الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية التكنولوجيا

مذكرة تخرج لنيل شهادة

**ماستـــر أكاديمـــي**

ميـــدان: العلوم والتكنولوجيا

شعبـــــة: هندسة طرائق

تخصـــــص: هندسة كيميائية


من اعـــداد الطلبـــة:

- مسعي محمد سمية

- خباز بشرى


**الموضـــــــوع**

# إزالـة تلوث المياه باستخدام قشور الرمان المعالجة كيميائيا

نوقشت في: 2026/05/24

أمام لجنة المناقشة:

| | | | |
|---|---|---|---|
| د. سقني ليلى | أستاذ محاضر ب | رئيسا | جامعة الوادي. |
| د. بن عمر إلهام | أستاذ مساعد | مناقشا | جامعة الوادي. |
| د. زغود العيد | أستاذ محاضر أ | مشرفا | جامعة الوادي. |

الموسم الجامعي: 2026/2025

**الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية**

**وزارة التعليم العالي والبحث العلمي**

**جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي**

**كلية التكنولوجيا**

**مذكرة تخرج لنيل شهادة**

## ماستـــر أكاديمـــي

**ميـــدان: العلوم والتكنولوجيا**

**شعبـــــة: هندسة طرائق**

**تخصـــــص: هندسة كيميائية**


**مـن اعـــداد الطلبـــة:**

**- مسعي محمد سمية**

**- خباز بشرى**


## الموضـــــــوع

# إزالــة تلوث المياه باستخدام قشور الرمان المعالجة كيميائيا

**نوقشت في: 2026/05/24**

**أمام لجنة المناقشة:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| د. سقني ليلى | أستاذ محاضر ب | رئيسا | جامعة الوادي. |
| د. بن عمر إلهام | أستاذ مساعد | مناقشا | جامعة الوادي. |
| د. زغود العيد | أستاذ محاضر أ | مشرفا | جامعة الوادي. |

**الموسم الجامعي:** 2026/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

# إهـــــــداء

أهدي هذا العمل المتواضع إلى من بسمتها غايتي

وما تحت أقدامها جنتي ،إلى ملاكي في الدنيا وسر الأمان أمي الحبيبة حفظك الله ورعاك ،

وإلى روح والدي الزكية الطاهرة فجر وجودي أبي الغالي رحمك الله و أسكنك فسيح جناته ،

و إلى النفس العزيزة والقلب الطيب و إلى من دعمتني في مسيرتي أختي العزيزة " سعيدة "

و إلى كل من دعمني في هذا المشوار

**سمية**

# إهـــــــداء

إلى من جعل الله الجنة تحت قدميها ، إلى نبع الحنان والحب الذي لا ينضب، أمي الغالية،

التي كانت دعواتها سر نجاحي ونور طريقي .

إلى من علمني معنى الصبر والاجتهاد ، وكان سندي وفخري في هذه الحياة، أبي العزيز،

أطال الله في عمره وحفظه لي .

إلى إخوتي وأخواتي، الذين تقاسمت معهم أجمل لحظات حياتي، وكانوا دائمًا مصدر قوتي وسعادتي .

إلى عائلتي الكريمة، التي أحاطتني بالمحبة والدعم في كل مراحل حياتي .

إلى كل أستاذ علمني حرفًا ، وكان له فضل في وصولي إلى هذا اليوم .

إلى أصدقائي الأوفياء ، الذين شاركوني الطريق بحلوه ومرّه .

إلى كل من سكن القلب وكان له أثر جميل في رحلتي .

أهدي هذا العمل المتواضع، عربون محبة ووفاء ، لكل من كان سببًا في وصولي إلى هذه اللحظة، وأسأل الله أن

يجعله ثمرة خير وفخر لهم جميعًا .

**بشرى**

# الشكر والعرفان

الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هذا العمل المتواضع، والصلاة والسلام على

أشرف المرسلين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم.

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى كل من ساهم في إنجاز هذا البحث،

وأخص بالذكر الدكتور زغود العيد المشرف الكريم على توجيهاته القيمة ونصائحه السديدة

التي كانت عوناً كبيرًا لنا طوال فترة إعداد هذا العمل.

و أتقدم بالشكر الجزيل إلى أساتذتي الكرام الذين رافقوني طوال مشواري الدراسي،

وإلى كل من قدم لي يد العون من قريب أو بعيد .

## الملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة ازالة تلوث الماء بصبغة أزرق الميثيلين باستعمال أحد المخلفات الزراعية وهي قشور الرمان بعد معالجتها كيميائيا بهيدروكسيد الصوديوم لإنتاج مادة مازة، وبالتالي تم الاعتماد على تقنية الامتزاز كونها من أكثر الطرق فعالية وبساطة، شملت الدراسة تحضير المادة وتشخصيها بعد تقنيات ثم دراسة تأثير العوامل التجريبية على الامتزاز والمتمثلة في الدليل الهيدروجيني، الزمن والتركيز الأولي للصبغة، حيث أظهرت النتائج أن قشور الرمان المعالجة كيميائيا تمتلك قدرة جيدة على امتزاز الصبغة. تم تحليل النتائج باستعمال نماذج الامتزاز الحركية ودراسة الايزوتارم حيث توافق الامتزاز مع نموذج الرتبة الثانية الحركية أما ايزوتارم الامتزاز فتوافق مع نموذج فرندليش، كما اعطى نموذج لانغمير كمية امتزاز قصوى قدرها 87.71 mg/g، لتؤكد هذه الدراسة امكانية تثمين قشور الرمان في معالجة تلوث المياه بطرق اقتصادية وصديقة للبيئة.



**الكلمات المفتاحية:** تلوث المياه، قشور الرمان، المخلفات الزراعية، الامتزاز، أزرق الميثيلين.



## Abstract

This dissertation aims to investigate the removal of water pollution caused by Methylene Blue using one of the agricultural wastes, namely pomegranate peels, after their chemical treatment with sodium hydroxide to produce an adsorbent material. The study relied on the adsorption technique due to its effectiveness and simplicity in wastewater treatment. The work included the preparation and characterization of the adsorbent material using several analytical techniques, followed by the investigation of the effects of experimental parameters on the adsorption process, including pH, contact time, and the initial dye concentration. The obtained results revealed that chemically treated pomegranate peels exhibited a good adsorption capacity toward the dye. The experimental data were analyzed using adsorption kinetic models and isotherm studies. The adsorption kinetics were found to fit well with the pseudo-second-order model, while the adsorption isotherm was best described by the Freundlich model. Furthermore, the Langmuir model estimated a maximum adsorption capacity of 87.71 mg/g. This study therefore confirms the potential valorization of pomegranate peels in the treatment of water pollution through economical and environmentally friendly methods.



**Keywords:** Water pollution, pomegranate peels, agricultural waste, adsorption, Methylene Blue.

## فهرس المحتويات


| العنوان | الصفحة |
|---|---|
| الإهداء | I |
| الشكر | III |
| الملخص | IV |
| فهرس المحتويات | V |
| قائمة الرموز والاختصارات | IX |
| قائمة الجداول | X |
| قائمة الأشكال | XI |
| قائمة الصور | XII |
| المقدمة العامة | 1 |
| **الجزء النظري** | |
| **الفصل الأول: تلوث المياه وطرق المعالجة** | |
| تمهيد | 4 |
| 1- تعريف تلوث المياه | 4 |
| 2- ملوثات المياه | 5 |
| 2-1- المبيدات | 5 |
| 2-1-1- مبيدات الأعشاب | 5 |
| 2-1-2- مبيدات فطرية | 5 |
| 2-1-3- المبيدات الحشرية | 6 |
| 2-1-3-1- مبيدات الفسفور العضوية | 6 |
| 2-1-3-2- مبيدات الكلور العضوية | 6 |
| 2-2- التلوث بالأسمدة الكيميائية | 6 |
| 2-3- الصرف الصحي والمخلفات البشرية والنباتية | 7 |
| 2-4- النفايات الصلبة | 7 |
| 3- أنواع تلوث المياه | 8 |
| 3-1- التلوث البيولوجي | 8 |

| | |
|---|---|
| 3-2- التلوث الكيميائي | 9 |
| 3-3- التلوث الحراري | 9 |
| 3-4- التلوث الفيزيائي | 10 |
| 3-5- التلوث الإشعاعي | 10 |
| 4- مصادر تلوث المياه | 11 |
| 4-1- المصادر الطبيعية | 11 |
| 4-1-1- مياه الأمطار | 11 |
| 4-1-2- مياه السيول والجريان | 11 |
| 4-2- مياه الصرف المنزلية | 11 |
| 4-3- المصادر الصناعية | 12 |
| 4-3-1- مياه الصرف الصناعي غير العضوية | 12 |
| 4-3-2- مياه الصرف العضوية | 12 |
| 4-4- المصادر الزراعية | 12 |
| 4-5- تلوث المياه بالنفط | 13 |
| 5- آثار تلوث المياه | 13 |
| 5-1- آثار تلوث المياه على صحة الإنسان | 13 |
| 5-1-1- الأمراض البكتيرية | 14 |
| 5-1-2- الأمراض الفيروسية | 14 |
| 5-1-3- الأمراض الطفيلية | 15 |
| 5-2- آثار تلوث المياه على البيئة | 16 |
| 5-3- آثار تلوث المياه على الاقتصاد | 16 |
| 6- طرق معالجة المياه | 17 |
| 6-1- الطرق البيولوجية | 17 |
| 6-2- الطرق الفيزيائية | 17 |
| 6-2-1- عملية الترسيب | 17 |
| 6-2-2- عملية التخثر | 18 |
| 6-2-3- عملية الترشيح | 18 |
| 6-2-4- عملية الإمتزاز | 18 |
| 6-3- الطرق الكيميائية | 19 |

| الفصل الثاني: المخلفات الزراعية | |
|---|---|
| 1- المخلفات الزراعية | 21 |
| 1-1- اللجنوسيليلوز (Lignocellulose) | 21 |
| 1-1-1- الهميسيليلوز | 22 |
| 1-1-2- السيليلوز | 22 |
| 1-1-3- اللجنين | 23 |
| 2- استخدام المخلفات الزراعية في إمتزاز الملوثات من المحاليل المائية | 24 |
| 2-1- استخدام المخلفات الزراعية بدون تعديل | 25 |
| 2-2- استعمال المخلفات الزراعية مع التعديل | 25 |
| 2-2-1- الدمج مع الجسيمات النانوية | 26 |
| 2-2-2- التطعيم | 27 |
| 2-2-3- الأسترة | 27 |
| 2-2-4- التعديل الحمضي | 28 |
| 2-2-5- التعديل القلوي | 29 |
| 2-2-6- الكربنة | 30 |
| 2-2-6-1- التنشيط الكيميائي | 31 |
| 2-2-6-2- التنشيط الفيزيائي | 31 |
| 2-2-7- الإيثرة | 32 |
| 2-2-8- المغنطة | 33 |
| **الفصل الثالث: الطرق والوسائل** | |
| 1- تحضير المادة المازة | 36 |
| 1-1- المعالجة الأولية | 36 |
| 1-2- المعالجة الكيميائية | 37 |
| 2- تشخيص المادة المازة | 38 |
| 2-1- فقدان الكتلة الحيوية | 38 |
| 2-2- المجموعات الوظيفية السطحية | 38 |
| 2-3- البنية السطحية | 38 |
| 3- تجارب الإمتزاز | 38 |
| 3-1- تحضير محلول الصبغة | 38 |

| | |
|---|---|
| 3-2- المنحنى العياري لصبغة أزرق الميثيلين | 39 |
| 3-3- بروتوكول عملية الامتزاز | 40 |
| 3-3-1- تأثير الدليل الهيدروجيني Ph | 41 |
| 3-3-2- تأثير زمن التلامس | 41 |
| 3-3-3- تأثير التركيز الأولي للصبغة | 42 |
| 3-4- دراسة حركية الامتزاز | 42 |
| 3-4-1- نموذج الرتبة الأولى الزائفة | 42 |
| 3-4-2- نموذج الرتبة الثانية الزائفة | 43 |
| 3-5- إيزوتارم الامتزاز | 44 |
| 3-5-1- نموذج لانجمير | 44 |
| 3-5-2- نموذج فرندليش | 45 |
| 3-5-3- نموذج تيمكن | 45 |
| **الفصل الرابع: النتائج والمناقشة** | |
| 1- تشخيص المادة المازة | 48 |
| 1-1- فقدان الكتلة الحيوية | 48 |
| 1-2- المجموعات الوظيفية السطحية | 48 |
| 1-3- البنية السطحية | 49 |
| 2- تأثير العوامل على الامتزاز | 50 |
| 2-1- تأثير الدليل الهيدروجيني pH | 50 |
| 2-2- تأثير زمن التلامس | 51 |
| 2-3- تأثير التركيز الأولي للصبغة | 52 |
| 3- حركية الامتزاز | 53 |
| 4- ايزوتارم الامتزاز | 55 |
| 4-1- دراسة نماذج الامتزاز | 56 |
| خاتمة | 60 |
| قائمة المصادر والمراجع | 62 |

## قائمة الرموز والاختصارات

| الاختصار | المعنى |
|---|---|
| **Ph** | درجة الحموضة |
| **Wi** | الوزن الأولي لقشور الرمان قبل المعالجة |
| **Wf** | الوزن النهائي بعد المعالجة |
| **$C_0$** | التركيز الابتدائي للصبغة في المحلول (mg/L) |
| **$C_e$** | تركيز الصبغة في المحلول بعد نهاية الامتزاز (mg/L) |
| **V** | حجم محلول الصبغة (L) |
| **M** | كمية المادة المازة (g) |
| **$q_e$** | الكمية الممتزة (mg/g) |
| **R** | مردود الامتزاز (%) |
| **$q_{eq}$** | كمية الامتزاز للمادة المازة عند الاتزان (mg/g). |
| **$q_t$** | كمية الامتزاز للمادة المازة عند اللحظة t (mg/g). |
| **$k_1$** | ثابت معدل الامتزاز من الرتبة الأولى الزائفة ($min^{-1}$) . |
| **$k_2$** | ثابت معدل امتزاز الرتبة الثانية الزائفة (g.mg−1.min−1) |
| **$k_{id}$** | ثابت معدل الانتشار داخل الجسيمات ($mg.g^{-1}.min^{-1/2}$) |
| **$C_e$** | تركيز المادة الممتزة في المحلول عند التوازن (mg/L). |
| **$q_e$** | كمية المادة الممتزة عند التوازن (mg/g). |
| **$q_m$** | الكمية القصوى للامتزاز (mg/g). |
| **$K_L$** | ثابت لانجمير (L/mg). |
| **$K_f$** | ثابت فرندليش |
| **N** | عامل عدم التجانس |
| **A** | يمثل ثابت ربط التوازن (L/g) |
| **B** | ثابت تيمكن |

## قائمة الجداول


| الجدول | العنوان | الصفحة |
|---|---|---|
| 1-1 | بعض الفيروسات والأمراض التي تسببها | 15 |
| 1-4 | نتائج الدراسة الحركية لامتزاز صبغة (MB) على قشور الرمان المعالجة كيميائيا | 55 |
| 2-4 | نتائج دراسة الايزوتارم لامتزاز صبغة (MB) على قشور الرمان المعالجة كيميائيا | 58 |

## قائمة الأشكال


| الشكل | عنوان الشكل | الصفحة |
|---|---|---|
| | **الجـــزء النظـــري** | |
| | **الفصل الأول** | |
| 1-1 | ملوثات المياه الرئيسية | 8 |
| 2-1 | العناصر الداخلة في عملية الامتزاز | 19 |
| | **الفصل الثاني** | |
| 1-2 | بنية المواد الجنيوسيليلوزية | 22 |
| 2-2 | التركيب الجزيئي للسيليلوز | 23 |
| 3-2 | الوحدات البنائية للجنين | 24 |
| | **الجـــزء التطـبيـــقي** | |
| | **الفصل الثالث** | |
| 1-3 | الصيغة الكيميائية لصبغة أزرق الميثيلين (MB) | 39 |
| 2-3 | المنحنى العياري لصبغة أزرق الميثيلين (MB) | 40 |
| | **الفصل الرابع** | |
| 1-4 | طيف الأشعة تحت الحمراء لقشور الرمان المعالجة بـ NaOH | 48 |
| 2-4 | صور (SEM) للمادة المازة | 49 |
| 3-4 | تأثير الـ pH على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 50 |
| 4-4 | تأثير زمن التلامس على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 51 |
| 5-4 | تأثير التركيز الأولي للصبغة على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 52 |
| 6-4 | نموذج الرتبة الأولى (A)، الرتبة الثانية (B) والانتشار داخل الجسيمات (C) لإمتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 54 |
| 7-4 | ايزوتارم امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 56 |
| 8-4 | تصنيف غيلز (GILES) لايزوتارم الامتزاز | 56 |
| 9-4 | نموذج لانغمير (A)، فرندليش (B) وتيمكن (C) لإمتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا | 57 |

## قائمة الصور


| الصورة | عنوان الصورة | الصفحة |
|---|---|---|
| 1-3 | توضح المعالجة الأولية لقشور الرمان | 36 |
| 2-3 | توضح المعالجة الكيميائية لقشور الرمان | 37 |
| 1-4 | التركيز الابتدائي للصبغة 300 mg/l (A) وبعد الامتزاز 37.56 mg/l (B) | 53 |

# المـــقـــدمـــة العـــامـــة

# المقدمة العـامة

الماء هو العنصر الأكثر حيوية بين الموارد الطبيعية، وهو حاسم لبقاء جميع الكائنات الحية بما في ذلك الإنسان، وإنتاج الغذاء، والتنمية الاقتصادية. اليوم هناك العديد من المدن حول العالم تواجه نقصًا حادًا في المياه، ونحو 40 في المائة من إمدادات الغذاء العالمي تُزرع تحت الري، وتعتمد مجموعة واسعة من العمليات الصناعية على الماء. البيئة والنمو الاقتصادي والتطورات تتأثر جميعها بشدة بالماء، بتوافره الإقليمي والموسمي، وجودة المياه السطحية والجوفية. تتأثر جودة الماء بالأنشطة البشرية وتتدهور بسبب زيادة التحضر، ونمو السكان، والإنتاج الصناعي، وتغير المناخ وعوامل أخرى. والتلوث الناتج عن ذلك يمثل تهديدًا جادًا لرفاهية كل من الأرض وسكانها. [1].

