> (4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min)
98.67	97.92	97.16	96.22		فعالية الإزالة %
4.66 0.57± ³10×	0.57± 8 ³10×	13.66 1.15± ³10×	18.33 1.52± ³10×	410× 2± 64	<i>Enterobacter sp</i> (4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min)
99.37	98.75	97.96	97.18		فعالية الإزالة %

4. سلسلة التجارب لدراسة تأثير قيم pH مختلفة باستعمال مسحوق أوراق البطم الأطلسي في معالجة مياه الصرف المنزلي:

يبين الجدول 4 نتائج المعالجة الميكروبيولوجية للمياه عند قيم مختلفة للرقم الهيدروجيني، إذ يُلاحظ انخفاض نسبة إزالة الجراثيم في المياه بصورة زهيدة مع ارتفاع قيم pH من 6 إلى 8؛ إذ انخفضت نسبة إزالة التعداد الإجمالي للجراثيم من 99.92 إلى 98.98%، والكوليفورم الكلي من 99.51 إلى 98.73%، والكوليفورم البرازي من 99.86 إلى 99.20%، والإشريكية القولونية من 99.69 إلى 98.76%، والكلبسيلا من 99.23 إلى 97.43%، والإنتيروباكتير من 99.41 إلى 99.11%، وبلغت نسبة إزالة المكورات المعوية البرازية 100% في كل الحالات، كانت كفاءة إزالة مختلف أنواع الجراثيم أكثر من 97% في نطاق كل القيم المدروسة، وهي تميل للارتفاع مع انخفاض قيم pH من 9 إلى 5 (Sha'arani et al., 2019)، ويعود ذلك لانخفاض تركيز OH<sup>-</sup> وانخفاض الشحنة السلبية على أسطح المواد فتقل قوى التناثر في

الجملة وتُزال الخلايا الجرثومية سلبية الشحنة في الوسط الحمضي والمواقع السطحية إيجابية الشحنة لجزيئات المسحوق النباتي، مع ازدياد المركبات الفعالة المستخلصة (Stevik et al., 2004, Mota et al., 2008).

الجدول (4) نتائج معالجة المياه عند قيم مختلفة للرقم الهيدروجيني

مياه الصرف المعالجة عند درجات pH مختلفة			مياه صرف خام	الاختبارات
8	7	6		
1.15± 28 410×	410× 1± 10	0.57± 2.33 410×	510× 3± 276	V.C (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min, 30 °C)
98.98	99.63	99.92		فعالية الإزالة %
310× 2± 31	1.73± 23 310×	310× 1± 12	2.08± 245.3 410×	T.C (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min, 30 °C)
98.73	99.06	99.51		فعالية الإزالة %
1.5± 17.66 310×	310× 0.0± 9	0.57± 3.66 310×	2.64± 215 410×	F.C (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min, 30 °C)
99.20	99.58	99.86		فعالية الإزالة %
0	0	0	310× 1± 98	E.F (4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min, 30 °C)
100	100	100		فعالية الإزالة %
310× 1± 12	0.57± 8.33 310×	310× 0.0± 3	410× 2± 97	<i>E.coli</i> (4 g.L <sup>-1</sup> , 240 min, 30 °C)
98.76	99.17	99.69		فعالية الإزالة %
0.57± 10.6 310×	310× 0.0± 7	0.57± 3.33 310×	410× 1± 39	(4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min, 30 °C) <i>Klebsiella sp</i>
97.43	98.20	99.23		فعالية الإزالة %
310× 0.0± 6	0.57± 5.33 310×	310× 0.0± 4	1.73± 68 410×	<i>Enterobacter sp</i> (4 g.L <sup>-1</sup> , 120 min, 30 °C)
99.11	99.26	99.41		فعالية الإزالة %

تؤكد نتائج التحليل الإحصائي لجميع الاختبارات السابقة وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية ذات دلالة معنوية بين التعداد الإجمالي للجراثيم والكوليفورم الكلي والكوليفورم البرازي والمكورات

المعوية البرازية، واستناداً لاختبار تحليل التباين أحادي الاتجاه (ANOVA) One-way تبيّن وجود فروق معنوية بين جميع قيم المتوسطات المسجلة للتحاليل الجرثومية بعد المعالجة لجميع التجارب عند قيمة معنوية  $P < 0.05$ .

