



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي-

كلية التكنولوجيا

مذكرة نهاية الدراسة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

ميدان : التكنولوجيا

شعبة: هندسة الطرائق

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد الطالبات:

نصرات نرجس

خلافه أسماء

الموضوع

تطوير أفلام حيوية ماصة من النفايات ذات مصدر حيواني / مصدر نباتي

نوقشت في:/...../2024

أمام لجنة المناقشة:

جامعة الوادي

مشرفا ومقررا

أستاذ مساعد (ب)

زغود سمية

جامعة الوادي

مساعد مشرف

أستاذ محاضر (أ)

همامي هادية

الموسم الجامعي: 2024/2023

شكراً وبقدرتك مائة شهادة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين..

«كن عالماً... فإن لم تستطع فكن متعلماً، فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم»

يسرّني أن أتقدم بخالص الشكر والتقدير والعرفان لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث

أولاً: الشكر والتقدير لأساتذتي الكرام:

الدكتورة سميرة زغود: مشرفة البحث، على توجيهاتها السديدة ونصائحها القيّمة، وعلى صبرها الدؤوب وتحملها لتساؤلاتنا وملاحظاتنا خلال مراحل إعداد البحث. لأستاذة الدكتورة المساعدة هامي هاديّة: على دعمها المستمر وتشجيعها الدائم، وعلى مساعدتها لي في فهم بعض جوانب البحث وتذليل الصعاب التي وجّهتها

الدكتورة إلهام بن عمر: على ملاحظاتها القيّمة التي ساعدتنا على تحسين البحث، وعلى مساعدتها لنا في تنسيقه وتنظيمه

كما أوجه الشكر إلى رئيس وأستاذة القسم على تكلّوبهم

ثانياً: الشكر والتقدير لفريق العمل في المخبر:

الدكتور ربيع عبد الكريم: مدير المخبر، على منحنا فرصة العمل في مخبره، وعلى توفير جميع الإمكانيات اللازمة لإنجاز البحث ومسؤولية المخبر "السيدة بشيرة...."

ثالثاً: الشكر والتقدير للعائلة والأصدقاء:

أتقدم بخالص الشكر والتقدير لعائلتنا وأصدقائنا الذين وقفوا بجانبنا خلال رحلة إعداد البحث، وقدموا لنا الدعم النفسي والمعنوي.

ختاماً: نسأل الله تعالى أن يوفّقنا في مسيرتنا العلمية وأن يجعلها نفعاً للإسلام والمسلمين.

مع خالص الشكر والتقدير والعرفان.

أسماء خلايفه

نرجس نصرات



الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

{وَأَخِرُّ دَعْوَاهُمْ أَنْ اِحْمَدُنِي رَبُّ الْعَالَمِينَ}

ها أنا اليوم أرفع قبعة التخرج واحصد ثمار التعب الحمد لله الذي أكرمني ومنا علي

بالتوفيق ونجاح أهدي ثمرة جهدي:

إلى الشمس التي أضأت دربي، والدافع وراء كل إنجازي، مع كل حرف كتبت وكل فكرة ابتكرتها، تذكرتُ دعمها وتشجيعها، وثقتها الدائمة بقدراتي، فكانت مصدر إلهام لي في كل خطوة. أمسي "حياة خلايفه" حفصها الله. إلى من علّمني معنى الحياة ومعنى النجاح، سندي وظلّي احارس، أبسي "ادريس خلايفه" اطال الله في عمره. إلى من يُشدُّ به عضدي اخوتي "محمد الحبيب"، محمد لمين، يعقوب" إلى المؤسسات الغاليات أخواتي "بحانة، ايمان"، اسيل "رعاهم الله ووفقهم"، إلى اساتذتي وصديقاتي إلى الذين أحمل لهم المحبة في قلبي.

إلى كل هؤلاء أهديهم هذا العمل المتواضع، سائلة الله السميع العليم أن ينفعنا به ويمدنا بتوفيقه.