إن التلوث الذي أصبح يمثل الخطر الأكبر على البيئة ولم يعد له حدوداً معينة، ولم تعد هناك دولة أو مجموعة بشرية في مأمن من آثار التلوث، وبكل صوره وأشكاله الناتجة عن أنشطة الإنسان غير المدروسة، والتي أدت إلى الإضرار والإخلال بالنظام الإيكولوجي، مسببة آثارا سلبية تؤدي إلى خسائر ومخاطر تهدد استمرار الحياة على كوكب الارض، لدرجة أصبحت فيها الإضرار بالبيئة بمثابة فيروس خطير سريع الانتشار في جسد الإنسانية وما يحيط بها يوحي بإختفائها، إذا بقيت مشكلة التلوث خاصة ومشاكل البيئة عموما بالتفشي والاستمرار، وهذا ما جعل من واجب حماية البيئة أمرا ضروريا وواقعا يجب على المجتمع الدولي تحمل مسؤولياته في ذلك [2].

المخلفات الزراعية كما كان يطلق عليها قديماً، هي ناتج حيوي من عملية إنتاج الغذاء من الحاصلات الزراعية المختلفة ويميل الكثير من أنصار تلك المواد ذات القيمة الاقتصادية العالية إلى تسميتها بالمتبقيات الزراعية بدلاً من لفظ المخلفات الزراعية، يمكن القول إنه يقصد بالمتبقيات هي التي تبقى بعد حصد الحاصلات الزراعية وأخذ المحصول الأساسي الذي من أجله زرع المحصول، وتعد

تسميتها حديثة نسبيا إذ أنه حتى عهد قريب لم تكن تترك أي بواقي زراعية دون استخدام بل كان الشائع هو الاستخدام الكامل للموارد الزراعية في إطار الاقتصاد التقليدي [3].

تقدر المخلفات الزراعية الناتجة من الحاصلات الزراعية بعدة ملايين من الأطنان والتي تختلف بين الأقطار وهي في زيادة مستمرة عاما بعد عام وتعتبر هذه المخلفات الزراعية من الموارد الطبيعية المتجددة والصديقة للبيئة والتي يمكن استخدامها في مجالات عديدة للحصول على عدة منافع أو تعد مشكلة بيئية كبيرة لكثير من دول العالم المتقدمة والنامية [4].

تعتمد عملية تثمين هذه المخلفات على إستغلال خصائصها الفيزيائية والكيميائية، خاصة قدرتها على الإمتزاز، مما يجعلها مواد واعدة في تقنيات معالجة المياه. بناءً على هذا هدفنا في هذه الدراسة هو تثمين أحد المخلفات الزراعية المتمثلة في قشور الرمان من خلال تحويلها إلى مادة مازة بطريقة كيميائية. ثم تطبيقها في إزالة تلوث الماء بصبغة أزرق الميثيلين.

تتضمن هذه المذكرة مقدمة عامة وأربعة فصول هي:

- ✓ الفصل الأول: يتناول تلوث المياه، من حيث التعريف، أنواعه، مصادره، وآثاره وطرق معالجته.
- ✓ الفصل الثاني: يخص المخلفات الزراعية وتركيبتها واستخدامها في إزالة تلوث المياه.
- ✓ الفصل الثالث: الجانب التطبيقي، يضم الطرق والوسائل.
- ✓ الفصل الرابع: الجانب التطبيقي، ويضم النتائج والمناقشة.

وفي الأخير ننهي هذه الدراسة بخاتمة عامة.

# الفصل الأول

# تلوث المياه وطرق المعالجة

**تمهيد:**

يعتبر الماء عنصرا أساسيا للحياة وبقائها على كوكب الأرض. أي نشاط حيوي داخل جسم الكائن الحي يتطلب وجود الماء بنسبة معينة. بالإضافة إلى ذلك، تعتمد العمليات الصناعية سواء الكبيرة أو الصغيرة في المصانع على الماء، الذي لا يمكن الاستغناء عنه. يعد الماء عنصرا هاما لتهيئة الظروف المناسبة لاستمرارية الحياة، وهو الأساس الذي تقوم عليه جميع الأنشطة، سواء كانت بشرية أو غير ذلك. منذ بداية التاريخ وحتى اليوم، يعتبر الماء دعامة حيوية للمدينة والحضارة. الماء ضروري لبقاء الإنسان؛ حيث يحتوي جسم البالغ على نسبة تتراوح بين 58 إلى 65 بالمئة من وزنه ماء. يُستخدم الماء في الكثير من الأمور اليومية مثل الري وسقاية الحيوانات والنباتات، بالإضافة إلى توليد الطاقة والترفيه. على الرغم من أهميته الكبيرة، يتعرض الماء للتلوث المستمر، مما يجعل استخدامه صعبا في بعض الأحيان، خاصة بالنسبة للناس [5].

## 1- تعريف تلوث المياه:

تلوث المياه يشير إلى أي تغيير في الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية للمياه، يطلق عليه تلوث المياه أيضا عندما تتلوث الأنهار والبحار والآبار ومياه الأمطار والمياه الجوفية. المياه تعتبر عنصراً أساسياً للحياة لكل الكائنات الحية[6].

يعتبر تلوث المياه قضية في المدن، حيث أن تأمين إمدادات من المياه النقية للمناطق الحضرية يعد تحديا على الصعيدين الدولي والمحلي، في المستقبل ستصبح المياه العائق الرئيسي للتنمية في العديد من مناطق العالم [7].

## 2- ملوثات المياه:

### 2-1- المبيدات:

بعد اكتشاف أن الحشرات تلعب دوراً مهماً في تدمير المحاصيل الزراعية، مما يسبب مشاكل كثيرة تهدد أمن الغذاء للناس، تم استخدام المبيدات الكيميائية كوسيلة فعالة لمكافحة هذه الحشرات. وقد اعتقد الكثيرون أن هذه المبيدات ستقدم حلاً لمشكلة الآفات الزراعية، إلا أن هذا الحل لم يدم طويلاً. حيث ظهرت بسرعة قضايا جديدة مثيرة للقلق نتيجة للاستخدام المفرط لهذه المبيدات. تنقسم المبيدات التي تؤثر على المياه إلى عدة أنواع كما يلي:

### 2-1-1- مبيدات الأعشاب:

هي مواد كيميائية تستخدم للتخلص من النباتات غير المرغوب فيها التي تنمو بين المحاصيل الزراعية وفي مناطق أخرى. ومع ذلك، فإن الإفراط في استخدامها يمكن أن يؤدي إلى ضرر ليس فقط للنباتات المستهدفة، بل يمكن أن يؤثر كذلك على المحاصيل المزروعة.

### 2-1-2- مبيدات فطرية:

تعتبر سبباً رئيسياً لفقدان كبير في الإنتاج الزراعي، لذلك تستخدم للتخلص منها. من بين هذه المبيدات، هناك مركبات تحتوي على النحاس، وتؤدي استعمالها على مدى سنوات إلى تلوث للتربة وتأثيرات على البيئة النباتية والمائية. كما توجد مركبات تحتوي على الزئبق الذي يتم تخزينه في الكائنات الحية وينتقل عبر السلسلة الغذائية.

**2-1-3- المبيدات الحشرية:**

تشمل مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية، وهي تركيبات معقدة تتمتع بخصائص متعددة. تستخدم هذه المبيدات لمكافحة الحشرات الضارة في المزارع والحقول وأيضاً في المنازل، وتنقسم إلى نوعين:

**2-1-3-1- مبيدات الفسفور العضوية:**

هذه المبيدات تحتوي على مركبات تتضمن الفسفور، وتصنف ضمن الفئة ذات المخاطر العالية، مما يجعلها تشكل خطراً على الكائنات الحية. كما أنها تتميز بفترة صلاحية قصيرة مقارنة بالمبيدات الأخرى، ومن الأمثلة عليها مبيد دايموت.

**2-1-3-2- مبيدات الكلور العضوية:**

تضم في تركيبها عنصر الكلور الذي يمثل خطراً على البيئة، إذ يبقى تأثيرها لفترة طويلة. ومن أمثلتها مبيد الدرين ومبيد دلدرين.

**2-2- التلوث بالأسمدة الكيميائية:**

يعتبر تلوث مياه الأنهار والبحيرات بسبب الأسمدة الكيميائية التي تستخدم في الزراعة خطراً كبيراً، إذ يؤدي إلى تدمير النظم البيئية المائية ويشكل تهديداً للحياة الطبيعية فيها. تحتاج معظم النباتات والمحاصيل والزراعات في البساتين إلى تلك الأسمدة الكيميائية التي تحتوي بشكل أساسي على مركبات الفسفور والنتروجين. يظهر أن هذه الأسمدة تصل إلى المسطحات المائية القريبة من الأراضي الزراعية، عن طريق عملية التسميد، الري، والجريان السطحي، وخاصة في المناطق الريفية التي تمر منها المياه. من بين هذه المركبات، هناك ما يساهم في نمو الطحالب والنباتات المائية، والتي تسبب تلوث البيئة المائية عندما تنتشر وتتكاثر.

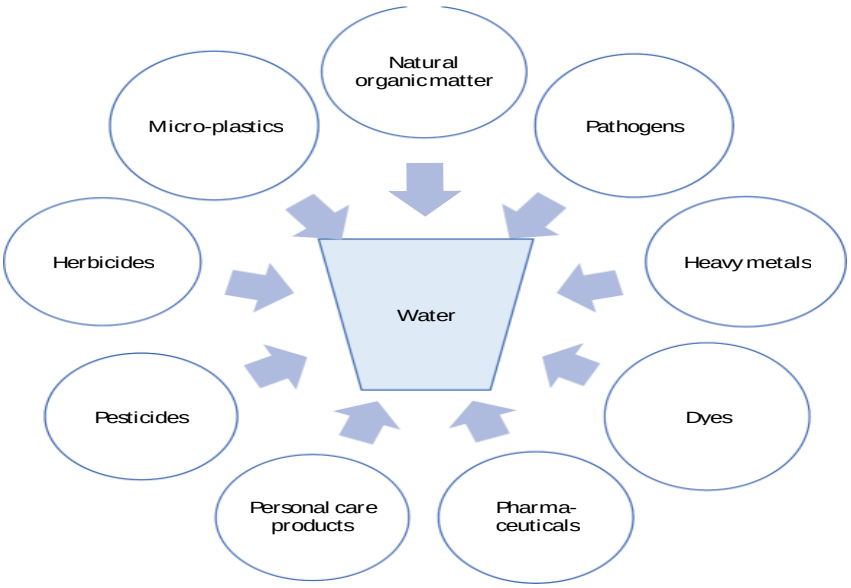
**2-3- الصرف الصحي والمخلفات البشرية والنباتية:**

يتعرض الماء للتلوث بسبب النفايات من البشر والنباتات وحتى الحيوانات. من بين مصادر التلوث نجد مياه الصرف الصحي ومخلفات المنازل، مثل النفايات السائلة والصلبة، التي تكون غالباً سبباً في التلوث العضوي والبيولوجي. هذا يؤدي إلى تفشي الأمراض المعدية بطرق مختلفة، وأهمها السباحة في المياه الملوثة خلال فصل الصيف. كما تحتوي مياه الصرف الصحي على مواد كيميائية، مثل المواد المستخدمة

في التنظيف كالصابون والمنظفات السائلة، بالإضافة إلى ملوثات صناعية أخرى. أيضاً، المحلات مثل القصابة والغسل والتشحيم والحدادة والنجارة التي تلقى بمخلفاتها، مما يساهم في تكون الطحالب على سطح الماء، ويولد روائح كريهة ويخلق بيئة ملائمة لتكاثر الحشرات والقوارض التي تضر بالصحة البشرية. بالإضافة إلى ذلك، تضر هذه الملوثات بجمال الطبيعة. ومن المشكلات أن تحلل الطحالب الميتة يستنزف كميات كبيرة من الأكسجين في عمليات الأكسدة، مما يؤدي إلى موت الكائنات المائية التي كانت تشكل مصدراً أساسياً للحياة والاقتصاد البشري.

**2-4- النفايات الصلبة:**

تشمل هذه النفايات بقايا من الاستخدامات المنزلية مثل فضلات الطعام والورق والبلاستيك والزجاج والملابس والفلين وجثث الحيوانات الميتة التي يتم التخلص منها عادة بعد الاستخدام، وتعتبر مخلفات المطابخ من النفايات الخطيرة للغاية بسبب احتوائها على أنواع متعددة من الجراثيم ومسببات العدوى التي تسبب العديد من الأمراض. لذا فإن إدارة هذا النوع من النفايات بشكل صحيح يعد أمراً ضرورياً لتقليل الأثر السلبي المحتمل على البيئة والصحة العامة [5]. كما موضح في الشكل (1-1).




**الشكل(1-1): ملوثات المياه الرئيسية [8]**

## 3- أنواع تلوث المياه:

### 3-1- التلوث البيولوجي:

يشير التلوث البيولوجي للمياه إلى وجود كائنات حية، سواء كانت مرئية أو غير مرئية، تتضمن كائنات نباتية أو حيوانية، في الأنظمة المائية العذبة أو المالحة، سواء كانت على السطح أو تحت الأرض. غالباً ما يحدث هذا النوع من التلوث بسبب بعض الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا المسؤولة عن أمراض الكوليرا والتيفوئيد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي بعض الطحالب والكائنات النباتية إلى مشاكل في الجهاز الهضمي والإسهال، وهو ما يعرف التسمم الناتج عن الطحالب. هناك أيضاً الفيروسات التي تنتشر من خلال المياه، مثل فيروس الكبد الوبائي، في كثير من الأحيان قد تظهر المياه طبيعية من حيث الطعم واللون والرائحة، لكن وجود هذه الكائنات يجعلها ملوثة. وتظهر الملوثات غالبا من الكائنات الممرضة عندما تختلط فضلات الإنسان والحيوان بالماء، يحدث ذلك بشكل مباشر عندما يتم تصريفها مباشرة في المياه العذبة أو المالحة، كما يمكن أن يحدث بشكل غير مباشر عندما تختلط مع

مياه الصرف الصحي أو مياه الزراعة، يؤدي تلوث المياه إلى ظهور العديد من الأمراض الخطيرة مثل مشكلات المعدة، التهاب الكبد، وأمراض جلدية.

**3-2- التلوث الكيميائي:**

التلوث الكيميائي في البيئة يعرف بأنه كل إدخال أو تفريغ معتمد أو غير معتمد لمادة كيميائية، سواء كان ذلك بشكل مباشر أو غير مباشر إلى عنصر الماء، هذا يؤدي إلى إلحاق الضرر بصحة الإنسان والمكان. يمكن أن يكون هذا التلوث ناتجا عن مياه الصرف الصحي في الغالب، بينما تحدث الأنواع الأخرى بسبب نفايات المصانع والزراعة والنقل، يشير التلوث الكيميائي إلى التأثير السام للمياه، الذي يحدث نتيجة تواجد مواد كيميائية خطيرة مثل مركبات الزئبق أو الرصاص أو الزرنيخ أو الكاديوم أو حتى المبيدات الحشرية، من المعروف أن لهذا النوع من التلوث آثار سلبية على الحياة البحرية، تنقسم المواد الكيميائية التي تلوث الماء إلى نوعين رئيسيتين حسب قابلتيها للذوبان: نوع قابل للانحلال، ونوع قابل للتراكم والتجمع في الكائنات الحية التي تعيش في الماء ويعد هذا الأخير أشد خطرا أو ضررا، ويشمل المعادن الثقيلة والمواد النفطية والمبيدات الحشرية والمواد العضوية المركبة مثل البلاستيك.

**3-3- التلوث الحراري:**

تحتاج المصانع الصناعية ومحطات الطاقة ومصافي النفط إلى كميات كبيرة من مياه الأنهار والبحار لأغراض التبريد. تكون هذه المصانع عادة مبنية بجوار سواحل واسعة وتستعمل الماء لتبريد محركاتها، يعتمد تأثير التلوث الناتج عن هذه العمليات على كمية المياه، درجة حرارتها، وسرعة تدفقها بالإضافة إلى مستوى تلوثها بالمواد الأخرى، في فصل الصيف يؤثر ارتفاع درجة الحرارة وقلة تدفق المياه في بعض الأنهار على زيادة التلوث الحراري. عندما تسخن هذه المياه وتعود إلى مصدرها من خلال أنابيب المخرج محملة بالمعادن الثقيلة والأملاح فإنها تعزز التفاعلات الكيميائية في الخلايا النباتية والحيوانية وتعيق نمو الطحالب، كما تزداد نسبة الأكسجين الذاتي في الماء، مما يؤدي إلى موت العديد

من الكائنات المائية، هذه النوعية من التلوث قد تسبب أيضا ارتفاع درجات حرارة الجو، مما يعرض المناخ العالمي للخطر [9].

**3-4- التلوث الفيزيائي:**

ينشأ التلوث الفيزيائي من المواد العضوية وغير العضوية العالقة في الماء، هذا النوع من السموم يغير لون الماء وطعمه ورائحته، أحد أشكال التلوث الفيزيائي هو ارتفاع درجة الحرارة نتيجة لصب المياه الباردة من المنشآت الصناعية والمفاعلات النووية في المسطحات المائية، يؤدي ذلك إلى انخفاض في كمية الأكسجين المتحلل ويضر بالكائنات الحية البحرية [10].

**3-5- التلوث الإشعاعي:**

هو نوع من التلوث الذي يأتي من مصادر الإشعاع الطبيعي مثل الأشعة الكونية وغاز الرادون الموجود في بعض أنواع الصخور في القشرة الأرضية، وكذلك من الصخور التي تحتوي على خامات الراديوم والثوريوم واليورانيوم وغيرهم، وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يكون مصدره الإشعاع الصناعي مثل المفاعلات النووية، وكذلك منشآت معالجة الوقود النووي، والمخازن التي تحتوي على النفايات المشعة، والنظائر المستخدمة في مجالات مثل المستشفيات والزراعة والصناعة ومختبرات الأبحاث العلمية. ويمكن تقسيم الملوثات حسب قدرتها على التحلل إلى نوعين:

- ملوثات قابلة للتحلل: التي تشمل المخلفات البشرية وروث الحيوانات، يصبح هذا النوع ضارا فقط عندما يتجاوز معدل تراكم هذه المخلفات في البيئة القدرة على تحللها.
- ملوثات مقاومة للتحلل: وهي المواد التي تتحلل ببطء شديد مثل المعادن الثقيلة والمبيدات التي تحتوي على الكلور، وعلب الألمنيوم والبلاستيك [11].