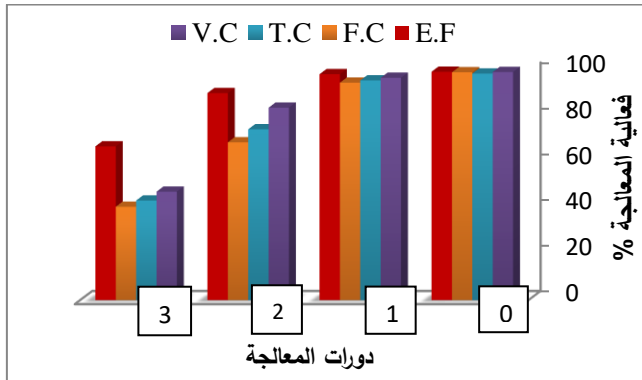
يلاحظ من الجدول 5 زيادة قيم تعداد مختلف أنواع الجراثيم مقارنةً بالقيم المسجلة لمياه الصرف المنزلي الخام؛ مما يدل أن الجراثيم استمرت في النمو والتكاثر في غياب مسحوق أوراق البطم نتيجة وفرة المغذيات والظروف الملائمة للنمو؛ ما يؤكد كفاءة المسحوق في إزالة الجراثيم من مياه الصرف المنزلي، وإن لوحظ انخفاض بسيط فقط في تعداد الجراثيم عند درجة الحرارة 15 م°.

الجدول (5) متوسط قيم تعداد الجراثيم في مياه الصرف المنزلي الشاهد مقارنة بمياه الصرف المنزلي الخام

الاختبارات	V.C	T.C	F.C	E.F
مياه صرف خام	$5 \times 10^5 \times 280$	$4 \times 10^4 \times 277$	$4 \times 10^4 \times 239$	$3 \times 10^3 \times 155$
سلسلة التجارب	مياه صرف شاهد			
الأولى	$5 \times 10^5 \times 294$	$4 \times 10^4 \times 289$	$4 \times 10^4 \times 249$	$3 \times 10^3 \times 163$
30 د	$5 \times 10^5 \times 276$	$4 \times 10^4 \times 279$	$4 \times 10^4 \times 240$	$3 \times 10^3 \times 152$
60 د	$5 \times 10^5 \times 281$	$4 \times 10^4 \times 281$	$4 \times 10^4 \times 241$	$3 \times 10^3 \times 157$
120 د	$5 \times 10^5 \times 288$	$4 \times 10^4 \times 285$	$4 \times 10^4 \times 244$	$3 \times 10^3 \times 159$
180 د	$5 \times 10^5 \times 293$	$4 \times 10^4 \times 286$	$4 \times 10^4 \times 247$	$3 \times 10^3 \times 160$
240 د	$5 \times 10^5 \times 296$	$4 \times 10^4 \times 290$	$4 \times 10^4 \times 248$	$3 \times 10^3 \times 162$
15 م°	$5 \times 10^5 \times 271$	$4 \times 10^4 \times 269$	$4 \times 10^4 \times 235$	$3 \times 10^3 \times 145$
20 م°	$5 \times 10^5 \times 284$	$4 \times 10^4 \times 276$	$4 \times 10^4 \times 242$	$3 \times 10^3 \times 152$
25 م°	$5 \times 10^5 \times 292$	$4 \times 10^4 \times 284$	$4 \times 10^4 \times 248$	$3 \times 10^3 \times 159$
30 م°	$5 \times 10^5 \times 298$	$4 \times 10^4 \times 293$	$4 \times 10^4 \times 255$	$3 \times 10^3 \times 166$
6	$5 \times 10^5 \times 295$	$4 \times 10^4 \times 289$	$4 \times 10^4 \times 250$	$3 \times 10^3 \times 157$
7	$5 \times 10^5 \times 301$	$4 \times 10^4 \times 295$	$4 \times 10^4 \times 256$	$3 \times 10^3 \times 165$
8	$5 \times 10^5 \times 299$	$4 \times 10^4 \times 292$	$4 \times 10^4 \times 257$	$3 \times 10^3 \times 163$

5. قابلية إعادة استعمال مسحوق أوراق البطم في معالجة مياه الصرف المنزلي Reusability of the *Pistacia's* leaves powder for domestic wastewater treatment