خلايفه أسماء

الاهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

{ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ وَرَجَحَتْ وَ إِنَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ }

إذا كان الإهداء جزءاً من الوفاء فأهدي عملي هذا إلى من تحلّت غربة الزوج

وكانت لي أبا وأما إلى من هي في الحياة حياة إليك يا روعي ينحني القلب حباً وامتناناً إليك أمّاه "سمية سعيد"

أطال الله في عمرها ، إلى أبتني يا من تلذّذت مرارة الغربة في سبيلنا سندي وضلّي احارس "حسين نصرات"

فاحفظه لي يا رب ، إلى من يثدُّ به عضدي صدريقي وأخي الأكبر "عبد الوهاب" إلى من أحبه فوق المحبين حباً "

المهادي" إلى أصغرهم " نصر الدين" ، إلى المونسات الغاليات أختاي التوأم "صفية وبيمن" ، إلى خالاتي "سعيدة

ونعيبة وامال "إلى أنا نرجس التي مكنتها الله محوله وقدرته لعيش هذه اللحظة فاللهم لك الحمد حتى ترضى ولك

الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضى

إلى كل من أحبّني بصدق إلى كل من علمني ما ينفعني ، سائلة المولى أن يجعل هذا العمل نبراساً لكل طالب علم

نصرات نرجس

قائمة الرموز

قائمة الرموز

| | |
|--|--|
| قياس طيف الامتصاص الذري | AAS |
| تحليل التباين | ANOVA |
| قشور محسنة باستخدام هيدروكسيد الصوديوم وحمض الهيدروكلوريك | APB |
| الصرف المعدني الحمضي | AMD |
| تقنية مجهرية تُستخدم لدراسة طبوغرافيا سطح المواد بدقة نانوية | AFM : Atomic Force Microscopy |
| طريقة حسابية لتحديد توزيع حجم المسام في المواد المسامية | BJH: Barrett-Joyner-Halenda |
| طريقة قياسية لتحديد مساحة سطح المواد المسامية | BET: Brunauer-Emmett-Teller |
| ممتص حيوي حبيبي جديد محضر من البنتونيت وقشر البيض | BEP |
| صبغة عضوية | BG: Brilliant Green |
| التصميم المركب المركزي | CCD |
| الطلب على الاكسجين الكيميائي | COD |
| صبغة عضوية | CR : Congo Red |
| الشيتوزان | CS |
| نشارة خشب الأوكالبتوس | CSW |
| خرزات مغناطيسية | CSWF |
| نظرية كثافة الدالة | DFT: Density Functional Theory |
| قياس طاقة الجزينات بالمسح الضوئي التفاضلي | DSC: Differential scanning calorimetry |
| استخدام قشور فاكهة التين | DFP |
| التحليل الطيفي لرنين الإلكترون | ESR |
| وكالة البيئة الأوروبية | EEA: Europa Environment Agency |
| تحليل طيف الأشعة السينية المشتتة للطاقة | EDAX: (Energy-dispersive X-ray spectroscopy) |
| وكالة حماية البيئة الأمريكية | EPA: U.S. Environmental Protection Agency |

قائمة الرموز

| | |
|---|--|
| مطياف التصوير بالأشعة السينية المشتتة بالطاقة | EDS |
| تقنية تحليلية تُستخدم لتحديد العناصر الكيميائية الموجودة في مادة | EDX :Energy-Dispersive X-ray spectroscopy |
| مسحوق قشر البيض | ESP |
| فلم حيوي قائم على قشور البيض-البرتقال- نشاء | EPSOP |
| فلم حيوي قائم على قشور البيض-الموز- نشاء | EPSBP |
| فلم حيوي قائم على قشور البيض-الرمان- نشاء | EPSGP |
| فلم حيوي قائم على قشور البيض-الليمون- نشاء | EPS |
| تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء | FTIR |
| منظمة الأغذية والزراعة | FAO: (Food and Agriculture Organization) |
| تقنية مجهرية إلكترونية تُستخدم لدراسة مورفولوجيا سطح المواد بدقة عالية جدًا | FESEM :Field Emission Scanning Electron Microscopy |
| الكربون المنشط الحبيبي | GAC |
| نانو مركب هجين لإزالة المعادن الثقيلة | Hybrid HHNC: Nanocomposite for Heavy Metal Removal |
| قشر الأرز المجري | HRH |
| الأقطاب الكهربائية الانتقائية الأيونية | ISE |
| قشر الأرز الإندونيسي | IRH |
| المغناطيسي النووي الرنين | NMR |
| مخلفات قشر البرتقال | OPW |
| مركب كيميائي عضوي يتكون من سلاسل طويلة من جزيئات إيثيلين أكسيد | PEG: Polyethylene glycol |
| قشر فاكهة passion | PFP |
| قشور الفول السوداني في حالتها الطبيعية | PB |
| بولي هيدروكسي ألكانات | PHA |
| بولي هيدروكسي ألكانات | PHAs |
| منهجية سطح الاستجابة | RSM |
| تقنية تحليلية تُستخدم لتحديد تركيز مادة | potentiometric titration |