## 4- مصادر تلوث المياه:

تسبب الأنشطة البشرية مثل الأعمال المنزلية، الصناعة، الزراعة، والتربة، بالإضافة إلى الأمطار والسيول، إنتاج أنواع النفايات، يتم نقل هذه النفايات عبر المياه، مما يؤدي إلى تأثيرات متنوعة على التلوث في البيئة.

### 4-1- المصادر الطبيعية:

#### 4-1-1- مياه الأمطار:

تذيب مياه الأمطار الملوثات الموجودة في الهواء وتسقطها على سطح الأرض، وبسبب حموضة مياه الأمطار، تصبح ملوثة وسامة، مما قد يؤثر على الحياة المائية، ويلحق الضرر بأوراق النباتات، ويغير معدل عملية التمثيل الضوئي فيها، كما يلحق أضراراً جسيمة بالمباني التاريخية، ويغير درجة حموضة التربة مما يؤثر على خصوبتها. تعد الظواهر الجوية كالغبار والعواصف الترابية ظاهرة طبيعية تتكرر بكثرة في المناطق الصحراوية، مسببة تدهوراً بيئياً كبيراً في الأراضي الصحراوية [12].

#### 4-1-2- مياه السيول والجريان:

تتجمع مياه الأمطار لتشكل جريان أو سيول، وتحمل معها التربة وما ذاب فيها من أملاح وملوثات أخرى، في العديد من الدول النامية، يتم تصريف هذه السيول في قنوات الصرف الصحي الموجود في المدن

### 4-2- مياه الصرف المنزلية:

تعتبر مياه الصرف الصحي الناتجة عن المنازل والخدمات السكنية، التي تتكون بشكل رئيسي من عمليات الأيض البشري والأنشطة اليومية مثل المياه الرمادية ومياه الصرف الصحي، تحتوي على ملوثات عضوية وغير عضوية، هذه المياه غير متجانسة وتكون معالجتها سهلة.

**4-3- المصادر الصناعية:**

هي سوائل ناتجة تنتج عن استهلاك المياه في مجالات الصناعة أو عن بقايا منتجات مثل الزيوت، تساهم الصناعات في تلوث المجاري المائية من خلال التخلص من مخلفاتها ونواتجها الثانوية، مما يؤدي إلى تدمير الحياة في الأجسام المائية أو تسميم الأسماك، من وجهة نظر بيئية، يمكن تصنيف هذه المياه وفقاً لمصدرها إلى:

**4-3-1- مياه الصرف الصناعي غير العضوية:**

تتولد هذه المياه من مصانع مثل تلك التي تنتج الأسمنت والحديد، وتحتوي على تركيزات متنوعة من المواد العالقة التي يمكن ترسيبها باستخدام مواد مثل أملاح الألمنيوم، كما تحتوي على كميات مختلفة من المواد الذائبة والمترسبة الناتجة عن عمليات التصنيع مثل صهر الحديد وتصنيع الألمنيوم وغيرها.

**4-3-2- مياه الصرف الصناعي العضوية:**

تأتي من مجموعة متنوعة من الصناعات مثل صناعة الأدوية والدباغة وتكرير النفط، تتباين طبيعة المواد العضوية الناتجة حسب نوع الصناعة، حيث أن بعضها يحتوي على مواد ضارة وصعبة التحلل، بينما يحتوي البعض الآخر على مواد أقل ضرراً وسهلة التحلل.

**4-4- المصادر الزراعية:**

هي المياه الناتجة عن الأنشطة الزراعية المختلفة حيث تحتوي على مواد عضوية سريعة التحلل، وتأتي أيضاً من مياه الصرف الصحي الناتجة عن إنتاج الأعلاف، هذه المياه تحتوي على كميات كبيرة من المواد والأحماض العضوية ومركبات النيتروجين المتنوعة، يجب فصل هذه المياه عن المياه السطحية لأنها تسبب زيادة في الحموضة وتقلل من كمية الأكسجين المذاب، مما يؤذي الحياة المائية، إذا تم معالجة هذه المياه بشكل صحيح فلا تشكل تهديداً للبيئة، حيث يمكن إعادة المواد الموجودة فيها إلى نظامها الطبيعي من خلال استخدامها في الزراعة، مما يوفر مغذيات للنباتات ويحسن نوعية التربة [13].

**4-5- تلوث المياه بالنفط:**

يتعرض الماء للتلوث بسبب النفط ومنتجاته، خاصة عندما تقوم الناقلات النفطية بإخراج مياه التوازن في عرض البحر، أو عندما تسهم الحروب في تسرب النفط إلى مياه البحر، يوجد مصدر آخر لتلوث المياه بالنفط وهو حوادث غرق السفن، بالإضافة إلى أن بعض المصانع الواقعة على سواحل البحار مثل محطات التكرير ومحطات فصل الغاز عن الزيت تلقى بنفاياتها السائلة في مياه البحر، يسهم البشر بأكثر من عشرة ملايين طن من النفط إلى المحيطات والبحار كل عام، وقد اكتشف أن لتراً واحداً من النفط يستهلك الأكسجين الموجود في 400 ألف لتر من مياه البحر. يمكننا معرفة مستوى تلوث الماء بشكل عام من خلال قياس كمية الأكسجين في الماء، فازدياد الملوثات يرفع من استهلاك الأكسجين الذائب فيه، مما يعرض العديد من الكائنات البحرية لخطر الموت اختناقاً، وقد تنعدم الكائنات الحية مما يجعل المياه تعرف ب " المياه الميتة " ضعف الأكسجين أو فقدانه في الماء يعتبر دليلاً على مدى التلوث المائي، لذا إذا أردنا صحة البحار، يجب أن يبقى تركيز الأكسجين المذاب عند المستوى الأدنى اللازم لاستمرار الحياة للكائنات الحية التي تحتاج إلى الأكسجين [11].

## 5- آثار تلوث المياه:

لتلوث المياه آثار كبيرة على النظم البيئية وصحة الإنسان والاقتصاد فهي:

**5-1- آثار تلوث المياه على صحة الإنسان:**

هناك علاقة بين التلوث والمشاكل الصحية، العديد من الأمراض المنقولة عن طريق المياه ناتجة عن المياه الملوثة. تشمل المخاطر الصحية المرتبطة بالمياه الملوثة العديد من الأمراض مثل أمراض الجهاز التنفسي، السرطان، أمراض الجهاز الهضمي، أمراض الجلد، الإسهال، الاضطرابات العصبية، وأمراض القلب والأوعية الدموية. المواد الكيميائية النيتروجينية مسؤولة عن السرطان. الأشخاص الفقراء

هم الأكثر عرضة للإصابة بالأمراض بسبب سوء الصرف الصحي والنظافة والإمدادات المائية. المياه ذات الجودة الرديئة تدمر المحاصيل وتلوث غذائنا، وهو أمر خطير على كل من الحياة المائية وحياة الإنسان. وما إلى ذلك.

**5-1-1- الأمراض البكتيرية:**

يعد تلوث مياه الشرب وتلوث المياه بالبراز السبب الرئيسي للإسهال، يمكن للممارسات الصحية أن تمنع هذا المرض ويمكن استخدام المضادات الحيوية لعلاج المرض. أما داء السالمونيلا فيصيب الأمعاء. توجد بكتيريا السالمونيلا في المياه الملوثة، وتؤدي إلى التهاب الأمعاء، وغالبًا ما يحدث الموت أيضًا. توصف مضادات حيوية مختلفة لهذا المرض. داء الكوليرا ينتج عن تلوث المياه. هذه البكتيريا تنتج السموم في الجهاز الهضمي، أعراض هذا المرض هي الإسهال المائي، الغثيان، القيء، يؤدي الإسهال المائي إلى الجفاف والفشل الكلوي، يتم استخدام العلاج المضاد للميكروبات لعلاج هذا المرض.

**5-1-2- الأمراض الفيروسية:**

التهاب الدماغ هو مرض التهابي ينتقل عن طريق لدغة البعوض المصاب. تضع البعوضة بيضها في المياه الملوثة. لا يظهر لدى معظم الناس أي أعراض، لكن بعض الأعراض تشمل الصداع، الحمى العالية، تيبس العضلات، التشنجات، ومع ذلك في الحالات الشديدة قد يؤدي إلى الغيبوبة والشلل. لا يتوفر لقاح لهذا المرض حتى الآن. التهاب الكبد هو مرض فيروسي تسببه المياه الملوثة ويصيب الكبد. اليرقان، فقدان الشهية، التعب، الانزعاج والحمى العالية هي أعراض التهاب الكبد. إذا استمر لفترة طويلة قد يكون قاتلاً ويؤدي إلى الوفاة. من خلال اعتماد ممارسات النظافة الجيدة، يمكن للمرء أن يتخلص من هذا المرض [14]. كما في الجدول التالي:

**الجدول(1-1)** : بعض الفيروسات والأمراض التي تسببها [15]

| الفيروسات | الأمراض التي تسببها | احتمالية العدوى | المصدر |
|---|---|---|---|
| الفيروسات الغدية Adenoviruses | عدة احتمالات من بينها: التهاب المعدة والأمعاء، والجهاز التنفسي، والعين، النزفي الحاد، والسحايا والدماغ | نعم | الإنسان |
| الفيروسات المعوية Enteroviruses<br>_ فيروس شلل الأطفال Poliovirus<br>_ فيروس الأمعاء Enterovirus | شلل الأطفال واعراض اخرى<br>إلتهاب المعدة والأمعاء، التهاب السحايا | نعم<br>نعم | الإنسان<br>الإنسان |
| فيروس التهاب الكبد الوبائي Hepatitis Avirus | التهاب الكبد المعدية | نعم | الإنسان |
| فيروس ريوي (فيروس تنفسي معوي يتيم) Reoviruses | تؤثر على الجهاز الهضمي والجهاز التنفسي | نعم | الإنسان والحيوان |
| فيروس عجلي Rotavirus | بإرتفاع الحرارة المصحوب بالإسهال المائي والتقيؤات | نعم | ربما الإنسان |

### 5-1-3- الأمراض الطفيلية:

داء المقوسات المعوي هو مرض طفيلي تسببه طفيليات أحادية الخلية، إنه مرض منتشر في جميع أنحاء العالم. الأعراض هي الإسهال، تقلصات المعدة واضطراب المعدة. الأمِيْبَا السريعة التسارع تسببها الأميبا histolytica، وتؤثر على بطانة المعدة. يمر هذا الطفيلي بشكل كيسي وغير كيسي، تحدث العدوى عندما توجد الأكياس في المياه الملوثة وتدخل إلى الجهاز الهضمي، الأعراض هي الحمى، القشعريرة والإسهال[14] .

**5-2- آثار تلوث المياه على البيئة:**

غالبًا ما يكون لتلوث المياه تأثير سلبي على الحياة المائية. قد تموت الحيوانات والنباتات في مصادر المياه الملوثة أو تفشل في التكاثر بشكل طبيعي. المعادن الثقيلة والمواد الكيميائية من مياه الصرف الصحي البلدية والصناعية هي أمثلة على تلوث المياه التي تضعف أعمار المخلوقات المائية وقدرتها على التكاثر. غالبًا ما تكون مستويات الزئبق في التونة والأسماك الأكبر حجمًا مرتفعة. علاوة على ذلك، فإن ازدهار الطحالب في البحيرات والبيئات البحرية، الناتج عن فائض المغذيات مثل النترات والفوسفات من جريان مياه الزراعة السطحية، له تأثير كبير على الحياة المائية. البحيرات العظمى هي موطناً لازدهار الطحالب. الحطام والنفايات، التي قد تخنق وتضر بالعديد من الحيوانات المائية، تشكل أيضًا خطرًا على الحياة البحرية. على سبيل المثال، يمكن للبلاستيك أن يتحمل درجات حرارة عالية [16].

**5-3- آثار تلوث المياه على الاقتصاد:**

يمكن أن يكون لتلوث المياه عواقب اقتصادية ضارة. تؤثر جودة المياه المتدهورة على الصناعات التي تعتمد على مصادر المياه النظيفة، مثل مصائد الأسماك والسياحة والأنشطة الترفيهية. يمكن أن تؤدي المسطحات المائية الملوثة إلى انخفاض أعداد الأسماك، وتقليل محاصيل الصيد، وإلحاق الضرر بالأنظمة البيئية الساحلية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تثني مصادر المياه الملوثة السياح والزائرين الترفيهيين، مما يؤثر على الاقتصادات المحلية التي تعتمد على هذه الأنشطة [17].

## 6- طرق معالجة المياه:

### 6-1- الطرق البيولوجية:

إن تفكيك المركبات العضوية بالطرق البيولوجية يتطلب عمل الكائنات الحية الدقيقة، هذه التقنية تعتبر اقتصادية وفعالة جداً لمعالجة المخلفات السائلة دون استخدام مواد كيميائية. لا تطبق الطرق البيولوجية دائما على المخلفات الصناعية السائلة التي تحوي تراكيز كبيرة جداً من الملوثات لأن الكائنات الدقيقة بطيئة في التكيف مع التغيرات في السمية. تنتج هذه الطريقة كميات كبيرة من الحمأة والتي غالباً ما تكون صعبة جداً للمعالجة أو التخزين ويمكن أن تحتفظ بالسمية المتبقية [18].

### 6-2- الطرق الفيزيائية:

#### 6-2-1- عملية الترسيب:

الترسيب هو واحد من التقنيات الأكثر استخدامًا في عمليات معالجة مياه الصرف الصحي الفيزيائية. تنطوي العملية على ترسيب الجسيمات غير القابلة للذوبان من مياه الصرف الصحي الموجودة في خزانات الترسيب تحت ظروف هادئة. يُطلق على خزان الترسيب أيضًا اسم جهاز التوضيح، وهو خزان مسطح وخالٍ تقريبًا من التيارات ومصمم خصيصًا لعمليات الترسيب. عند تصميم خزان الترسيب، من الضروري أن نضع في الاعتبار أن النظام يجب أن ينتج مخرجًا مصفى ومخلفات حمأة مركزة [19]. الهدف الرئيسي من الترسيب الابتدائي هو السماح بفصل أجزاء المادة الصلبة والسائلة في مياه الصرف الصحي. يقوم بإزالة المواد الصلبة القابلة للترسيب بسهولة والتي تكون في الغالب عضوية بالإضافة إلى المواد العائمة مثل الدهون والزيوت والشحوم. تُعرف المواد الصلبة المترسبة بالحمأة الأولية. لذلك، يقلل هذا العملية من محتوى المواد الصلبة العالقة في مياه الصرف الصحي الداخلة [20].

**6-2-2- عملية التخثر:**

في معالجة مياه الصرف الصحي، تُعتبر طريقة التخثر واحدة من أهم التفاعلات الفيزيائية الكيميائية، تُستخدم هذه الطريقة لتسريع عملية ترسيب الأيونات (المعادن الثقيلة) والجسيمات الغروية المنتشرة (عضوية وغير عضوية) والتي تُحافظ عليها الغالبية بواسطة الشحنات الكهربائية في مياه الصرف، يؤدي إضافة أيونات ذات شحنات معاكسة إلى زعزعة القوى التي تبقي الغرويات متباعدة. يحدث التخثر أيضًا تحت تأثير مواد كيميائية معينة تُسمى المواد المخثرة، مثل الألمنيوم: ألمنيوم التصفية $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$ أو الألمنيوم السائل $[Al_2(SO_4)_3 \cdot H_2O]$. تترافق عملية التخثر مع عملية تدرجية لتكبير الجسيمات وتجميعها وتقليل عددها الإجمالي في حجم مياه الصرف، مما يؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من الحمأة للتخلص منها [19].

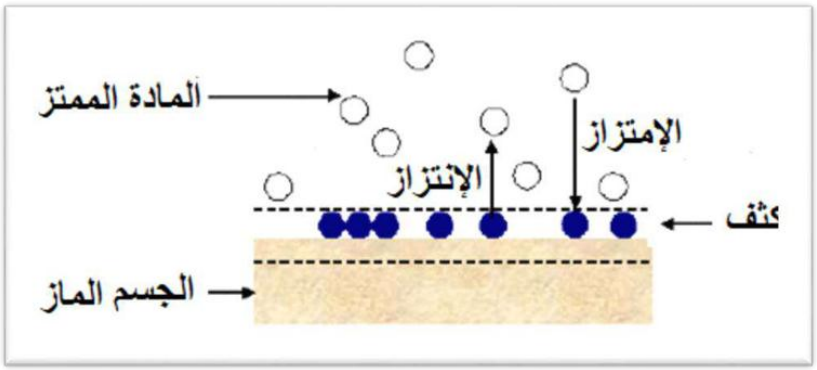
**6-2-3- عملية الترشيح:**

واحدة من أقدم وأبسط العمليات المستخدمة لمعالجة المياه هي تمريرها عبر طبقة من الجسيمات الدقيقة، عادةً الرمل، عادةً ما تزيل عملية ترشيح الرمل المواد الصلبة المعلقة الدقيقة وبعض الجسيمات الأخرى مثل الكائنات الدقيقة الأكبر حجماً. يكون ترشيح الرمل أكثر كفاءة عندما تمر المياه المعالجة عبر مرشح الرمل ببطء شديد، على الرغم من أن هذا يتطلب مساحات كبيرة من الأرض، والتي عادةً ما لا تكون متاحة في المدن، لقد تغيرت تقنيات الترشيح مع تطور البلاستيك الحديث. والنتيجة هي مجموعة جديدة من مواد وطرق الترشيح لمعالجة المياه لأغراض حضرية وصناعية [21].

**6-2-4- عملية الإمتزاز:**

الإمتزاز يتيح طرقًا لإصلاح وإعادة استخدام وإعادة تدوير محتوى المادة الماصة، وهو أحد أكثر الطرق فعالية لفصل الملوثات المخففة، الامتزاز ليس أحدث تقنية لإزالة الملوثات، ولكن نظرًا للصعوبات المتعلقة بالتخلص من المواد الماصة واستبدالها، فإنه بلا شك الأكثر أهمية على مستوى العالم، نهج

الامتزاز من بين أكثر الطرق كفاءة وموثوقية لمعالجة مياه الصرف نظرًا لسهولة استخدامه، وقدرته على التكيف، وعدم اعتماده على المواد الكيميائية السامة [22]. تؤدي عملية الامتزاز إلى تغيير في تركيز المادة الممتزة (أو المواد الممتزة) عند السطح الفاصل بين الطورين غير القابلين للامتزاج. ويستمر هذا حتى الوصول إلى حالة توازن، حيث يتوافق مع تركيز متبقٍ للمادة الممتزة في الطور السائل، والذي يُعرف باسم تركيز التوازن. الوقت اللازم لإتمام هذه العملية يسمى زمن التلامس، ويعطي ذلك فكرة عن نوعية الامتزاز وحركيته. من الناحية الطاقية، يمكن أن تكون هذه العملية طاردة للحرارة أو ماصة للحرارة [23]. كما موضح في الشكل (1-2).