بينت النتائج كفاءة عالية في إزالة الجراثيم بعد دورتين متتاليتين من إعادة الاستعمال (الشكل 7)؛ إذ لم تتجاوز نسبة الانخفاض في كفاءة إزالة التعداد الإجمالي للجراثيم 15.64%، و24.71% للكوليفورم الكلي، و30.72% للكوليفورم البرازي، و9.34% للمكورات المعوية البرازية، أي إن انخفاض فعالية الإزالة لمختلف أنواع الجراثيم لم يتجاوز 30% مقارنةً بالقيمة الأولية (الدورة 0)، إلى جانب سلامة المسحوق النباتي من التلف أو التمزق أو التخریب بعد دورتين من إعادة الاستعمال، وقد تجاوز انخفاض كفاءة إزالة الجراثيم نسبة 50% بعد الدورة الثالثة باستثناء جراثيم المكورات المعوية البرازية (32.67%)، بسبب انخفاض كمية المركبات الفعالة عند كل دورة معالجة، وفقدان في وزن المسحوق، وتحلل المجموعات الوظيفية السطحية، والتلف والتمزق في البنية السطحية للمسحوق، وكذلك العوامل البيئية (Zhang *et al.*, 2019). وإعادة استعمال المسحوق النباتي لدورات متتالية في المعالجة مسألة مهمة لتحقيق الجدوى الاقتصادية لعملية المعالجة، وتقليل تكاليف التشغيل لأي منظومة معالجة.



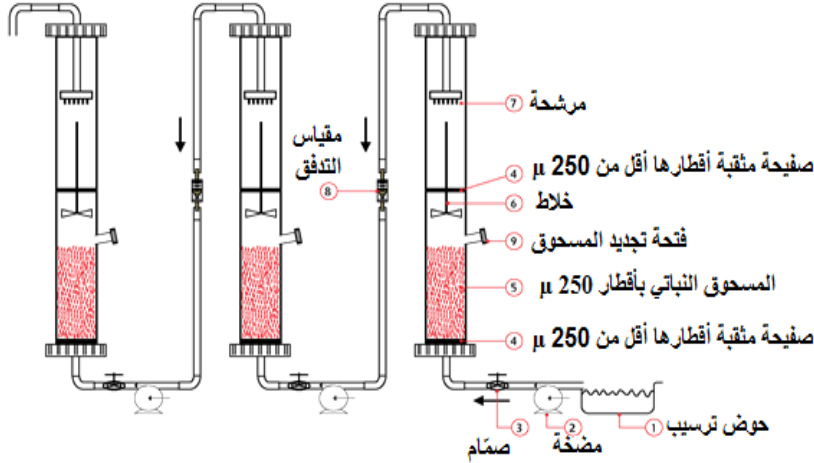
الشكل (7) كفاءة إزالة الجراثيم في ثلاث دورات متتالية من إعادة استعمال مسحوق أوراق البطم

6. تصميم مخطط لوحدة المعالجة الميكروبيولوجية باستعمال المسحوق النباتي لمياه الصرف المنزلي:

صُمِّمَ مخطط توضيحي يتلاءم مع التجارب التي أجريت في المختبر ويمكن تطبيقه لإزالة الجراثيم من مياه الصرف المنزلي في إحدى المراحل ضمن محطات المعالجة (الشكل 8)،



بتعبئة أنابيب بلاستيكية نوع PVC بالمسحوق النباتي ووضع صفائح فولاذية مثقبة من الأعلى والأسفل لمنع تعويم المسحوق، مع خلاط ومؤقت، يمكن التحكم في التدفق من مياه الصرف من أحواض الترسيب، وزيادة الكفاءة بالمعالجة المتتابعة.



الشكل (10) تصميم مخطط لوحدية المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي (إعداد الباحث)

### الاستنتاجات Conclusions

1. أظهر مسحوق أوراق نبات البطم كفاءة مرتفعة في تقليل أعداد الجراثيم من مياه الصرف المنزلي، وقد ازدادت فعالية الإزالة لمختلف أنواع الجراثيم مع ازدياد كمية المسحوق من 0.5 إلى 4 غ/ل.
2. كان مقدار زمن المعالجة 240 دقيقة كافياً لإزالة أكثر من 97% لمختلف أنواع جراثيم مياه الصرف المنزلي، وقد انخفضت كفاءة إزالة الجراثيم قليلاً عند زيادة قيم pH من 6 إلى 8، وأظهر مسحوق البطم فعالية تجاوزت 96% لمختلف أنواع الجراثيم ضمن نطاق واسع من درجات الحرارة بين 15 - 30 م°.
3. أمكن استعمال مسحوق أوراق البطم بكفاءة عالية دورتين متتاليتين في المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي.