قائمة الرموز

| | |
|--|---|
| rambutan قشر | RP |
| المسح أو المجهر الإلكتروني النافذِ مقترنًا بمطيافية الأشعة السينية المشتتة من الطاقة | SEM/TEM-EDX |
| مجهر المسح الإلكتروني | SEM |
| مساحة سطح نوعية. | SSA: Specific Surface Area |
| وصف مجالات العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات | STEM: Science, Technology, Engineering, and Mathematics |
| بقايا البن المستعمل | SCGs |
| تحليل قياس الوزن الحراري | TGA |
| القياس الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية | UV-Vis |
| معيّنة التحليل الطيفي لامتصاص الأشعة السينية | XAS |
| مطياف الأشعة السينية | XRD |
| التحليل الطيفي الإلكتروني الضوئي للأشعة السينية | XPS |

قائمة الجداول

| قائمة الجداول | | |
|---------------------|--|----------------|
| الصفحة | الجدول | |
| الفصل الأول | | |
| 21 | نماذج الامتصاص المختلفة | الجدول (1.I) |
| 25 | الفرق بين الامتصاص الطبيعي والامتصاص الكيميائي | الجدول (2.I) |
| الفصل الثالث | | |
| 59 | المواد الكيميائية المستعملة | الجدول (1.III) |
| 60 | الأجهزة المستعملة | الجدول (2.III) |
| 63 | تردد الامتصاصات المجموعات الوظيفية العضوية | الجدول (3.III) |
| الفصل الرابع | | |
| 76 | الخصائص الفيزيائية لمختلف الأقسام الحيوية | الجدول (1.VI) |

قائمة الأشكال

| قائمة الأشكال | | |
|---------------------|--|---------------|
| الصفحة | الشكل | |
| الفصل الأول | | |
| 10 | نفايات عضوية ذات أصل حيواني | الشكل (1.I) |
| 11 | نفايات عضوية ذات أصل نباتي | الشكل (2.I) |
| 12 | استغلال النفايات العضوية | الشكل (3.I) |
| 18 | مختلف مصادر المواد الحيوية الماصة المستخدمة في عملية الامتصاص الحيوي | الشكل (4.I) |
| 24 | التقنيات التحليلية لتوصيف المواد الحيوية الماصة | الشكل (5.I) |
| الفصل الثالث | | |
| 60 | المخلفات المستخدمة | الشكل (1.III) |
| 61 | تحضير مسحوق قشور البيض | الشكل (2.III) |
| 61 | تحضير مسحوق قشور الموز | الشكل (3.III) |
| 61 | تحضير مسحوق قشور الرمان | الشكل (4.III) |
| 61 | تحضير مسحوق قشور الليمون | الشكل (5.III) |
| 62 | تحضير مسحوق قشور البرتقال | الشكل (6.III) |
| 62 | عملية تصنيع الأفلام الحيوية الماصة | الشكل (7.III) |
| 64 | صورة لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR) | الشكل (8.III) |
| الفصل الرابع | | |
| 70 | مختلف المواد الأولية المستعملة | الشكل (1.IV) |
| 71 | مختلف الأفلام الحيوية الماصة المحضرة | الشكل (2.IV) |
| 72 | طيف الأشعة تحت الحمراء للنشاء | الشكل (3.IV) |
| 73 | طيف الأشعة تحت الحمراء لمسحوق قشور البيض | الشكل (4.IV) |
| 74 | طيف الأشعة تحت الحمراء لمسحوق مختلف القشور | الشكل (5.IV) |
| 75 | أطياف الأفلام الحيوية الماصة | الشكل (6.IV) |
| 78 | امتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة أزرق الميثيلين | الشكل (7.IV) |
| 79 | امتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة روز بانغال | الشكل (8.IV) |