**الشكل(1-2)** : العناصر الداخلة في عملية الإمتزاز [24]

### 6-3- الطرق الكيميائية:

غالبًا ما يتم استخدام الأكسدة الكيميائية لمعالجة المياه التي تحتوي على ملوثات غير قابلة للتحلل أو مواد سامة وبتراكيز عالية لا يمكن لبقية العمليات معالجتها. المواد المؤكسدة الأكثر استعمالاً هي الأوزون، الكلور ومشتقاته والبرمنغنات. هذه الطرق لها عيوب معينة تعيق استخدامها مثل التكلفة العالية [18].

# الفصل الثاني

# المخلفات الزراعية

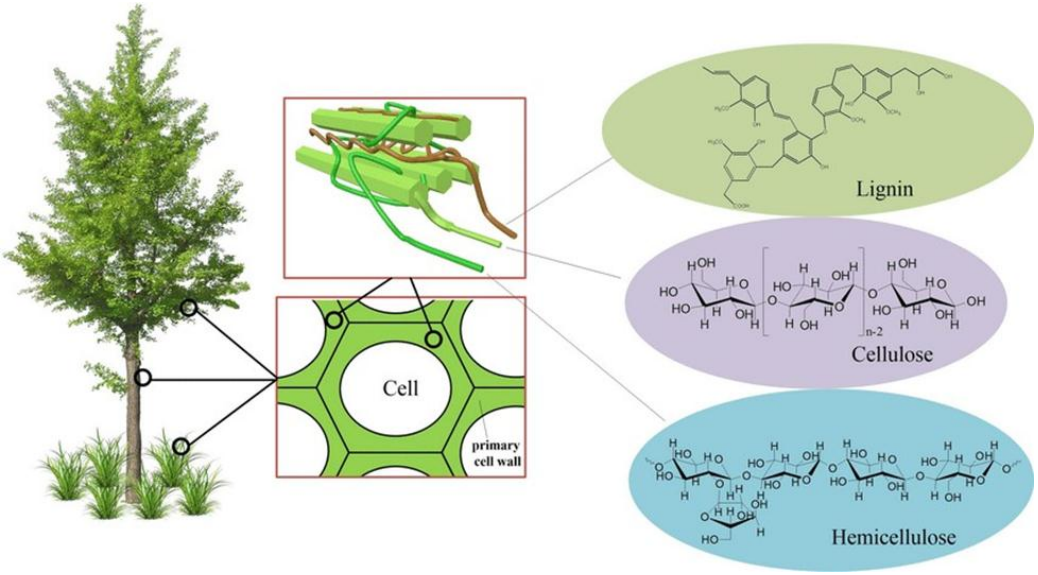
## 1 – المخلفات الزراعية:

تُعدّ المخلفات الزراعية منتجات ثانوية غنية بالكتلة الحيوية، تتولد في جميع مراحل سلسلة الإنتاج الزراعي، بدءًا من تجهيز الأرض والحصاد، مرورًا بالاستهلاك، وصولًا إلى المعالجة الزراعية الصناعية. ويمكن تصنيفها إلى عدة أنواع: مخلفات الحصاد (القش، الأوراق، الكيزان)، ومخلفات المعالجة الصناعية (بقايا قصب السكر، قشور الفاكهة)، ومخلفات الماشية، ومخلفات الفاكهة. ومن بين أكثر المواد الأولية استخدامًا في صناعة المواد الماصة: قشور الأرز، وبقايا قصب السكر والعنب، وسيقان الذرة، وقشور الكسافا، وقشور الفول السوداني، وبذور الآساي. تشير التقديرات إلى أن آلاف الأطنان من هذه المخلفات تُلقى في البيئة كل عام، مما يثير مخاوف بشأن التخلص السليم منها والحد من آثارها البيئية. لذا، وللحد من هذا الفائض وتعزيز استغلاله الأمثل، ازداد الاهتمام باستخدام المخلفات الزراعية والصناعية لإزالة الملوثات، لا سيما مع تزايد كثافة الأنشطة الزراعية خلال العقود الأخيرة [25].

### 1-1- اللجنوسيليلوز (Lignocellulose) :

تمثل الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية مادة خام مستدامة ووفيرة ذات تطبيقات متنوعة، لا سيما في عمليات التخمر الميكروبي لإنتاج الوقود الحيوي والمواد الكيميائية الحيوية. وتُعد هذه الكتلة الحيوية بديلاً واعداً للوقود الأحفوري التقليدي. وقد كشفت أبحاث مكثفة حول تحلل الخشب عن آليات ميكروبية إنزيمية وغير إنزيمية مختلفة تُسهّل استخدام هذا المورد. تستعرض هذه الدراسة بشكل منهجي العوامل الكيميائية والبنيوية التي تُسهم في مقاومة الكتلة الحيوية، مع التركيز على التطورات الحديثة في الأدوات التحليلية لتقييمها. علاوة على ذلك، نستكشف نماذج تنبؤية مبتكرة للتحلل المائي، والتي تُعد بالغة الأهمية لتحسين تحويل الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية إلى وقود حيوي ومواد كيميائية حيوية. كما تُقدم الدراسة تحليلاً شاملاً لتكاليف عمليات التحلل المائي، مما يُتيح فهمًا أعمق للجدوى الاقتصادية لهذه الطرق التحويلية. وتؤكد

النتائج على إمكانات الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية كعنصر أساسي في إنتاج الطاقة والمواد المستدامة [26].




**الشكل(2-1):** بنية المواد الجنيوسيليلوزية [27]

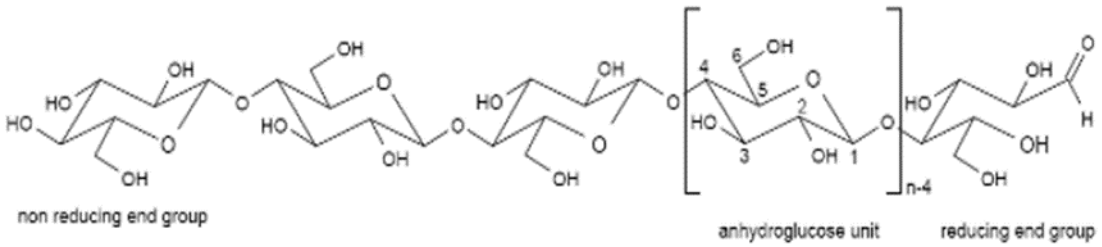
### 1-1-1- الهميسيليلوز:

الهيميسليلوز هو عديد سكاريد آخر موجود في تراكيب النباتات، وتتكون مكوناته البنائية الرئيسية من بوليمرات متجانسة وغير متجانسة. يتألف بشكل أساسي من سلاسل رئيسية من β(1 → 4)-D- زيلوبيرانوز، ومانوبيرانوز، وجلوكوبيرانوز، وجالاكتوبيرانوز لا مائية، بالإضافة إلى عدد من المكونات الأخرى. يوجد الهيميسليلوز مرتبطًا بالسليلوز في الجدار الخلوي الثانوي للنباتات. المكون الرئيسي للهيميسليلوز في الأخشاب اللينة هو الجلوكومانان.

### 1-1-2- السيليلوز:

السليلوز هو بوليمر طويل السلسلة من β-D-جلوكوز في شكل بيرانوز، حيث ترتبط وحدات البيرانوز بروابط جليكوسيدية من 1 إلى 4 لتكوين وحدات سيلوبيوز متكررة في السلسلة البوليمرية. درجة

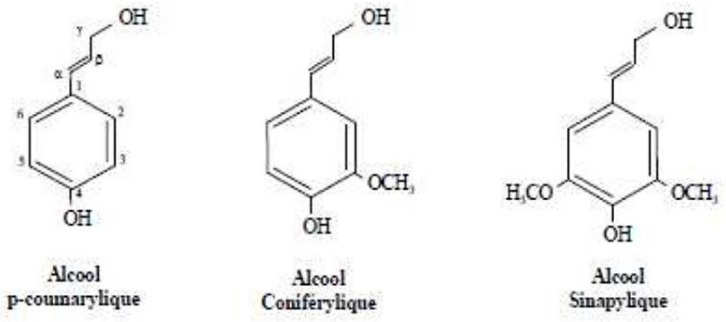
بلمرة كل سلسلة من السليلوز هي تحدد ذلك بعدد المونومرات . في النباتات، يتم تصنيعه بواسطة إنزيمات سينثاز السليلوز. ويُعتبر مصدراً رئيسياً لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي [28].




**الشكل(2 -2) :** التركيب الجزيئي للسيليلوز [29]

**1-1-3- اللجنين :**

اللجنين أحد البوليمرات الوفيرة الموجودة في جدران خلايا النباتات. يتميز اللجنين بروابط ثلاثية الأبعاد معقدة بين وحداته، مما يؤدي إلى انخفاض قابليته للتحلل الحيوي وصعوبة تحلل النفايات الليغنوسليلوزية. يختلف تركيب اللجنين بين أنواع النباتات المختلفة، ويتكون في الغالب من مركبات فينولية، ويُصنف إلى ثلاث فئات رئيسية: اللجنين الغاياكيلي (G)، واللجنين السيرينجيلي (S)، واللجنين بارا-هيدروكسي فينيلي (H)، والتي تشمل وحدات مونولجينول محددة، وهي كحول الكونيفيريل (للجنين الغاياكيلي)، وكحول السينابيل (للجنين السيرينجيلي)، وكحول بارا-كوماريل (للجنين بارا-هيدروكسي فينيلي). يتضمن التركيب البنيوي للجنين بلمرة هذه الوحدات المونولجينولية من خلال تفاعلات الاقتران التأكسدي. ينتج عن البلمرة شبكة معقدة تضم روابط متنوعة، بما في ذلك روابط الإيثر، وروابط الكربون-كربون، وروابط الكربون-أكسجين [30].




**الشكل (2-3):** الوحدات البنائية للجنين [18]

## 2- إستخدام المخلفات الزراعية في إمتزاز الملوثات من المحاليل المائية:

يُعدّ استخدام المخلفات الزراعية كمواد ماصة لإزالة المعادن الثقيلة بديلاً اقتصادياً وصديقاً للبيئة لعمليات معالجة المياه. يُعزز استخدام هذه المخلفات مبادرات تحويل النفايات إلى موارد قيّمة، فضلاً عن دوره في إزالة المعادن الثقيلة. ومن بين المعادن الثقيلة التي خضعت لدراسات مكثفة لإزالتها باستخدام المخلفات الزراعية، نجد المنغنيز. وقد برز الامتزاز كتقنية عملية وفعّالة للتخلص من المنغنيز، مع تركيز كبير على المواد الماصة المصنوعة من المخلفات الزراعية نظراً لانخفاض تكلفتها وفعاليتها العالية. وتعتمد عملية الامتزاز بشكل كبير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المازة المصنوعة من المخلفات الزراعية الحيوية، بما في ذلك مساحة السطح، والمسامية، والمجموعات الوظيفية السطحية، وتوزيع المسام، وسعة التبادل الكاتيوني. ولإزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي، استُخدمت نوى التمر، سواءً كانت نيئة أو محروقة، على نطاق واسع كمواد ماصة للمخلفات الزراعية. وقد أظهرت قدرة الامتزاز العالية وسرعة الامتزاز للمواد الماصة المصنوعة من نوى التمر نتائج مُشجّعة. كما تم دراسة النفايات الزراعية الأخرى كمواد ماصة محتملة لإزالة الملوثات المختلفة، بما في ذلك الكتلة الحيوية لنخيل التمر [31].

**2-1- إستخدام المخلفات الزراعية بدون تعديل:**

استُخدمت النفايات الزراعية الصلبة، بصورتها الطبيعية، بنجاح على مدى عقود كمواد مازة غير تقليدية وذات تكلفة منخفضة لإزالة أيونات المعادن والأصباغ من الأوساط المائية، حيث اعتُبرت خيارًا مستدامًا لمعالجة مياه الصرف الصحي. وتشمل عملية تحويل هذه النفايات إلى مواد مازة عدة مراحل أساسية تبدأ بالجمع، ثم الغسل والتنظيف، يليها التجفيف والتقطيع، وصولًا إلى الطحن والغربلة، مما يسمح بالحصول على أحجام مختلفة من المادة المازة. وعلى الرغم من أن خصائص هذه المواد لا تضاهي خصائص المواد المازة التجارية مثل الفحم المنشط، إلا أنها أظهرت كفاءة ملحوظة في امتزاز مختلف الملوثات من المياه وفقًا لعديد من الدراسات. و من حيث الخصائص، تتميز المخلفات الزراعية عادةً بانخفاض مساحة سطحها النوعية ؛ فعلى سبيل المثال، سُجلت قيمة تقارب 1.07 م²/غ لقشور الموز ، و0.19 م²/غ لبقايا القهوة. ومع ذلك، فإن ما يميز هذه المواد هو احتواء أسطحها على مجموعات وظيفية تُعد مواقع فعّالة لعمليات الامتزاز، مثل مجموعات الهيدروكسيل، الكربوكسيل والكربونيل [32].

**2-2 - إستعمال المخلفات الزراعية مع التعديل:**

تتكون المخلفات الزراعية من السليلوز، واللجنين، والهيميسليلوز، والنشا، والزيوت، والشموع، وغيرها، مع مجموعات وظيفية فعالة. وبالتالي، يمكن تحويل المخلفات الزراعية إلى مواد مفيدة تعمل كمادة مازة حيوية فعالة. يُعد السليلوز المكون الرئيسي في المخلفات الزراعية، ويمكن تعديله بتقنيات مختلفة لتعزيز إزالة الملوثات السامة. يمكن استخدام السليلوز المستخلص من الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية في صورته الطبيعية أو المعدلة أو المطعمة لإزالة الأصباغ العضوية أو أيونات المعادن. تُعد سعة الامتزاز القصوى، وانخفاض التكلفة، وملاءمته للبيئة، ووفرته في الطبيعة، من أهم العوامل التي توضح سبب كون المواد الماصة المُستخلصة من المنتجات الثانوية الزراعية خيارًا مناسبًا لإزالة أيونات

المعادن والأصباغ من المياه الملوثة. لاستخلاص السليلوز، تُستخدم عدة عمليات مثل: المعالجة العضوية أو غير العضوية، المعالجة الحمضية، المعالجة القلوية، وغيرها من الطرق المتخصصة [33].

**2-2-1- الدمج مع الجسيمات النانوية:**

أصبحت تقنية النانو اليوم تقنية خضراء هامة في إعادة تدوير المخلفات الزراعية . تعمل المركبات النشطة بيولوجيًا الموجودة في المخلفات الزراعية كعوامل تغليف واختزال، مما يُسرّع من تخليق جسيمات نانوية متنوعة، مثل جسيمات الفضة والذهب النانوية، وأكسيد الجرافين، وجسيمات السيليكون النانوية المستخدمة في الطاقة الشمسية، والسيليكا غير المتبلورة، والكربون، وجسيمات معدنية نانوية مختلفة. ويجري استخدام المحفزات النانوية الحيوية، والمواد النانوية الماصة الحيوية المصنوعة من المخلفات الحيوية الزراعية الصناعية، لإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من المسطحات المائية، مما يُسهم في بناء اقتصاد دائري متكامل.

وقد طُوّرت طريقة باستخدام جسيمات أكسيد الحديد النانوية من قشور المطاحن، وطُبّقت في امتزاز ملوثات الأصباغ من مياه الصرف الصناعي. باستخدام جسيمات نانوية متوسطة الحجم (55.76 نانومتر)، تم تحقيق كفاءة مثالية (99.93%) في امتزاز الملوثات الصبغية. ويمكن تحويل السليلوز، وهو بوليمر حيوي وفير في المخلفات الزراعية، إلى سليلوز نانوي ليفي؛ وهو بوليمر حيوي واعد يُمكن استخدامه في توصيل الأدوية بسرعة، وعامل استقرار، وزراعة الخلايا لهندسة الأنسجة. ويمكن إتاحة المواد الكيميائية النباتية النشطة بيولوجيًا الموجودة في المخلفات الزراعية والصناعية عن طريق التغليف النانوي باستخدام مواد تغليف نشطة قابلة للتحلل الحيوي. كما استُخدمت جسيمات السيليكا النانوية المسامية المُصنّعة من قشور الأرز في تنقية الهواء، وخاصةً إزالة ثاني أكسيد الكربون [34].

**2-2-2- التطعيم:**

يُعدّ تطعيم السليلوز بالبلمرة موضوعًا كلاسيكيًا، ويتناول جزء من هذه المراجعة التطورات البحثية في مجال معالجة المياه، طُبّق تطعيم اللب بالبلمرة المُحفّز بالإشعاع باستخدام حمض الأكريليك، وقد استُخدم بنجاح لإزالة معادن مثل الكروم الثلاثي ($Cr^{+3}$)، والحديد الثلاثي ($Fe^{+3}$)، والكادميوم الثنائي ($Cd^{+2}$)، والرصاص الثنائي ($Pb^{+2}$)، يلعب الرقم الهيدروجيني (pH) دورًا حاسمًا في طرق التنقية المُطبّقة هذه. على سبيل المثال، تبيّن أن امتصاص المعادن يزداد مع ارتفاع الرقم الهيدروجيني، ووُجد أنه استراتيجية مناسبة لمعالجة المعادن من مياه الصرف الصناعي ذات الرقم الهيدروجيني المرتفع . أُدخلت مجموعتا $COOCH_3^-$ و$NH_2$ الوظيفيتان على ألياف البامية باستخدام مونومرات الميثاكريلات والأكريلاميد، واستُخدم المنتج الناتج بنجاح لإزالة أيونات النحاس الثنائي ($Cu^{+2}$) من الماء، بكفاءة امتصاص بلغت 33.05 ملغم/غم. تم تحضير مادة ماصة من نوع الأمين من ألياف زهرة الياقوت باستخدام أشعة جاما، مع استخدام غليسيديل ميثاكريلات كوحدة مونومرية، وقد استُخدمت بنجاح لإزالة أيونات الرصاص ($Pb^{+2}$) والنحاس ($Cu^{+2}$) والكروم ($Cr^{+3}$) من المحاليل المائية. واستُخدم ساق دوار الشمس المُعدَّل لإزالة المنجنيز والفينول. في عملية التعديل، تم تصنيع راتنج التبادل الأيوني من خلال تحلل البوليمر المُطعَّم لساق دوار الشمس المُعالَج مسبقًا باستخدام الأكريلاميد، مع استخدام كاشف فنتون كمُحفِّز [35].