4. يؤدي استعمال المخلفات الزراعية (المساحيق النباتية) في معالجة مياه الصرف المنزلي إلى تقليل المخاطر البيئية والصحية وتحقيق التنمية البيئية المستدامة.

### التوصيات Recommendations

1. دراسة إمكان استعمال مسحوق أوراق البطم لإزالة ملوثات مختلفة من مياه الصرف المنزلي كالمعادن الثقيلة والشوارد الكيميائية.
2. دراسة إمكان استعمال مسحوق أوراق نباتات أخرى متوافرة محلياً في معالجة مياه الصرف المنزلي، وتحديد سمية حمأة المساحيق النباتية الناتجة بعد المعالجة والطرائق الآمنة للتخلص منها.
3. إجراء المزيد من الدراسات لتحسين أداء المساحيق النباتية في المعالجة الميكروبيولوجية لمياه الصرف المنزلي وزيادة كفاءتها وتطوير طرائق المعالجة.
4. الجمع بين أنواع مختلفة من المساحيق النباتية المحلية ودراسة إمكان التآزر فيما بينها للحصول على كفاءة أفضل في إزالة الجراثيم من مياه الصرف المنزلي.

**:References المراجع**

- [1] Abdel-Ghani N. T., Hefny M., El-Chaghaby G. (2008). Removal of metal ions from synthetic wastewater by adsorption onto *Eucalyptus camaldulensis* tree leaves. *J. Chilean Chemical Society*, 53(3), 1585-1587.
- [2] Abdolali A., Guo W., Ngo H., Chen S., Nguyen N., Tung K. (2014). Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review. *Bioresource technology*, 160, 57-66.
- [3] Afroze S., Sen T. (2018). A Review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229(7), 225.
- [4] Alhajali O., Ali-Nizam A. (2021). Phytochemical Screening and Antibacterial Activity of *Pistacia atlantica* and *Pinus canariensis* Extracts. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 8(2), 403-418.
- [5] APHA, American Public Health Association (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater 23RD Edition, Baird. R. B., Eaton. A. D., Rice. E. W, American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation.
- [6] Anastopoulos I., Robalds A., Tran H., Mitrogiannis D., Giannakoudakis D., Hosseini-Bandegharaei A., Dotto G. (2018). Leaf biosorbents for the removal of heavy metals. *Green Adsorbents for Pollutant Removal*, 87-126.
- [7] Asrafuzzaman M., Fakhruddin A., Hossain M. (2011). Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *International Scholarly Research Notices*, 2011.
- [8] Bhatnagar A., Sillanpaa M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment— A review. *Chem. Eng. J.* 157, 277–296.
- [9] Bina B., Mehdinejad M., Dalhammer G., Nikaeen G., Attar H. (2010). Effectiveness of *Moringa oleifera* coagulant protein as natural coagulant aid in removal of turbidity and bacteria from turbid waters. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, 4(7), 261-263.
- [10] Cabral J. P. (2010). Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *International journal of environmental research and public health*, 7(10), pp:3657-3703.

- [11] Chiban M., Soudani A., Sinan F., Persin M. (2012). Wastewater treatment by batch adsorption method onto micro-particles of dried *Withania frutescens* plant as a new adsorbent. *Journal of environmental management*, 95, S61-S65.
- [12] Chiban M., Soudani A., Sinan F., Tahrouch S., Persin M. (2011). Characterization and application of dried plants to remove heavy metals, nitrate, and phosphate ions from industrial wastewaters. *Clean–Soil, Air, Water*, 39(4), 376-383.
- [13] Choy S. Y., Prasad K., Wu T., Ramanan R. (2015). A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International journal of environmental science and technology*, 12(1), 367-390.
- [14] FAO.(2011). Global Food Losses and Food Waste - Extent, Causes and Prevention. Available online: <http://www.fao.org/3/a-i2697e.pdf> (accessed on 20 March 2021).
- [15] Fereja W. M., Tagesse W., Benti G. (2020). Treatment of coffee processing wastewater using *Moringa stenopetala* seed powder: Removal of turbidity and chemical oxygen demand. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1816420.
- [16] Go A. J. C., Larrazabal E., Sanchez J., Ponce M. (2018). Coliform removal and lead biosorption ability of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) in Water. *Int J Agri Environ Sci*, 3(4), 58-63.
- [17] Haghhighizadeh M., Zare K., Aghaie H., Monajjemi M. (2020). Preparation and characterization of Chicory leaf powder and its application as a nano-native plant sorbent for removal of Acid Blue 25 from aqueous media: Isotherm, kinetic and thermodynamic study of the adsorption phenomenon. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 10(1), 75-86.
- [18] Hori K., Matsumoto S. (2010). Bacterial adhesion: from mechanism to control. *Biochemical Engineering Journal*, 48(3), 424-434.
- [19] Mota F. L., Queimada A., Pinho S., Macedo E. (2008). Aqueous solubility of some natural phenolic compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(15), 5182-5189.
- [20] Omojate Godstime C., Enwa F., Jewo Augustina O., Eze Christopher O. (2014). Mechanisms of antimicrobial actions of phytochemicals against enteric pathogens—a review. *J Pharm Chem Biol Sci*, 2(2), 77-85.