الفهرس

| | | |
|---|---------------------------------|----------|
| الفهرس | | |
| الصفحة | العنوان | |
| الإهداء | | |
| الشكر والعرفان | | |
| قائمة الرموز | | |
| قائمة الجداول | | |
| قائمة الأشكال | | |
| الفهرس | | |
| الملخص | | |
| 1 | المقدمة العامة | |
| مراجع المقدمة | | |
| الجزء النظري | | |
| الفصل الأول: عموميات حول المخلفات العضوية والممتصات الحيوية | | |
| 7 | الأهداف ومجال الدراسة | .1.I |
| 7 | أهمية الدراسة | .1.1.I |
| 7 | أهداف الدراسة | .2.1.I |
| 8 | مجالات الدراسة | .3.1.I |
| 8 | النفايات العضوية | |
| 8 | تعريف النفايات العضوية | 1.2.I |
| 9 | مصادر النفايات العضوية | |
| 9 | النفايات ذات الأصل الحيواني | .1.2.2.I |
| 10 | النفايات ذات الاصل النباتي | .2.2.2.I |
| 11 | أهمية استغلال النفايات العضوية | |
| 12 | تقنيات معالجة النفايات | |
| 12 | الاستخدام المباشر | .1.4.I |
| 13 | المعالجة البيولوجية | |
| 13 | المعالجة الفيزيائية والكيميائية | |
| 13 | المعالجة الحرارية والكيميائية | |
| 13 | التحديات في إدارة النفايات | |
| 14 | التحديات البيئية | .1.5.I |
| 14 | التحديات الصحية | .2.5.I |
| 14 | التحديات الاقتصادية | .3.5.I |
| 14 | التحديات الاجتماعية | .4.5.I |

الفهرس

| | | | |
|---------------------------------------|--|---------|-------|
| 14 | الامتصاص الحيوي | | 6.I |
| 14 | تعريف الامتصاص | 1.6.I | |
| 15 | تعريف الامتصاص الحيوي | 2.6.I | |
| 15 | العوامل المؤثرة في الامتصاص | | 7.I |
| 15 | درجة الحموضة pH | 1.7.I | |
| 16 | التركيز | 2.7.I | |
| 16 | درجة الحرارة | 3.7.I | |
| 16 | وقت التلامس | 4.7.I | |
| 16 | مزايا وعيوب الامتصاص الحيوي | | 8.I |
| 16 | المزايا | 1.I | |
| 17 | العيوب | 2.I | |
| 17 | المواد الماصة الحيوية | | 9.I |
| 17 | تعريف | 1.9.I | |
| 18 | تطبيقات المواد الماصة الحيوية | | 2.9.I |
| 18 | امتصاص المعادن الثقيلة | 1.2.9.I | |
| 18 | امتزاز الصبغة | 2.2.9.I | |
| 19 | امتزاز الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs) | 3.2.9.I | |
| 19 | امتصاص الزيوت | 4.2.9.I | |
| 19 | نماذج حركية الامتصاص الحيوي | | 10.I |
| 20 | نماذج حركية الامتصاص | 1.10.I | |
| 22 | تأثير المواد الحيوية الماصة على إزالة الأصباغ من المحاليل المائية | 2.10.I | |
| 23 | التقنيات التحليلية لتوصيف المواد الحيوية الماصة | | 11.I |
| 24 | المجهر | 1.11.I | |
| 24 | التحليل الطيفي | 2.11.I | |
| 24 | مساحة السطح وحجم المسام | 3.11.I | |
| 25 | الاستقرار الحراري | 4.11.I | |
| 25 | اختيار وتقييم المواد الماصة الحيوية | | 12.I |
| 25 | الفرق بين الامتصاص الطبيعي والامتصاص الكيميائي | | 13.I |
| مراجع الفصل | | | |
| الفصل الثاني: الدراسات السابقة | | | |
| 31 | قشر البرتقال كمادة ماصة منخفضة التكلفة لإزالة أيون الكاديوم الثنائي (II): تقييمات الديناميكا الحرارية والديناميكية الحرارية والتحسين | | 1.II |