**2-2-3- الأسترة:**

تُنتَج الإسترات من عملية الأسترة التي تحدث عند تفاعل مجموعات الهيدروكسيل الحرة في السليلوز مع مجموعة كربوكسيل واحدة أو أكثر (أنهيدريدات)، حيث يتفاعل السليلوز ككحول بوليمري ثلاثي التكافؤ. يُستخدم أنهيدريد السكسينيك، وثنائي أنهيدريد حمض الإيثيلين دياميين رباعي الأسيتيك (EDTA)، وأنهيدريد حمض الستريك، وأنهيدريد الماليك على نطاق واسع في تفاعلات الأسترة، مما

يُضيف مجموعات وظيفية إلى سطح المخلفات الزراعية. بالإضافة إلى ذلك، تُحسِّن عملية الأسترة أيضًا من كراهية الماء والقوة الميكانيكية للمواد الماصة. تُساهم هذه التغييرات المفيدة الناتجة عن الأسترة في تعزيز أداء امتصاص المخلفات الزراعية، مما يُتيح استخدامها في معالجة الأنظمة المائية. وفيما يتعلق بآليات الامتزاز، تفاعلت مجموعات الكربوكسيل الناتجة عن حمض الستريك مع أيونات النحاس ($Cu^{+2}$) عبر تفاعل معقد. وبالمثل، تم اعتماد إجراء الأسترة لتحضير قش الأرز المؤستر باستخدام EDTA كعامل مُعدِّل. أنتجت عمليات الأسترة باستخدام EDTA مجموعات أمينية وكربوكسيلية تعمل كمواد ماصة. كشفت التحولات النسبية في قمم الطيف وتغيرات قوة الإشارة في أطياف FTIR عن التأثيرات المشتركة لمجموعات الكربوكسيل والإستر والأمين في EDTA المُطعَّم في ربط أيونات الرصاص ($Pb^{+2}$). بالإضافة إلى ذلك، حددت بعض الدراسات أن أسترة الكربوكسيل لم تُضف فقط المزيد من مجموعات الكربوكسيل إلى قش القمح، بل زادت أيضًا من خشونة السطح، مما أدى إلى زيادة مساحة السطح والمسامية. ونتيجة لذلك، عززت زيادة محتوى $-COO-$ و خصائص السطح المسامي امتزاز أزرق الميثيلين من خلال تحسين التبادل الأيوني وانتشار الجزيئات داخلها [36].

**2-2-4- التعديل الحمضي :**

التحميض عملية أكسدة رطبة تُستخدم لإزالة الشوائب المعدنية من المخلفات الزراعية، كما تُحسّن من خصائصها الحمضية والمحبة للماء على سطح المادة الماصة. تشمل المواد الكيميائية الشائعة المستخدمة في التعديل الحمضي: حمض الفوسفوريك($H_3PO_4$) ، وحمض الهيدروكلوريك(HCl) ، وحمض النيتريك ($HNO_3$)، وحمض الكبريتيك ($H_2SO_4$) خلال المعالجة، تعمل الأحماض على إذابة المكونات، مما يقلل من تعرج البنية المسامية ويزيد من محتوى الأكسجين في المادة. وعلى وجه الخصوص، تُعزز المعالجة الحمضية تحلل السليلوز في المخلفات الزراعية، مما يُنتج مادة أكثر تفاعلية. أظهر التجارب أن حمض الهيدروكلوريك (HCl) يُقلل من المحتوى المعدني لقش الشعير؛ حيث انخفضت تركيزات

الألومنيوم والفوسفور والمنغنيز والنحاس والزنك بنسبة تتراوح بين 2.28% و9.80% بعد المعالجة الحمضية. ساهم هذا الانخفاض في المحتوى المعدني في زيادة امتزاز أيونات النيكل ($Ni^{+2}$) من المحلول نتيجةً لانخفاض التنافس بين الكاتيونات على مواقع الامتزاز. بشكل عام، تتميز المواد الماصة الليغنوسليلوزية بقدرة امتصاص منخفضة للملوثات الأنيونية نظرًا لشحنة أسطحها السالبة. ومع ذلك، أظهرت دراسات حالة أن المعالجة الحمضية يمكن أن تُحسّن أداء الامتزاز للملوثات الأنيونية (حمض أحمر 111) أيضًا. وقد عزا الباحثون هذه الظاهرة إلى أن المعالجة بحمض النيتريك تُعزز التفاعلات غير الكهروستاتيكية بين المادة الماصة والمادة الممتزة، مثل قوى فان دير فالس والروابط الهيدروجينية [36].

**2-2-5- التعديل القلوي :**

تُجرى المعالجة القلوية لتعديل المخلفات الزراعية عن طريق تفاعلها مع هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) أو هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) ). تقلل هذه المعالجة من محتوى المكونات غير المتبلورة، مثل اللجنين والهيميسليلوز، مما يزيد من مساحة السطح ويكشف عن مجموعات وظيفية إضافية داخل المخلفات الزراعية المعالجة. بعد التعديل القلوي، تتحسن الخواص الميكانيكية والاستقرار الحراري للمخلفات الزراعية، مما يُعزز إزالة الملوثات .أظهر النتائج زيادة في مساحة سطح BET لقشور الأرز بعد معالجتها بهيدروكسيد الصوديوم من 0.7 إلى 4.3 م²/غ، وهو ما لعب دورًا هامًا في زيادة التفاعلات بين المادة المازة والمواد الممتزة. أظهرت بعض الدراسات أن أسطح المخلفات الزراعية المُعدّلة تتميز بمسامات أكبر مقارنةً بالمواد الخام، مما يزيد من امتزاز الملوثات من خلال تحسين انتشارها داخل المسامات. فعلى سبيل المثال، يبدو أن المعالجة القلوية بهيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) تُزيل انسداد بعض المسامات، مما يؤدي إلى ظهور مسامات أكثر وضوحًا من المادة غير المعالجة، وهو ما يُعزز قدرة السيبروفلوكساسين والتتراسيكلين على البقاء على سطح المادة الماصة من خلال التفاعلات الكارهة

للماء، والروابط الهيدروجينية، وقوى فان دير فالس. علاوة على ذلك، تتولد مجموعات الهيدروكسيل في المواد المازة الجديدة بعد المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) عبر تحلل مجموعات الكربونيل وإذابة اللجنين والهيميسليلوز، مما يُحسّن التفاعل الكيميائي مع الملوثات. علاوة على ذلك، يُحرر المعالجة القلوية الكاتيونات (مثل البوتاسيوم والكالسيوم) من المخلفات المعالجة، مما يزيد من قدرة التبادل الأيوني، ويساهم في زيادة احتجاز الملوثات الكاتيونية. ونتيجة لذلك، أظهرت قشور الأرز المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم تفاعلات قوية في تكوين المعقدات والتبادل الأيوني والروابط الهيدروجينية مع أيونات النحاس الثنائي، وذلك بسبب زيادة محتوى مجموعات الهيدروكسيل وقدرة التبادل الكاتيوني والمسامية [36].

**2-2-6- الكربنة:**

يحتوي الكربون المنشط على مسامات دقيقة ومتوسطة وكبيرة ضمن بنيته. لهذه البنى دورٌ هام في تحديد خصائص الكربون المنشط، مثل أدائه كمادة ماصة [13]. وقد صنّف الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) أحجام مسام الكربون المنشط إلى مسامات دقيقة (أقل من 2 نانومتر)، ومسامات متوسطة (من 2 إلى 50 نانومتر)، ومسامات كبيرة (أكبر من 50 نانومتر). تعتمد خصائص وأداء الكربون المنشط المُنتَج على المواد الأولية في بداية عملية الإنتاج. بالإضافة إلى ذلك، يتأثر أداء الكربون المنشط أيضًا بنوع التنشيط؛ سواء كان فيزيائيًا أو كيميائيًا [37].

**2-2-6-1- التنشيط الكيميائي:**

في التنشيط الكيميائي، يحدث كل من التنشيط والتفحيم في آن واحد [20؛ 33]، حيث يُخلط المُركّب الأولي مع كمية مُحددة من عوامل نشطة مثل هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) وهيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وحمض الكبريتيك ($H_2SO_4$) وحمض الهيدروكلوريك (HCl) وحمض الفوسفوريك ($H_3PO_4$) وكلوريد الزنك ($ZnCl_2$)، مما يؤدي إلى تكوين هياكل مسامية ي المادة يُسبب التنشيط

الكيميائي تعديلات فيزيائية وكيميائية للكربون المُنشط المُتكون. توجد أنواع مختلفة من عوامل التجفيف المُستخدمة في التنشيط الكيميائي، ولكن حمض الفوسفوريك يُفضل استخدامه مؤخرًا نظرًا للاعتبارات البيئية والاقتصادية. يُعد حمض الفوسفوريك، مُقارنةً بكلوريد الزنك، الأكثر تفضيلًا نظرًا للعيوب البيئية المرتبطة بكلوريد الزنك، مثل مشكلة التآكل وعدم كفاءة الاستخلاص الكيميائي [38].

**2-2-6-2- التنشيط الفيزيائي:**

إنتاج الكربون المنشط من خلال التنشيط الفيزيائي المستخدم تجاريًا هو عملية من خطوتين تتضمن عملية التفحيم (التحلل الحراري) في جو متعادل ثم التنشيط في جو مؤكسد مثل البخار، وثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون ومخاليط النيتروجين أو الهواء مع ارتفاع درجة الحرارة في نطاق 800-1100 درجة مئوية. تتميز هذه الطريقة بقدرتها على إنتاج كربون منشط ذي بنية مسامية وقوة فيزيائية جيدة، وهي طريقة غير مكلفة لتحضير الكربون المنشط، وتُعتبر نهجًا صديقًا للبيئة لأنها خالية من المواد الكيميائية. مع ذلك، في عملية التنشيط الفيزيائي للكربون المنشط، يُعدّ طول مدة التنشيط وانخفاض قدرة الامتزاز للكربون المنشط المُحضّر واستهلاكه العالي للطاقة من أبرز عيوبه [39].

**2-2-7- الإيثرة:**

تُصنّع الإيثرات من خلال عملية الأثيرية، حيث تُستبدل مجموعات الهيدروكسيل (OH-) الموجودة على المخلفات الزراعية بمجموعات وظيفية أخرى. يُعد تفاعل مجموعات الهيدروكسيل مع أكسيد الإيثيلين أو الإيبوكسيدات الأخرى تفاعل أثيري نموذجي، يُنتج مواقع تفاعل متعددة لإجراء مزيد من التعديلات الوظيفية لإدخال مجموعات امتزاز. عادةً ما تُستخدم ثلاثي إيثيلين تيرامين، وثنائي إيثيلين تريامين، وإيثيلين ديامين لتوليد مجموعات الأمين للمواد المازة أثناء عملية التعديل الوظيفي. بشكل عام، تُضاف مجموعات الكربوكسيل، والثيو، والأمين الوظيفية إلى أسطح الكتلة الحيوية من خلال عملية الأثيرية. قد تُؤدي عملية الأثيرية إلى توليد مجموعات وظيفية موجبة الشحنة، مما يُعزز مواقع الامتزاز لاحتجاز

الأنيونات، مثل $PO_4^{-3}$ و$NO^{-3}$ و$SO_4^{-2}$. يُعدّ التفاعل بين الإيبكلوروهيدرين ومجموعات $OH^-$ الموجودة في المخلفات الزراعية عملية أثيرية شائعة لتوليد مجموعات وظيفية جديدة. على سبيل المثال، أُدخلت مجموعات الإيبوكسي والأمين على قش الأرز الخام من خلال تفاعل الإيبكلوروهيدرين مع ثلاثي ميثيل أمين. ظهرت قمة طيفية في طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR) مرتبطة برابطة C–N عند 1470 سم$^{-1}$، وقمة أخرى لملح الأمونيوم الرباعي عند 1062 سم$^{-1}$ على سطح قش الأرز بعد التعديل، مما يُشير إلى توليد مجموعات أمينية موجبة الشحنة. أدت عملية الأثيرية هذه إلى زيادة السعة التبادلية الكلية للمادة الماصة من 0.32 إلى 1.64 ملي مكافئ/غرام، وزيادة سرعة امتصاص الكبريتات عبر آلية التبادل الأيوني. وبالمثل، استُخدم قش القمح المتشابك بالإيثيلين ديامين لإدخال مجموعات أمينية بهدف إزالة أيونات $HCrO^{-4}$ و$H_2PO^{-4}$ من المحاليل. وعلى الرغم من انخفاض مساحة سطح BET للكتلة الحيوية المُعدّلة من 6.5 إلى 5.3 متر مربع/غرام، إلا أن عملية التعديل زادت من كمية الشحنة الموجبة. بعد التعديل، تراوح جهد زيتا لقش القمح المُعدَّل بين +39.3 و–7.0 ملي فولت، مقارنةً بـ +5.2 إلى –45.8 ملي فولت لقش القمح الخام. يُعزى ارتفاع جهد زيتا للمادة المُعدَّلة إلى وجود أيونات السيانيد ($-CN^+$)، التي تتميز بجاذبية كهروستاتيكية أقوى للملوثات الأنيونية. وقد وثّقت العديد من الدراسات فعالية عملية الأسترة في زيادة تفاعلية المخلفات الزراعية لاحتجاز الملوثات الأنيونية من خلال التفاعلات الكهروستاتيكية [40] .

**2-2-8- المغنطة:**

يُعدّ مغنطة المخلفات الزراعية المُعدّلة، مثل الفحم الحيوي، استراتيجيةً لإدخال المعادن الانتقالية أو أكاسيدها في المادة العضوية، ما يُنتج مادةً (مثل كلوريد الحديد الثلاثي، وأكسيد الحديد الثلاثي، وأكسيد الحديد الثنائي، وجزيئات الحديد النانوية ذات التكافؤ الصفري) يسهل فصلها باستخدام مغناطيس خارجي. ومن الأهمية بمكان سهولة إزالة المواد الممتزة المغناطيسية، ما يجعلها فعّالةً للغاية في إزالة الملوثات من

المحاليل المائية. علاوةً على ذلك، يُمكن لتطعيم سطح المخلفات الزراعية بالمعادن أو أكاسيدها استهداف وظائف مُحدّدة لتعزيز خصائص الامتزاز، مثل تعديل اللجنين السليلوزي بمواد مغناطيسية لتحسين امتزاز الكلورامفينيكول، مع إمكانية استعادة المادة وإعادة استخدامها بسهولة في تطبيقات الامتزاز. أظهر قش القمح المُغطّى بالحديد النانوي ذي التكافؤ الصفري أداءً أفضل في امتزاز أيونات النحاس الثنائي ($Cu^{+2}$) مقارنةً بالمادة الممتزة الخام. تم امتصاص جزء من أيونات النحاس الثنائي ($Cu^{+2}$) مباشرةً بواسطة قش القمح، بينما اختُزل جزء آخر منها أولًا إلى نحاس صفري التكافؤ وأكسيد النحاس الثنائي ($Cu_2O$)، واللذان ارتبطا لاحقًا بسطح المادة كجزء من بنية أكسيد الحديد البلورية. علاوة على ذلك، أظهرت الدراسات أن إضافة أكاسيد الحديد إلى المخلفات الزراعية تُعزز إزالة أيونات الزرنيخ الخماسية السالبة ($H_2AsO^{-4}$) ($As^{+5}$) نتيجةً لتفاعلات سطحية مُحسّنة مرتبطة بأكاسيد الحديد. وقد أزالت بقايا قصب السكر المُعدّلة بأكاسيد الحديد أيونات $H_2AsO^{-4}$ بسرعة من خلال التفاعلات الكهروستاتيكية، وتبادل الروابط، وتفاعلات التمخلب بين مجموعة $\equiv FeOH^{+}_2$ السطحية موجبة الشحنة وأيونات $H_2AsO^{-4}$ سالبة الشحنة [40].

# الفصل الثالث

# الطرق والوسائل

## 1- تحضير المادة المازة:

لتحضير المادة المازة من قشور الرمان المعالجة كيميائيا قمنا بجمع كمية كافية من هذه القشور خلال موسم استهلاك هذه الفاكهة وغسلها بالماء المقطر لإزالة الشوائب ثم تجفيفها مطولا تحت أشعة الشمس حتى تصبح صلبة وسهلة للقطع، بعدها قمنا بتخزين هذه القشور إلى غاية موعد تحضير المادة. عند عملية التحضير تمت المعالجة على مرحلتين بداية بمعالجة أولية ثم تلتها المعالجة الكيميائية.

### 1-1 المعالجة الأولية:

في هذه المرحلة قمنا أولا بقطع قشور الرمان إلى أجزاء صغيرة ثم طحنها وغربلتها للحصول على عينة بأبعاد تتراوح بين 125 و250 ميكرومتر بغرابيل خاصة. وبما أن قشور الرمان تمتاز بوجود أصبغة يصعب ازالتها بالغسيل المتكرر بالماء المقطر وهذا ما لاحظناه عند غسل عينة مرات عديدة فضلنا عدم غسل العينة والمرور مباشرة إلى المعالجة الكيميائية.

**الصورة (3-1):** توضح المعالجة الأولية لقشور الرمان

**2-1 المعالجة الكيميائية:**

لمعالجة قشور الرمان كيميائيا اتبعنا طريقة المعالجة القاعدية باستعمال هيدروكسيد الصوديوم NaOH، ومن خلال اطلاعنا على مجموعة من الابحاث في هذا المجال والتركيز على المقادير والشروط التجريبية اخترنا أن تكون نسبة وزن العينة إلى وزن هيدروكسيد الصوديوم هي 1/7.5، وعليه وضعنا 8غ من هيدروكسيد الصوديوم في بيشر سعته 1 لتر يحتوي 800 مل ماء مقطر فوق رجاج مغناطيسي، بعد الذوبان الكلي لـ NaOH نضيف 60غ من عينة قشور الرمان إلى المحلول ومباشرة نرفع درجة حرارة المحلول إلى 70 درجة مئوية مع الرج المستمر، نلاحظ هنا أن لون المحلول أصبح بني داكن، تستمر عملية المعالجة ساعة ونصف بعدها نوقف العملية ونترك الخليط يبرد ويترسب في نفس الوقت ثم نفصل المحلول عن الراسب، لنبدأ مباشرة عملية غسل الراسب بالماء المقطر عدة مرات إلى غاية الحصول على ماء غسيل نظيف وبدرجة pH معتدل، في الأخير يجفف الراسب لمدة 48 ساعة تحت 70°C ثم يحفظ في حاويات مغلقة.