- [21] Osei B. K. (2009). The effects of the seed powder of *Moringa oleifera* LAM on the quality of wastewater used for vegetable farming in the kumasi metropolis. Master Thesis, Department of Chemistry, College of Science, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana, 1-132.
- [22] Pandey P., Khan F., Mishra R., Singh S. (2020). Elucidation of the potential of *Moringa oleifera* leaves extract as a novel alternate to the chemical coagulant in water treatment process. *Water Environment Research*, 92(7), 1051-1056.
- [23] Papuc C., Goran G., Predescu C., Nicorescu V., Stefan G. (2017). Plant polyphenols as antioxidant and antibacterial agents for shelf-life extension of meat and meat products: Classification, structures, sources, and action mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1243-1268.
- [24] Rajesh R., Wankhade R. (2016). Role of some natural herbs in water purification. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 9(3), 38-39.
- [25] Riahi K., Thayer B., Mammou A., Ammar A., Jaafoura M. (2009). Biosorption characteristics of phosphates from aqueous solution onto *Phoenix dactylifera* L. date palm fibers. *Journal of hazardous materials*, 170(2-3), 511-519.
- [26] Sha'arani S., Azizan S., Md Akhir F., Muhammad Yuzir M., Othman N., Zakaria Z., Hara H. (2019). Removal efficiency of Gram-positive and Gram-negative bacteria using a natural coagulant during coagulation, flocculation, and sedimentation processes. *Water Science and Technology*, 80(9), 1787-1795.
- [27] Stevik T. K., Aa K., Ausland G., Hanssen J. (2004). Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolating through porous media: a review. *Water research*, 38(6), 1355-1367.
- [28] Sulyman M., Glerak A. (2020). Green environmental approach for adsorption of hazardous dye from water using tree and sea plant leaves (Dead L. *Acta Scientific Agriculture*, 4(2), 1-10.
- [29] Terlanga K. D. (2016). Agrogenic Modified Clay For The Removal Of Gram-Negative Bacteria From Water, Master Thesis, Department of chemical sciences, College of natural sciences, Redeemer's university, Osun State, Nigeria, 1-101.
- [30] Ugwu S. N., Umuokoro A., Echiegu E., Ugwuishiwu B., Enweremadu C. (2017). Comparative study of the use of natural and artificial coagulants

- for the treatment of sludge (domestic wastewater). *Cogent Engineering*, 4(1).
- [31] Unuabonah E. I., Ugwuja C., Omorogie M., Adewuyi A., Oladoja N. (2018). Clays for efficient disinfection of bacteria in water. *Applied Clay Science*, 151, 211-223.
- [32] Vunain E., Masoamphambe E., Mpeketula P., Monjerezi M., Etale A. (2019). Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of Moringa oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103118.
- [33] Zhang Z., Yan L., Yu H., Yan T., Li X. (2019). Adsorption of phosphate from aqueous solution by vegetable biochar/layered double oxides: Fast removal and mechanistic studies. *Bioresource technology*, 284, 65-71.
- [34] Zhong H., Liu G., Jiang Y., Yang J., Liu Y., Yang X., Zeng G. (2017). Transport of bacteria in porous media and its enhancement by surfactants for bioaugmentation: a review. *Biotechnology advances*, 35(4), 490-504.