الفهرس

| | | |
|----|---|--------|
| 32 | امتصاص صبغة أزرق الميثيلين باستخدام Enterolobium contortisiliquum كمادة حيوية ممتازة: الدراسة التجريبية والنمذجة الرياضية والمحاكاة | .2.II |
| 33 | مُمتَصّ حيوي مُصنَّع من قشور الأسماك لإزالة الكروم (III) | .3.II |
| 33 | مواد ماصة حيوية مبتكرة تعتمد على نوى التمر لمعالجة المبيدات الحشرية العضوية الفوسفورية من الماء | .4.II |
| 34 | بوليمير حيوي مشتق من السليلوز لإزالة الملوثات المعدنية غير العضوية السامة من المياه العادمة | .5.II |
| 35 | مسحوق قشر البيض كُمتَص لإزالة الرصاص (II) في نهر بانكور | .6.II |
| 36 | دراسات امتصاص دفعات على هجين هيدروجيل من الكيتوزان المعدل سطحيا وقشر البرتقال لإزالة أيونات الكروم (VI) والنحاس (II) من المياه العادمة الصناعية | .7.II |
| 37 | تطبيق منهجية سطح الاستجابة في إزالة أيونات النحاس الثنائي (Cu^{+2}) والرصاص الثنائي (Pb^{+2}) من المحاليل المائية باستخدام قشر البرتقال | .8.II |
| 38 | استثمار نواة الزيتون الناتجة عن معالجة زيت الزيتون والزيتون المائدة كمادة امتصاص حيوية منخفضة التكلفة لإزالة الفورفورال من المحاليل المائية | .9.II |
| 38 | غشاء كيتين/بولي إيثيلين إيمين كمادة امتصاص حيوية لإزالة عالية الكفاءة لمركبات اليورانيل الكربونية من المياه | .10.II |
| 39 | تحضير وتطبيق المركبات الحبيبية من البنتونيت وقشر البيض لإزالة المعادن الثقيلة | .11.II |
| 40 | تحويل النفايات إلى مواد ممتازة: تعديل قشر البرتقال المُهمل لإزالة فعالة للغاية لـ Cd (II) من المحاليل المائية | .12.II |
| 41 | قشور الفواكه المحلية كمواد امتصاص حيوي لإزالة أيونات الرصاص (II) والكاديميوم (II) من مياه الصرف: دراسة حركية وتوازنية | .13.II |
| 42 | امتصاص أيونات الكوبلت (II) من المحاليل المائية باستخدام مخلفات قشر البرتقال: دراسات التوازن والحركية والديناميكا الحرارية | .14.II |
| 43 | تحضير واختبار مواد امتصاص حيوية منخفضة التكلفة لتحسين إزالة الملوثات المياه الصرف الناتجة عن السيولة الحرارية اللاحقة (PHWW) | .15.II |
| 44 | إزالة الأصباغ الخطرة والمسببات المرضية المنقولة بالمياه باستخدام مادة امتصاص حيوية نانوية هندسية من القنب - التصنيع والتحليل ودراسة الأداء | .16.II |
| 45 | قشر البيض الخام كمادة امتصاص حيوية لإزالة أيونات النحاس - دراسات التوازن والحركية والديناميكا الحرارية وتحسين العملية | .17.II |
| 46 | امتصاص الصبغات الأنثوية من المحاليل المائية باستخدام مادة امتصاص حيوية مدعومة بالسليلوز المستخلصة من ألياف القنب الطبيعية | .18.II |
| 47 | تطوير وتوصيف وتحليل غشاء امتصاص حيوي من قشر البيض/مخلفات البرتقال المعزز بنشا الموز | .19.II |
| 48 | امتصاص الصبغات الكاتيونية باستخدام قشر أرز مجري وإندونيسي كمواد امتصاص حيوية: تحليل تصميم عاملي | .20.II |