**الصورة (3-2):** توضح المعالجة الكيميائية لقشور الرمان

## 2- تشخيص المادة المازة:

### 2-1- فقدان الكتلة الحيوية:

عند معالجة قشور الرمان كيميائيا بهيدروكسيد الصوديوم NaOH تفقد نسبة من وزنها، ومع عمليات الغسيل والترشيح بعد المعالجة تزيد نسبة الفقدان، وناتج الفقدان اجمالا يعرف بفقدان الكتلة الحيوية (Loss of biomass)، ويحسب بالعلاقة التالية:

$$\text{Loss}(\%) = \frac{\text{Wi} - \text{Wf}}{\text{Wi}} \times 100$$

حيث Wi هو الوزن الأولي لقشور الرمان قبل المعالجة وWf هو الوزن النهائي بعد المعالجة.

### 2-2- المجموعات الوظيفية السطحية:

للتعرف على المجموعات الوظيفية السطحية للقشور الرمان المعالجة كيميائيا نحلل عينة منها في جهاز المطيافية تحت الحمراء (FT-IR Spectrometer, Thermo Scientific Nicolet iS5)، بمجال مسح من 500 $cm^{-1}$ إلى 4000 $cm^{-1}$.

### 2-3- البنية السطحية:

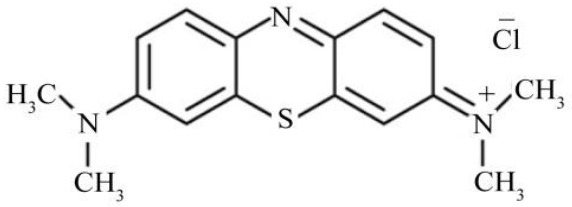
تؤثر بنية السطح للمواد المازة على عملية الامتزاز بشكل مباشر، ولكشف البنية السطحية للمادة المازة التي حضرناها قمنا بتحليل عينة منها باستعمال جهاز المجهر الالكتروني الماسح (SEM) الذي يعطي صورة مجهرية للعينة بأبعاد مختلفة.

## 3- تجارب الامتزاز:

### 3-1- تحضير محلول الصبغة:

لإنجاز تجارب الامتزاز يحضر محلول أساسي لصبغة أزرق الميثيلين تركيزه 500 mg/l وذلك بإذابة 0.5غ من مسحوق الصبغة في 1 لتر ماء مقطر، من خلال هذا المحلول يتم تحضير كل

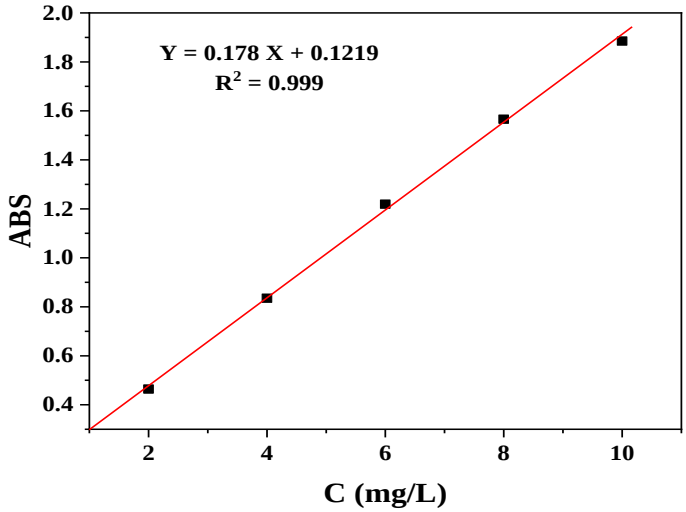
المحاليل اللازمة لتجارب الامتزاز وذلك عند طريق التخفيف حسب التركيز المطلوب لكل عملية، وعليه يعتبر محلول الصبغة بمثابة ماء ملوث بالصبغة يجرى عليه اختبار المادة المازة المحضرة كيميائيا من قشور الرمان لدراسة كفاءتها في ازالة الصبغة، وتعتبر صبغة أزرق الميثيلين (Methylene blue or basic blue-9) (MB) صبغة كاتيونية أحادية التكافؤ صيغتها الكيميائية ($C_{16}H_{18}N_3SCl$)، كتلتها المولية 319.85 g/mol ودرجة ذوبانها في الماء 35.5 g/l.




**الشكل(3-1):** الصيغة الكيميائية لصبغة أزرق الميثيلين (MB)

**3-2- المنحنى العياري لصبغة أزرق الميثيلين:**

يستعمل المنحنى العياري للصبغة كمرجع لحساب تركيز المحاليل بعد كل عملية امتزاز، وينجز من خلال قياس الامتصاصية (Absorbance) لمحاليل قياسية معلومة التركيز في جهاز المطيافية فوق البنفسجية والمرئية (UV-Visible) عند طول موجي 664 nm، يكون المنحنى خطيا بمعادلة معلومة تستعمل لحساب التراكيز المجهولة كما يوضحه الشكل التالي:




**الشكل(3-2):** المنحنى العياري لصبغة أزرق الميثيلين (MB)

**3-3- بروتوكول عملية الامتزاز:**

عمليات الامتزاز تجرى في مجموعة من البيشر ذات حجم 100 مل، حجم محلول الصبغة في كل بيشر حدد بـ 30 مل، بينما جرعة المادة المازة هي 5غ/ل أي في كل بيشر نضيف 0.15 مغ من المادة المازة، للعلم أن هذه الجرعة في جوار الجرعات المستعملة في الابحاث العلمية التي درست امتزاز صبغة أزرق الميثيلين بمواد مازة أصلها مخلفات زراعية. بعد اضافة كمية المادة المازة لمحلول الصبغة يرج المحلول في رجاج مغناطيسي بسرعة ثابتة (300 rpm)، وبعد نهاية الامتزاز يفصل محلول الصبغة عن المادة المازة ثم تؤخذ عينة من المحلول لقياس الامتصاصية في جهاز المطيافية فوق البنفسجية والمرئية (UV-Visible) عند طول موجي 664 nm، ومن ثم يحسب تركيز المحلول بالاعتماد على المنحنى العياري، ومن هنا تحسب كمية الامتزاز والمردود بتطبيق القوانين التالية:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} V \qquad (1)$$

$$R(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} 100 \qquad (2)$$

$C_0$: التركيز الابتدائي للصبغة في المحلول (mg/L).

$C_e$: تركيز الصبغة في المحلول بعد نهاية الامتزاز (mg/L).

V: حجم محلول الصبغة (L).

m: كمية المادة المازة (g).

$q_e$: الكمية الممتزة (mg/g).

R: مردود الامتزاز (%).

أما العوامل المؤثرة على عملية الامتزاز التي درست هي:

**3-3-1- تأثير الدليل الهيدروجيني pH:**

الدليل الهيدروجيني pH لمحلول الصبغة له تأثير على عملية الامتزاز وعليه ندرس هذا التأثير من خلال اجراء الامتزاز لمحاليل الصبغة مختلفة pH، أما بقية العوامل فهي موحدة وهي الجرعة، تركيز المحلول، درجة الحرارة، سرعة الرج، حجم المحلول وزمن التلامس المقدر بساعة واحدة، قيم pH المحلول التي أخذت هي 3، 5، 7، 9، 11، بمعنى قيمتين في المجال الحمضي وقيمتين في المجال القاعدي إضافة إلى الوسط المعتدل، يتم ضبط قيم pH المحلول بمحلولي HCl و NaOH المركزين (0.1 mol/l).

**3-3-2- تأثير زمن التلامس:**

زمن التلامس هو زمن عملية الامتزاز من بداية وضع المادة المازة للمحلول إلى غاية نهاية العملية وفصل المحلول عن المادة المازة، الهدف منه الوصول إلى زمن التوازن وهو الذي يمثل تقريبا زمن تشبع المادة المازة بالصبغة حيث تثبت تقريبا الكمية الممتزة $q_e$ مهما زاد زمن التلامس، وهو مهم جدا في عملية الامتزاز. لدراسة هذا العامل نجري الامتزاز لمجموعة محاليل موحدة الحجم، التركيز،

الجرعة، سرعة الرج، درجة الحرارة، pH المحلول مع زمن تلامس مختلف لكل محلول، مجال هذا الزمن حدد من 5 دقائق إلى ساعة واحدة.

**3-3-3- تأثير التركيز الأولي للصبغة:**

يؤثر التركيز الأولي للصبغة في المحلول على عملية الامتزاز، ولدراسة هذا التأثير تجرى عملية امتزاز لمجموعة محاليل بتراكيز مختلفة للصبغة تتروح بين 20 mg/l إلى 300 mg/l، أما بقية العوامل الأخرى فهي موحدة والمتمثلة في حجم المحلول، الجرعة، سرعة الرج، pH المحلول، درجة الحرارة وزمن التلامس.

**3-4- دراسة حركية الامتزاز:**

تُعدّ حركية الامتزاز عاملا هاما يحدد فعالية الامتزاز، وتصف حركية الامتزاز بشكل أساسي معدل امتزاز المذاب ومدة بقاء المواد الممتزة على سطح التماس بين الطورين الصلب والسائل. وتعتمد سرعة الامتزاز على عدد الجزيئات الممتزة على سطح المادة المازة في الثانية الواحدة، وعدد الجزيئات المتصادمة في وحدة المساحة في الثانية الواحدة. تصف حركية الامتزاز معدل احتجاز أو إطلاق المادة الممتزة من المحلول المائي إلى سطح الطور الصلب. في الامتزاز يُطبق تحليل خطي أو غير خطي للحركية، ويُستخدم مؤشر جودة المطابقة لتحديد النموذج الذي يصف العملية على أفضل وجه [41]. هذه الدراسة تعتمد على نتائج تأثير زمن التلامس، حيث توجد عدة نماذج لحركية الامتزاز لكن أهمها نجد:

**3-4-1- نموذج الرتبة الأولى الزائفة (Pseudo first order-Largergren model):**

يعتبر النموذج أن معدل التغير الحاصل في امتزاز المادة الممتزة عند زمن تفاعل معين يتناسب طرديا مع الفرق في التركيز ومعدل إزالة المادة الممتزة مع مرور الوقت، يعرف هذا النموذج أيضا باسم نموذج لارجغرين (**Largergren**)، ويمثل بالمعادلة التالية:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \qquad (3)$$

$q_{eq}$: كمية الامتزاز للمادة المازة عند الاتزان (mg/g).

$q_t$: كمية الامتزاز للمادة المازة عند اللحظة t (mg/g).

$k_1$: ثابت معدل الامتزاز من الرتبة الأولى الزائفة ($min^{-1}$) .

بعد إجراء التكامل للمعادلة وتطبيق الشروط الحدية ($t = 0 \rightarrow t,\ q_t = 0 \rightarrow q_e$) تصبح المعادلة بالشكل الخطي التالي:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303}t \qquad (4)$$

عند رسم $\log (q_e - q_t)$ مقابل t يعطي علاقة خطية يمكن من خلالها تحديد $k_t$ و $q_e$ من ميل ومقطع الرسم البياني [41].

**3-4-2- نموذج الرتبة الثانية الزائفة (Pseudo second order):**

تعبر معادلة معدل حركية الامتزاز للرتبة الثانية الزائفة على النحو التالي:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \qquad (5)$$

حيث $k_2$ هو ثابت معدل امتزاز الرتبة الثانية الزائفة (g.mg−1.min−1).

يصبح الشكل التكاملي للمعادلة لشروط الحدود ($t = 0 \rightarrow t,\ q_t = 0 \rightarrow q_e$) كما يلي:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2.{q_e}^2} + \frac{1}{q_e}t \qquad (6)$$

يعطي رسم $(t/q_t)$ بدلالة t علاقة خطية يمكن استخدام ميلها ومقطعها لتحديد $q_e$ و $k_2$ [41].

**- نموذج الانتشار داخل الجسيمات (Intra-particle diffusion):**

تم استخدام هذا النموذج على أساس النظرية التي اقترحها ويبر وموريس (Weber and Morris) لتحديد آلية الانتشار، وفقا لهذه النظرية تتغير الكمية الممتزة تناسبيًا تقريبًا مع الجذر التربيعي لوقت الاتصال t حسب العلاقة التالية:

$$q_t = k_{id}\sqrt{t} + I \qquad (7)$$

حيث يمثل $k_{id}$ ثابت معدل الانتشار داخل الجسيمات ($mg.g^{-1}.min^{-1/2}$) [18].

**3-5- إيزوتارم الامتزاز:**

تُعد منحنيات الامتزاز مهمة للغاية، إذ يُمكن استخلاص العديد من المعلومات منها مثل سعة الامتزاز والتفاعلات بين المادة المازة والمادة الممتزة. تمثل منحنيات الامتزاز برسم بياني يعبر عن كمية المادة الممتزة ($q_e$) وكمية نفس المادة المتبقية في المحلول عند التوازن ($C_e$) [42]. توجد عدة نماذج للامتزاز يُمكن استخدامها لوصف عملية الامتزاز أهمها:

**3-5-1- نموذج لانجمير (Langmuir):**

يفترض نموذج لانجمير أساسا أن الامتزاز يحدث في مواقع متجانسة محددة داخل المادة المازة، وبمجرد أن يشغل الممتز موقعا ما لا يمكن أن يحدث امتزاز إضافي في ذلك الموقع. يعد هذا النموذج مفيدا في التنبؤ بأداء المواد المازة المختلفة [41]. تعطى معادلة هذا النموذج بالعلاقة التالية:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \qquad (8)$$

$C_e$ : تركيز المادة الممتزة في المحلول عند التوازن (mg/L).

$q_e$: كمية المادة الممتزة عند التوازن (mg/g).

$q_m$: الكمية القصوى للامتزاز (mg/g).

$K_L$: ثابت لانجمير (L/mg).

لتكون المعادلة الخطية لهذا النموذج كما يلي:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \qquad (9)$$

ومن خلال المنحني البياني بين ($C_e/q_e$) و($C_e$) يتم حساب قيمة $q_m$ و $K_L$ [18].

### 3-5-2- نموذج فرندليش (Freundlich):

نموذج فرندليش هو نموذج امتزاز تجريبي يستخدم لشرح النظام في حالة السطح غير متجانس، الصيغة غير الخطية لهذا النموذج هي:

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \qquad (10)$$

حيث $K_f$ و n هما معاملا فرندليش [42]. أما المعادلة الخطية لهذا النموذج هي:

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n}\log C_e \qquad (11)$$

ومن خلال المنحني البياني بين (Log $q_e$) و (Log $C_e$) يتم حساب قيمة $K_f$ و n [18].

### 3-5-3- نموذج تيمكن (Temkin):

يفترض نموذج تيمكن أن حرارة امتزاز جميع الجزيئات تتناقص خطيا مع زيادة تغطية الجزيئات بسبب التنافر بين جزيئات المادة الممتزة، وأن امتزاز المادة الممتزة موزع بانتظام [42]. معادلة هذا النموذج هي:

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \qquad (12)$$

حيث A يمثل ثابت ربط التوازن (L/g) وB ثابت تيمكن، تحسب قيمتهما من خلال رسم المنحنى البياني بين($q_e$) و ($Ln\ C_e$) [18].

# الفصل الرابع

# النتائج والمناقشة

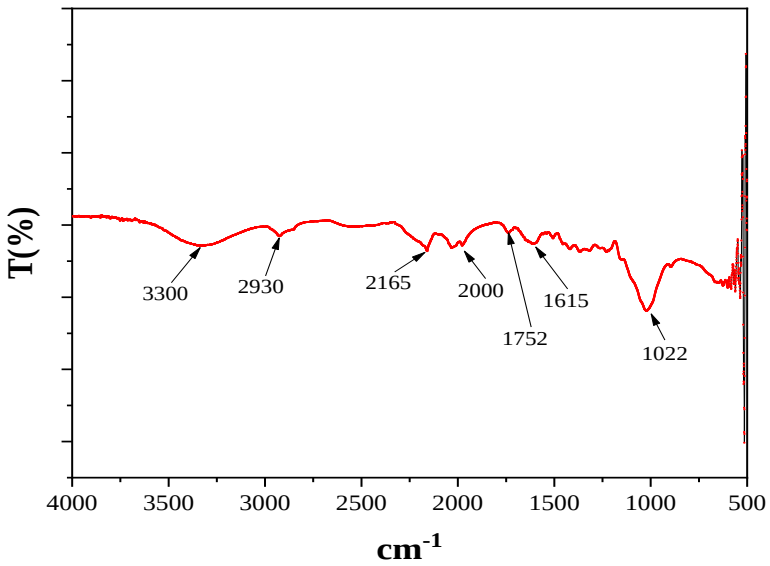
## 1- تشخيص المادة المازة:

### 1-1- فقدان الكتلة الحيوية :

بعد عملية تحضير المادة المازة وجد ناتج فقدان الكتلة الحيوية 86.33%، وتعتبر هذه النسبة كبيرة جدا أي أن الكمية المتحصل عليها بعد التحضير هي 13.66% فقط من الكمية الابتدائية، ولكن بالنظر إلى مكونات قشور الرمان فتعتبر النسبة المفقودة معقولة خاصة مع عامل المادة المعالجة NaOH الذي لعب دور كبير في ازالة بعض هذه المكونات، خاصة اللجنين والهميسيليلوز وبعض المعادن [43].

### 1-2- المجموعات الوظيفية السطحية :

بعد تحليل عينة من المادة المازة المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم في جهاز المطيافية تحت الحمراء تحصلنا على الطيف الموضح في الشكل (4-1):




**الشكل(4-1):** طيف الأشعة تحت الحمراء لقشور الرمان المعالجة بـ NaOH

من خلال الشكل نلاحظ عدة قمم امتصاص أبرزها:

- قمة عريضة في جوار $3300cm^{-1}$ تشير إلى تمدد الرابطة بين الأكسجين والهيدروجين في مجموعة الهيدروكسيل (O–H).

- امتصاص عند $2930cm^{-1}$ يشير إلى تمدد مجموعة (C–H).

- قمم بين $2000cm^{-1}$ و $2165cm^{-1}$ تشير إلى تردد الرابطة الثلاثية (–C≡C–).

- قمة عند $1615cm^{-1}$ تعود إلى وجود مجموعة (C=O) في المنطقة العطرية.