الفهرس

| | | |
|--|--|----------|
| 49 | مادة امتصاص مستدامة معدة عن طريق التنشيط القلوي لبقايا البن: توصيف وآلية امتصاص أزرق الميثيلين من المحاليل المائية | .21.II |
| 50 | ازالة صبغة الرودماين B من المحاليل المائية بيئيا باستخدام مخلفات زراعية صلبة (قشر اللوز): دراسات تجريبية وحاسوبية باستخدام نظرية الدالة الوظيفية للأسبقية (DFT) | .22.II |
| 51 | كفاءة قشر البيض كمادة امتصاص منخفضة التكلفة لإزالة الكاديوم: دراسات الحركية والتوازن | .23.II |
| 52 | حبات من مادة امتصاص حيوية مغناطيسية قائمة على الشيتوزان ومستخلصة من نشارة خشب الأوكاليتوس لإزالة صبغة الـ (Direct Violet-51): استراتيجية صديقة للبيئة ودراسة احصائية | .24.II |
| 53 | ممتصات حيوية من مخلفات قشور مغلقة بالحديد: التركيب، معالجة الفوسفات، والاستخدام كسماد | .25.II |
| مراجع الفصل | | |
| الجزء العملي | | |
| الفصل الثالث: المواد والطرق | | |
| 59 | المواد الكيميائية الأجهزة المستعملة | .1.III |
| 59 | المواد الكيميائية المستعملة | .1.1.III |
| 59 | الأجهزة المستعملة | .2.1.III |
| 60 | تحضير المادة الاولية | .3.1.III |
| 62 | عملية تصنيع الفيلم | .2.III |
| 63 | توصيف الأفلام الحيوية بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء | .3.III |
| 65 | دراسة خصائص الأفلام الحيوية | .4.III |
| 65 | قياس المسامية | .1.4.III |
| 65 | تحليل محتوى الرطوبة | .2.4.III |
| 65 | قابلية الذوبان بالماء | .3.4.III |
| 66 | امتصاص الماء | .4.4.III |
| 66 | التحليل الضوئي لإمتصاص الصبغة روز بانغال (RB) وأزرق الميثيلين (MB) | .5.III |
| مراجع الفصل | | |
| الفصل الرابع: النتائج والمناقشة | | |
| 70 | المادة الأولية | .1.IV |
| 70 | الأفلام الحيوية المحضرة | .2.IV |
| 71 | تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات | .3.IV |
| 71 | النشاء | .1.3.IV |

الفهرس

| | | | |
|-------------|---|---------|--|
| 72 | مسحوق قشور البيض | .2.3.IV | |
| 73 | مسحوق قشور البرتقال، الموز، الرمان والليمون | .3.3.IV | |
| 74 | الأفلام الحيوية المحضرة | .4.3.IV | |
| 75 | الخصائص الفيزيائية للأفلام | .4.IV | |
| 77 | امتصاص الصبغة | .5.IV | |
| 77 | امتصاص صبغة أزرق الميثيلين | .1.5.IV | |
| 78 | امتصاص صبغة روز بانغال | .2.5.IV | |
| مراجع الفصل | | | |
| 82 | الخاتمة العامة | | |
| الملخص | | | |

الله

منذ ستينيات القرن الماضي، شهد الإنتاج الزراعي زيادة تفوق ثلاثة أضعاف، ويعزى ذلك بشكل رئيسي إلى توسيع الأراضي المزروعة والتقدم التكنولوجي الذي حدث خلال الثورة الخضراء، و أدت هذه التطورات إلى إنتاجية أعلى ساعدت على تلبية احتياجات سكان العالم المتزايد، وفقاً لتقرير منظمة الأغذية والزراعة (FAO) لعام 2017، ينتج العالم حالياً ما يقارب 23.7 مليون طن من الغذاء يومياً [1].

لكن، وعلى الرغم من ذلك فقد أدى الإنتاج الزراعي إلى إجهاد كبير على البيئة على المستوى العالمي، حيث أثر سلباً على التربة والهواء والموارد المائية، وعرض استدامة النظام البيئي وصحة الإنسان للخطر، يُضاف إلى ذلك من المتوقع أن يصل إنتاج النفايات الزراعية السنوية إلى 998 مليون طن ومع توقع بلوغ عدد سكان العالم حوالي 10 مليارات نسمة بحلول عام 2050، لم يتم اكتشاف مسار مستدام للزراعة بعد [2]، إلا أن دراسات حديثة أجريت لاستكشاف مواد امتصاص حيوية صديقة للبيئة وبأسعار معقولة لمعالجة الملوثات، بدأ الباحثون يركزون على مخلفات زراعية متنوعة مثل: الفواكه ذات النوى والمكسرات والقشور وبقايا الخشب والغابات والنباتات بسبب تركيبها الكيميائي الفريد وتوفرها بوفرة وطبيعتها المتجددة وتكلفتها المنخفضة.