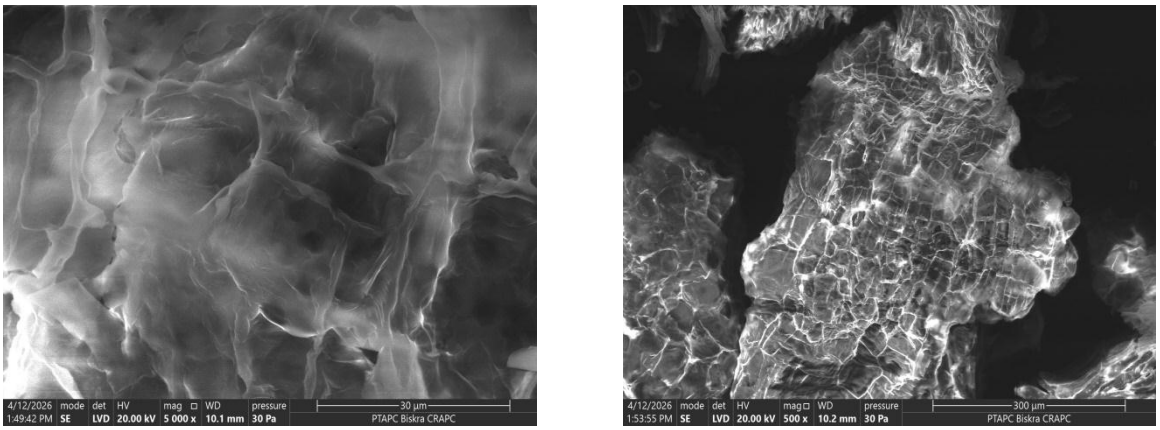
- قمة عند $1752cm^{-1}$ تعود إلى وجود مجموعة (C=C) في المنطقة العطرية.

- امتصاص عريض وبارز عند $1022cm^{-1}$ يشير إلى تمدد (C–O).

وتشير هذه المعطيات إلى أن المادة المازة تحتوي على مجموعات وظيفية كالهيدروكسيد والكربوكسيل، هذه المجموعات يمكن أن يكون لها دور في عملية الامتزاز [44،45،46].

**1-3- البنية السطحية :**

نتائج صور المادة المازة بالمجهر الالكتروني الماسح (SEM) موضحة في الشكل (4-2):



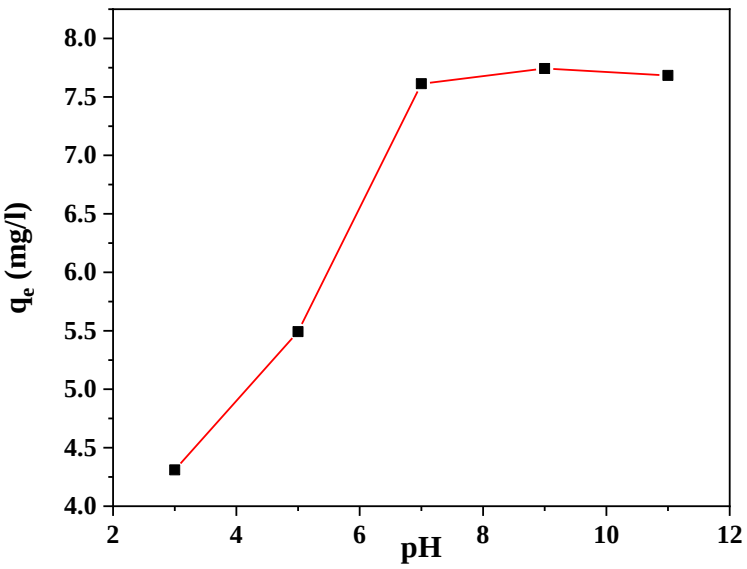

**الشكل(4-2):** صور (SEM) للمادة المازة

من خلال الصورتين نلاحظ أن سطح المادة يبدو بشكل مسامي وهذا ما يساعد في عملية الامتزاز، ولهيدروكسيد الصوديوم دور في تحسين الهيكل السطحي وانتاج سطح مسامي وبالتالي تحسين المساحة السطحية للمادة [47]، وهذا من خلال نزع بعض المكونات أو جزء منها وهو ما سجلناه في نسبة فقدان الكتلة الحيوية.

## 2- تأثير العوامل على الامتزاز:

### 2-1- تأثير الدليل الهيدروجيني pH :

نتائج تأثير الدليل الهيدروجيني pH لمحلول الصبغة على عملية امتزاز صبغة أزرق الميثيلين بواسطة قشور الرمان المعالجة بـ NaOH موضحة في الشكل(4-3):



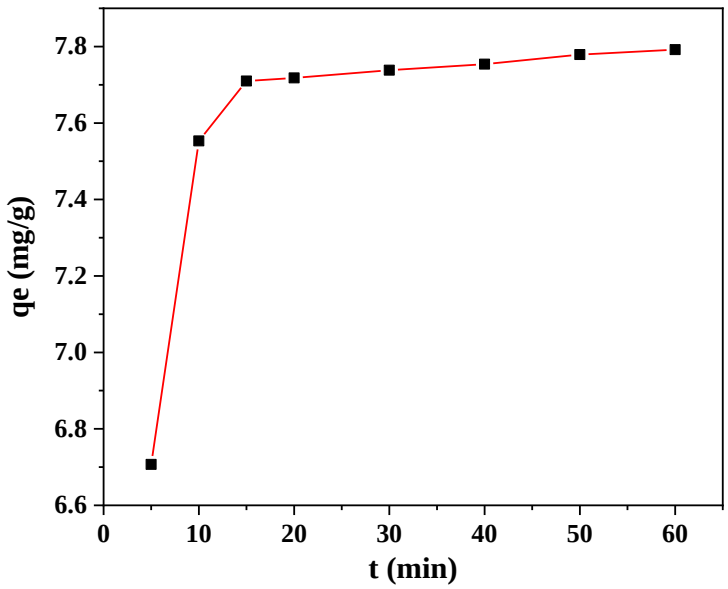

**الشكل(4-3):** تأثير الـ pH على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

($C_0$=40mg/L, m=5g/L, T= 25°C, t=1h)

يبين الشكل أن كمية الامتزاز للصبغة تزيد مع زيادة قيم الدليل الهيدروجيني pH في المجال من 3 إلى 7، أما في المجال من 7 إلى 11 كمية الامتزاز تقريبا متقاربة، أي أن المجال القاعدي يكون فيه الامتزاز كبير مقارنة بالامتزاز في المجال الحمضي، مع العلم أن pH محلول الصبغة في الحالة الطبيعية بدون تعديل هو 6.89 تقريبا وبالتالي يكون مناسب لامتزاز مثالي، وعليه بقية تجارب الامتزاز تجرى بدون تعديل وسط المحلول. ويفسر انخفاض الامتزاز في الوسط الحمضي بوجود زيادة في شوارد $H^+$ التي تدخل في تنافس على الامتزاز مع المجموعات الكاتيونية لصبغة أزرق الميثيلين [48،49].

**2-2- تأثير زمن التلامس :**

يوضح الشكل(4-4) نتائج تأثير زمن التلامس على امتزاز صبغة أزرق الميثيلين بواسطة قشور الرمان المعالجة كيميائيا بهيدروكسيد الصوديوم NaOH.



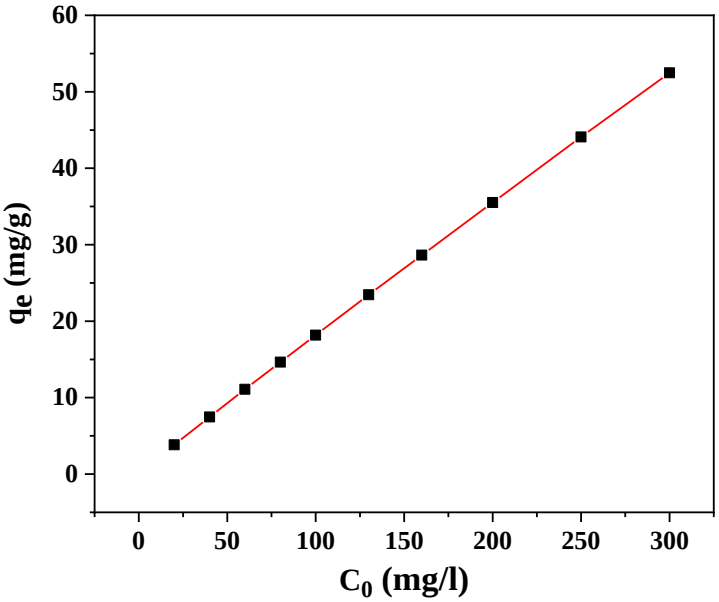

**الشكل(4-4):** تأثير زمن التلامس على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

($C_0$=40mg/L, m=5g/L, T= 25°C, pH=6.89)

من خلال المنحنى نلاحظ أن الكمية الممتزة للصبغة ($q_e$) تزيد مع زيادة الزمن عموما، لكن نسجل زيادة سريعة في المرحلة الأولى بين 5 و 15 دقيقة لتبلغ 7.71 mg/g بعد 15 دقيقة فقط، أما من 15 دقيقة إلى غاية 60 دقيقة لا نلاحظ تغير كبير في كمية الامتزاز حيث بلغت 7.792 mg/g بعد 60 دقيقة، أي أنه في هذه المرحلة تقريبا كمية الامتزاز متقاربة جدا، وهذا يدل على الوصول إلى مرحلة التشبع والتي تثبت فيها كمية الامتزاز. وتفسر الزيادة السريعة لكمية الامتزاز في المرحلة الأولى بوجود تراكم للصبغة على سطح قشور الرمان المعالجة [50].

**2-3- تأثير التركيز الأولي للصبغة :**

نتائج تأثير التركيز الأولي لصبغة أزرق الميثيلين على امتزازها بواسطة قشور الرمان المعالجة مبينة في الشكل(4-5):




**الشكل(4-5):** تأثير التركيز الأولي للصبغة على امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

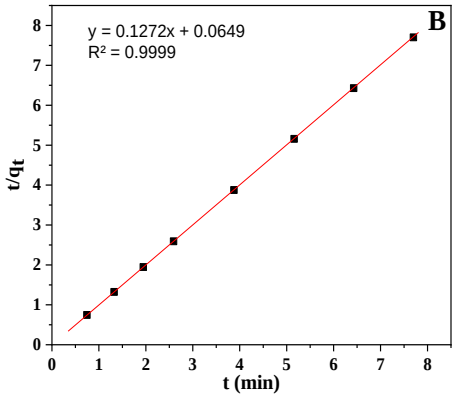
(t=60min, m=5g/L, T= 25°C, pH=6.89)

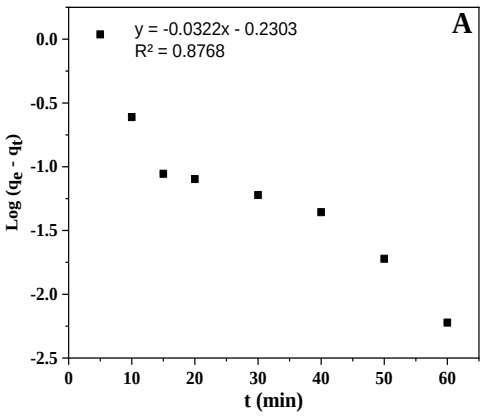
من خلال الشكل نلاحظ أن كمية الامتزاز تزيد مع الزيادة في التركيز الابتدائي للصبغة، حيث بلغت 52.47 mg/g عند تركيز أولي قدره 300 mg/l، ويعود هذا إلى الزيادة في القوة الدافعة لنقل الجزيئات من محلول الصبغة إلى السطح الماز [51]. توضح الصورة (4-1) الفرق بين تركيز الصبغة الابتدائي (300 mg/l) والنهائي بعد الامتزاز (37.562 mg/l).

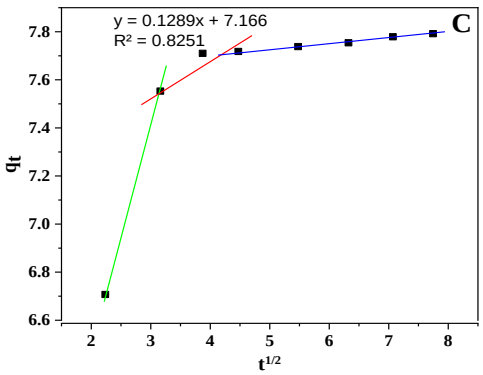
**الصورة (4-1):** التركيز الابتدائي للصبغة 300 mg/l (A) وبعد الامتزاز 37.56 mg/l (B)

### 3- حركية الامتزاز:

بالاعتماد على نتائج تأثير زمن التلامس ندرس حركية الامتزاز من خلال النماذج المقترحة، في هذه الدراسة طبقنا ثلاث نماذج لحركية الامتزاز وهي نموذج الرتبة الأولى الزائفة، نموذج الرتبة الثانية الزائفة و نموذج الانتشار داخل الجسيمات، النتائج المتحصل عليها موضحة في الشكل (4-6).




**الشكل(4-6)**: نموذج الرتبة الأولى (A)، الرتبة الثانية (B) والانتشار داخل الجسيمات (C) لإمتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

من خلال المعادلات الموضحة في المنحنيات نحسب مقادير الدراسة الحركية ونلخصها في الجدول (4-1). تبين نتائج الجدول أن نموذج الرتبة الثانية هو المناسب لعملية الامتزاز هذه من خلال قيمة معامل الارتباط $R^2$ (0.999) والقريبة من الواحد عكس بقية النماذج، و ما يدعم هذا كذلك قيمة كمية الامتزاز المحسوبة في هذا النموذج $q_{e,cal}$ المقدرة بـ 7.861 mg/l والقريبة من قيمة كمية الامتزاز العملية $q_{e,exp}$ (7.792 mg/l). بالنسبة لنموذج الانتشار داخل الجسيمات نلاحظ المراحل الثلاثة المختلفة لعملية الامتزاز وهي المرحلة الأولى وتمثل مرحلة الانتشار الخارجي السريع أو الامتزاز السطحي، المرحلة الثانية وتمثل الامتزاز التدريجي التي يتحكم فيها الانتشار داخل الجسيمات، المرحلة

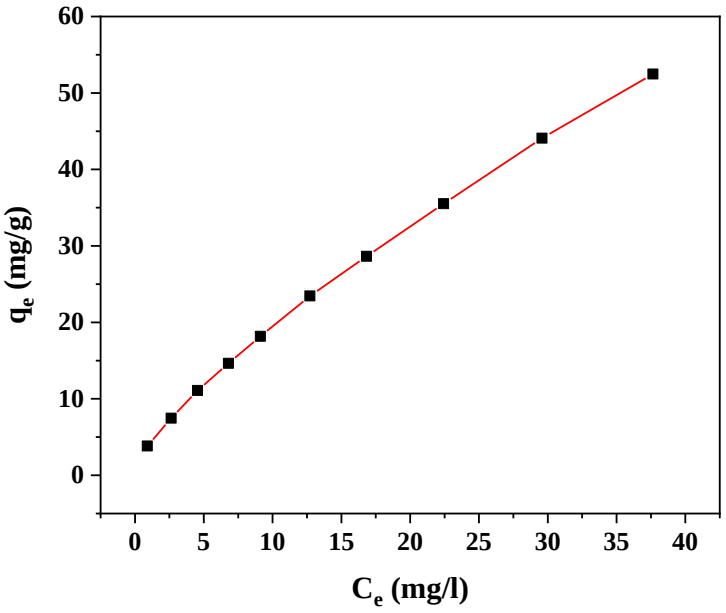
الثالثة هي مرحلة التوازن حيث بدأ الانتشار داخل الجسيمات في التباطؤ بسبب التركيزات المنخفضة للصبغة في المحلول [51].

**الجدول (4-1):** نتائج الدراسة الحركية لامتزاز صبغة (MB) على قشور الرمان المعالجة كيميائيا

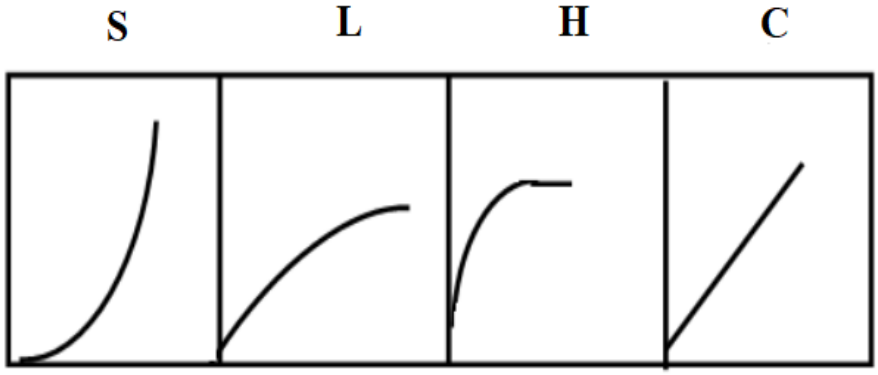
| النماذج | المقادير | القيم |
|---|---|---|
| | $q_{e,exp}$ (mg/g) | 7.792 |
| الرتبة الأولى (pseudo-first-order) | $q_{e,cal}$ (mg/g) | 0.588 |
| | $k_1$ ($min^{-1}$) | 0.074 |
| | $R^2$ | 0.876 |
| الرتبة الثانية (pseudo-second-order) | $q_{e,cal}$ (mg/g) | 7.861 |
| | $k_2$ (g/mg.min) | 0.249 |
| | $R^2$ | 0.999 |
| الإنتشار داخل الجسيمات (Intraparticle diffusion) | I | 7.166 |
| | $k_{id}$ ($mg/g.min^{1/2}$) | 0.128 |
| | $R^2$ | 0.825 |

## 4- ايزوتارم الامتزاز:

ايزوتارم الامتزاز الذي يعبر عن العلاقة بين الكمية الممتزة $q_e$ والتركيز عند التوازن $C_e$ موضح في الشكل (4-6)، بالرجوع إلى أصناف ايزوتارم الامتزاز وبالضبط تصنيف غيلز (GILES) الموضح في الشكل (4-7) نلاحظ أن شكل الايزوتارم يتوافق مع الصنف L، حيث عند التركيزات المنخفضة في المحلول تظهر منحنيات الامتزاز من الفئة L انخفاضا نحو الأسفل، مما يعكس انخفاضا في المواقع الحرة مع تقدم عملية الامتزاز. تحدث هذه الظاهرة عندما تكون قوى التجاذب بين الجزيئات الممتزة ضعيفة [52].



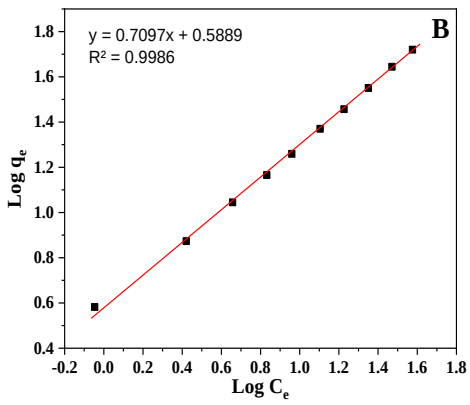

**الشكل (4-7):** ايزوتارم امتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

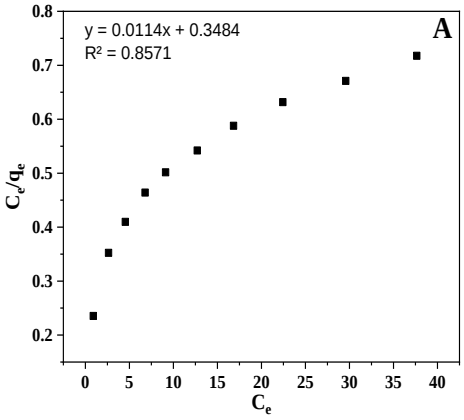


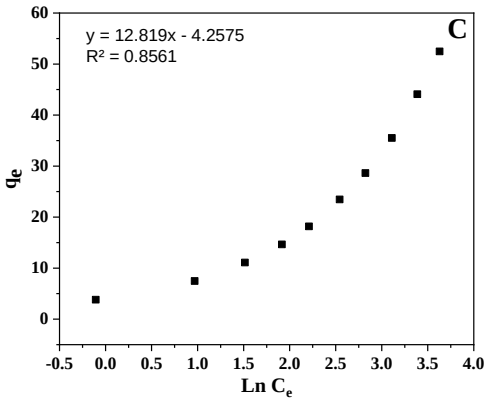

**الشكل(4-8):** تصنيف غيلز (GILES) لايزوتارم الامتزاز [52].

**4-1- دراسة نماذج الامتزاز:**

توضح المنحنيات الموالية النماذج المطبقة على نتائج امتزاز صبغة أزرق الميثيلين بواسطة قشور الرمان المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم وهي نماذج لانغمير، فرندليش وتيمكن.




**الشكل (4-9):** نموذج لانغمير (A)، فرندليش (B) وتيمكن (C) لإمتزاز صبغة (MB) بقشور الرمان المعالجة كيميائيا

من خلال المعادلات الموضحة في المنحنيات نحسب مقادير الخاصة بدراسة ايزوتارم الامتزاز ونلخصها في الجدول (4-2)، تبين نتائج الجدول أن ايزوتارم فرندليش هو الأنسب لعملية الامتزاز بمعامل ارتباط $R^2$ كبير (0.998) مقارنة بالنماذج الأخرى، أما نموذج لانغمير فيشير إلى كمية امتزاز قصوى $q_m$ قدرها 87.71 mg/g، وهي كمية معتبرة مقارنة بمواد زراعية أخرى مثل قشور الفول السوداني المعالجة بـ NaOH ($q_m$= 44.43 mg/l) مع صبغة أزرق الميثيلين [53]، و كذلك وريقات سعف النخيل المعالجة بـ NaOH ($q_m$= 79.36 mg/l) مع صبغة أزرق الميثيلين [18].

**الجدول (4-2):** نتائج دراسة الايزوتارم لامتزاز صبغة (MB) على قشور الرمان المعالجة كيميائيا

| الايزوتارم | المقدار | القيم |
|---|---|---|
| لانغمير Langmuir | $q_m$ (mg/g) | 87.71 |
| | $K_L$ (L/mg) | 0.032 |
| | $R^2$ | 0.857 |
| فرندليش Freundlich | $K_F$ (mg/g(L/mg)$^{1/n}$) | 3.881 |
| | N | 1.409 |
| | $R^2$ | 0.998 |
| تيمكن Temkin | B | 12.81 |
| | A | 0.717 |
| | $R^2$ | 0.856 |

# خـــــاتـــمـــة

# خاتمة

ختامًا، يتضح من خلال هذه الدراسة أن مشكلة تلوث المياه تُعد من أبرز التحديات البيئية التي تهدد صحة الإنسان والتوازن البيئي، مما يستوجب البحث المستمر عن حلول فعالة، اقتصادية، ومستدامة لمعالجتها. وقد بينت هذه الدراسة أن استغلال المخلفات الزراعية، خاصة قشور الرمان، يُعد من بين الحلول الواعدة في مجال معالجة المياه الملوثة، نظرًا لاحتوائها على مكونات فعالة وقدرتها الكبيرة على امتزاز العديد من الملوثات، بما في ذلك المعادن الثقيلة والأصباغ. كما أظهرت النتائج أن استخدام هذه المادة الطبيعية لا يساهم فقط في تحسين جودة المياه، بل يحقق أيضًا قيمة بيئية واقتصادية من خلال إعادة تدوير النفايات الزراعية وتحويلها إلى مواد نافعة بدل التخلص منها بطرق قد تضر بالبيئة.

من خلال هذه الدراسة التي حضرنا فيها مادة مازة من قشور الرمان بعد معالجتها كيميائيا بهيدروكسيد الصوديوم توصلنا إلى أن هذه المادة تمتاز ببنية مسامية وتحتوي على مجموعات وظيفة تكسبها قدرة امتزازية، وبعد تطبيقها في امتزاز صبغة أزرق الميثيلين من الماء تحصلنا على نتائج جيدة لكمية الازالة حيث قدرة بـ 87.71 mg/g حسب نموذج لانغمير، كما توافقت نتائج الامتزاز مع نموذج الرتبة الزائفة الثانية بالنسبة للدراسة الحركية ونموذج فرندليش بالنسبة لايزوتارم الامتزاز.

من خلال هذا العمل، تم التأكيد على أهمية التوجه نحو التقنيات الخضراء التي تعتمد على الموارد الطبيعية المحلية، لما لها من دور في تقليل تكاليف المعالجة والحد من الآثار البيئية السلبية للمواد الكيميائية الصناعية. كما تبرز هذه الدراسة أهمية تشجيع البحث العلمي في مجال تطوير المواد المازة الحيوية وتحسين مردوديتها لتصبح أكثر كفاءة وقابلية للتطبيق على نطاق واسع. وفي الأخير، يمكن اعتبار قشور الرمان نموذجًا ناجحًا للاستفادة من المخلفات الزراعية في حماية الموارد المائية، مما يفتح آفاقًا مستقبلية واعدة نحو تبني حلول بيئية مبتكرة ومستدامة تسهم في مواجهة أزمة تلوث المياه وتحقيق التنمية البيئية المنشودة..

# قائمة المصادر والمراجع

## المراجع العربية:

[2] بن سعد هواري، بن محمد عامر، المسؤولية الدولية على أساس المخاطر: الضرر البيئي انموذجاً، مذكرة مكملة لنيل شهادة الماستر في الحقوق، تخصص قانون عام، كلية الحقوق، جامعة بلحاج بوشعيب عين تموشنت، السنة 2023-2024.

[3] ناصر رمضان عبد السيد ، وإبراهيم بن محمد عارف، ومحمد عبد العال محمد، المخلفات النباتية الزراعية واستخداماتها في الصناعات الخشبية في المملكة العربية السعودية، الجمعية السعودية للعلوم الزراعية، جامعة الملك سعود، الرياض، الطبعة الأولى، سنة 1433هـ, ص 8-9.

[4] قسم الهندسة الزراعية، ميكنة المخلفات الزراعية: إدارة المخلفات والسماد العضوي المكمور. محاضرات قسم الهندسة الزراعية.

[5] م. د نجاح صالح هادي، تقييم ملوثات مياه جدول سعدية الشط في قضاء الخالص، مجلة ديالى للبحوث الإنسانية الأول 2023: 390، 394-396.

[6] مطير انتصار بديع، الجهات المسؤولة عن تلوث مياه البصرة ومدى مسؤوليتها المدينة، مجلة كلية التربية، جامعة واسط، المجلد 1، العدد45، الجزء1، جمهورية العراق، 30 نوفمبر 2021، ص621.

[7] قراوي حمزة، ودليمي عبد الحميد، تلوث الماء وانعكاساته على صحة الإنسان، مجلة الباحث الاجتماعي، العدد 12، 2016، ص 150.

[9] غنيمي طارق، التصدي لمخاطر تلوث المياه في التشريع الجزائري، المجلة الجزائرية للحقوق والعلوم السياسية، المجلد 7، العدد 2، 2022، ص 163-179.

[11] المقدادي كاظم، حماية البيئة البحرية، مركز الكتاب الأكاديمي، 2016، ص33.

[13] سراوي مبروك، استخدام الطين المحلي من منطقة تقرت في تقنية مياه الصرف الصحي. أداء التنقية والظروف المثلى، أطروحة لنيل شهادة دكتوراه، كلية الرياضيات وعلوم المادة، قسم الكيمياء، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة، 2020.

[15] عصام محمد عبد الماجد أحمد، و آخرون، الفضلات السائلة – الجزء الأول، دار جامعة السودان للنشر والطباعة والتوزيع، 2000، ص 33–35.

[17] بابا فيصل علي محمد، تلوث المياه: الأسباب والتأثيرات والحلول: مراجعة نقدية. مجلة العلوم والدراسات الإنسانية– المرج، جامعة بنغازي، ليبيا، ص 9.

[18] زغود العيد، المساهمة في تثمين ألياف النخيل– التطبيق في إزالة بعض الملوثات من وسط مائي، أطروحة لنيل شهادة الدكتوراه علوم، هندسة طرائق، كلية العلوم التطبيقية، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، سنة 2021.

[24] طبشي سارة، خلف آية، تليلي فاطمة الزهراء، استعمال المخلفات الزراعية في إزالة تلوث الماء بالامتزاز، دراسة نظرية، جامعة الوادي، سنة 2022، ص16.

[37] يحيى، م.أ، منصور، م.ح، ذو القرنيني، و.أ.و، روسلي، ن.س، أمين الدين، أ، محمد، ك، ... و عزير، ل.ن (يونيو 2018). مراجعة موجزة عن الكربون المنشط المشتق من المنتجات الثانوية الزراعية. في *وقائع مؤتمر AIP* (المجلد 1972، العدد 1، ص 030023). دار نشر. AIP

## المراجع الأجنبية:

[1] Halder, J. N., & Islam, M. N. (2015). Water pollution and its impact on the human health. Journal of environment and human, 2(1), 36-46.

[8] Mulay, M. R., & Martsinovich, N. (2022). Water pollution and advanced water treatment technologies. In The Palgrave Encyclopedia of Urban and Regional Futures (pp. 2184-2200). Cham: Springer International Publishing..

[10] RAM, M. K. (2024). Impact of Water Pollution on Human Health and Environment and Its Remedial Techniques: A Review. INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH, 11(12), 674-683.

[12] Kumar, M., & Mishra, G. V. (2024). Causes and impacts of water pollution on various water bodies in the state of Rajasthan, India: a review. Environment and Ecology, 42(2A), 645-654.

[14] Patel J.Ravliya U. et al. (2023). Water pollution and its impact on health. International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR). 10(2).p 307-310.

[16] Naveen Kumar. (2022). Consequences of Water Pollution. International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT). 10(8).d984-d986.

[19] Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Ogedengbe, T. S., Kazeem, R. A., & Ogundipe, A. T. (2022). Waste pollution, wastewater and effluent treatment methods–an overview. Materials Today: Proceedings, 62, 3282-3288.

[20] Water Research Commission. (2016). Wastewater Treatment Technologies: A Basic Guide. Water Research Commission: Gezina, South Africa.

[21] Pakharuddin, N. H., Fazly, M. N., Ahmad Sukari, S. H., Tho, K., & Zamri, W. F. H. (2021, October). Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 880, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.

[22] Mishra, R. K., Mentha, S. S., Misra, Y., & Dwivedi, N. (2023). Emerging pollutants of severe environmental concern in water and wastewater: A comprehensive review on current developments and future research. Water-Energy Nexus, 6, 74-95..

[23] Chaouch, N. (2014). Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées. Thèse de doctorat en science, spécialité chimie. Université Hadj Lakhdar-Batna.

[25] Gonçalves, J. O., Leones, A. R., de Farias, B. S., da Silva, M. D., Jaeschke, D. P., Fernandes, S. S., ... & Pinto, L. A. D. A. (2025). A comprehensive review of agricultural residue-derived bioadsorbents for emerging contaminant removal. *Water*, *17*(14), 2141.

[26] Basera, P., Chakraborty, S., & Sharma, N. (2024). Lignocellulosic biomass: insights into enzymatic hydrolysis, influential factors, and economic viability. *Discover Sustainability*, *5*(1), 311.

[27] TEREA, H. (2023). *Application of cellulose/ZnO nanocomposite on the removal of toxic pollutants from aqueous solutions* (Doctoral dissertation).

[28] Noor, A., & Khan, S. A. (2023). Agricultural wastes as renewable biomass to remediate water pollution. *Sustainability*, *15*(5), 4246.

[29] Benoit arnoul -jarriault, Extraction des hémicelluloses de pates papetières pour la production de pâte à dissoudre,Thèse doctorat , Spécialité:Mécanique des fluides,Energétique,Procédés,L'ecol doctorale ingénirie – matériauxmécanique,énergétique,environnement ,procédés de production ,Université grenoble alpes 2015

[30] Thakur, V., Sharma, E., Guleria, A., Sangar, S., & Singh, K. (2020). Modification and management of lignocellulosic waste as an ecofriendly biosorbent for the application of heavy metal ions sorption. *Materials Today: Proceedings*, *32*, 608-619 .

[31] Afroze, S., &Sen, T. K. (2018). A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents. Water, Air, &Soil Pollution, 229, 1-50

[32] Afroze, S., &Sen, T. K. (2018). A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents. Water, Air, &Soil Pollution, 229, 1-50

[33] Thakur, V., Sharma, E., Guleria, A., Sangar, S., & Singh, K. (2020). Modification and management of lignocellulosic waste as an ecofriendly biosorbent for the application of heavy metal ions sorption. *Materials Today: Proceedings*, *32*, 608-619

[34] Arora, J., Ramawat, K. G., & Mérillon, J. M. (2023). Disposal of agricultural waste and its effects on the environment, production of useful metabolites and energy: Potential and challenges. In *Agricultural waste: Environmental impact, useful metabolites and energy production* (pp. 3-20). Singapore: Springer Nature Singapore.

[35] Agricultural Wastes as Renewable Biomass to Remediate Water Pollution

[36] Noor, A., & Khan, S. A. (2023). Agricultural wastes as renewable biomass to remediate water pollution. *Sustainability*, *15*(5), 4246..

[38] Javedan, I. A., & Sillanpää, M. Zoha Heidarinejad, Mohammad Hadi Dehghani, Mohsen Heidari, Gholamali.

[39] Luka, Y., Highina, B. K., & Zubairu, A. (2018). The promising precursors for development of activated carbon: Agricultural waste materials-A review. *Journal Impact Factor*, *3*, 46.

[40] Liu, G., Dai, Z., Liu, X., Dahlgren, R. A., & Xu, J. (2022). Modification of agricultural wastes to improve sorption capacities for pollutant removal from water–a review. *Carbon Research*, *1*(1), 24.

[41] MUSAH, Monday, AZEH, Yakubu, MATHEW, John T., *et al.* Adsorption kinetics and isotherm models: a review. *CaJoST*, 2022, vol. 4, no 1, p. 20-26.

[42] KHAN, Muhammad Imran, LASHARI, Mushtaq Hussain, KHRAISHEH, Majeda, *et al.* Adsorption kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of Eosin-B onto anion exchange membrane. *Desalination and Water Treatment*, 2019, vol. 155, p. 84-93.

[43] DJILALI, Yamina, ELANDALOUSSI, El Hadj, AZIZ, Abdallah, *et al.* Alkaline treatment of timber sawdust: a straightforward route toward effective low-cost adsorbent for the enhanced removal of basic dyes from aqueous solutions. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2016, vol. 20, p. S241-S249.

[44] UDDIN, Md Tamez, RAHMAN, Md Arifur, RUKANUZZAMAN, Md, *et al.* A potential low cost adsorbent for the removal of cationic dyes from aqueous solutions. *Applied Water Science*, 2017, vol. 7, no 6, p. 2831-2842.

[45] ZHANG, Wenxuan, YAN, Han, LI, Haijiang, *et al.* Removal of dyes from aqueous solutions by straw based adsorbents: Batch and column studies. *Chemical Engineering Journal*, 2011, vol. 168, no 3, p. 1120-1127.

[46] BELALA, Zohra, JEGUIRIM, Mejdi, BELHACHEMI, Meriem, *et al.* Biosorption of basic dye from aqueous solutions by Date Stones and Palm-Trees Waste: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Desalination*, 2011, vol. 271, no 1-3, p. 80-87.

[47] CALERO, Monica, PÉREZ, Antonio, BLÁZQUEZ, Gabriel, *et al.* Characterization of chemically modified biosorbents from olive tree pruning for the biosorption of lead. *Ecological engineering*, 2013, vol. 58, p. 344-354.

[48] ETIM, Ubong Jerome, UMOREN, Saviour Alphonsus, et EDUOK, Ubong M. Coconut coir dust as a low cost adsorbent for the removal of cationic dye from aqueous solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2016, vol. 20, p. S67-S76.

[49] EL-SAYED, Gamal Owes. Removal of methylene blue and crystal violet from aqueous solutions by palm kernel fiber. *Desalination*, 2011, vol. 272, no 1-3, p. 225-232.

[50] GOUAMID, M. O. M. R., OUAHRANI, M. R., et BENSACI, M. B. Adsorption equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using date palm leaves. *Energy procedia*, 2013, vol. 36, p. 898-907.

[51] ÖZSIN, Gamzenur, KILIÇ, Murat, APAYDIN-VAROL, Esin, *et al.* Chemically activated carbon production from agricultural waste of chickpea and its application for heavy metal adsorption: equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Applied water science*, 2019, vol. 9, no 3, p. 56.

[52] NAIDJA, LAMRI. Elimination du colorant orange II en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption. *Universite Mentouri de Constantine*, 2010.

[53] ZEGHOUD, Laid, SEGHIR, Bachir Ben, AMOR, Ilham Ben, *et al.* Adsorption mechanisms of methylene blue on alkali-activated peanut shells: kinetic, isotherm, and thermodynamic studies. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 2026, p. 1-22