تعد مخلفات قشر البيض الناتجة عن معالجة الأغذية من أهم المخلفات الجانبية، حيث يتم التخلص من ثمانية ملايين طن منها سنوياً مما يضر بالبيئة، و تكتسب قشور البيض أهمية خاصة بسبب توفرها بوفرة كمخلفات تنتجها صناعة الأغذية، كما أنها اقتصادية وصديقة للبيئة بسبب توفرها وخلوها من المكونات السامة أو الخطرة، و تعتبر فعالة بقدر الفحم المنشط الذي يعد أكثر تكلفة، و تشمل خصائص امتصاص قشر البيض الدجاج المسامية الناتجة وكربونات الكالسيوم (CaCO_3) وبروتينين mucopolysaccharides الحامضي الذي يحتوي على مجموعات وظيفية هيدروكسيل ($-\text{OH}$) وكاربوكسيل ($-\text{COOH}$) وأمينو ($-\text{NH}_2$) وثيول ($-\text{SH}$) وأמיד ($-\text{CONH}_2$) يمكن استخدامها لربط أيونات المعادن الثقيلة [3].

قام وانغ وآخرون [4] بتحضير مادة ماصة مركبة حبيبية من البنتونيت وقشر البيض لإزالة الرصاص (II)، و أدى هذا الماص الحبيبي إلى زيادة قيمة الأس الهيدروجيني لصرف المناجم الحمضية من 3.00 إلى 6.10، مما يشير إلى أن قدرات تحييد الحموضة للمركبات البنتونيت-قشر البيض الحبيبية يمكن أن تقلل من الامتصاص التنافسي لأيون الهيدروجين (H^+)، حقق ماركوفيتش وآخرون [5] في قدرة

امتصاص قشر البيض الخام على امتصاص أيونات النحاس (II) من العينات المائية، وفي عمل آخر استخدم عنان وآخرون^[16] مخلفات قشر البيض لإزالة أيونات الكاديوم (II) من المحاليل المائية.

قشر البرتقال، الموز، الرمان والليمون هي من المخلفات الزراعية الشائعة، تتكون بشكل رئيسي من السيلولوز والهيميسليلوز والبكتين ومكونات الليجين^[17]، تحتوي هذه المكونات على مجموعات وظيفية مختلفة تحتوي على N/O وحلقات البيرانون/البنزين، و تقدر كمية قشر الفواكه المنتجة عالمياً بحوالي 50 مليون طن سنوياً، مما يجعلها مادة متوفرة بامتياز لمعالجة الملوثات عن طريق الامتصاص الحيوي.

في السابق، تم استخدام تصميم نماذج ممتصات تجريبية لإزالة الكروم باستخدام قشر البرتقال وعلى الرغم من مساحة سطحه النوعية المنخفضة، حيث ثبت أن قشر البرتقال يعد امتصاصاً فعالاً ($q_{max} = 7.14 \text{ mg/g}$)^[18] ، بالمقابل قام ألتونكايناك وآخرون^[19] بفحص إزالة أيونات الكوبالت (II) من المحاليل المائية باستخدام قشر البرتقال كمخلفات، أما بافيترا وآخرون^[10] فقد قاموا بتطوير مركب هيدروجيل من الشيتوزان وقشر البرتقال لإزالة أيونات المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي التي تحتوي على الكروم (VI) والنحاس (II)، وقام جوزيف ميريلين فوني في بحثه^[11] بتطوير وتوصيف طبقة الامتصاص الحيوي من قشر البيض/نفايات البرتقال المخصبة بنشاء الموز وتطبيقها في إزالة معدن الكاديوم (II) بكفاءة عالية، وأظهرت الدراسة أن المادة الحيوية المنتجة تمتاز بقدرة قوية في إزالة الكاديوم (II).

إن استخدام المواد الماصة الحيوية في شكل مسحوق يمكن أن يجعل من الصعب فصل المراحل بعد الامتصاص الحيوي ولمعالجة هذه المشكلة، تقدم التعديلات المادية لهذه المواد بديلاً واعداءً، أحد الحلول الممكنة هو تطوير أغشية ماصة حيوية، والتي يمكنها إزالة أيونات المعادن بشكل فعال من خلال الجمع بين المادتين الحيويتين المذكورتين أعلاه وتسهيل فصل الطور بعد الامتصاص الحيوي ، تعتبر النشويات المحلية من بين أكثر المواد الواعدة لإنتاج الأفلام، نظراً لتوافرها على نطاق واسع، وتكلفتها المنخفضة، وقدرتها الممتازة على تشكيل الفيلم ،على وجه الخصوص نشا الموز الأخضر، الذي يحتوي على تركيز أميلوز أعلى بشكل ملحوظ من نشا البطاطس والذرة والقمح ومقاوم للتحلل المائي، يبرز بين النشويات المحلية^[12] ، و تلعب هذه الخاصية الفريدة دوراً حاسماً في تطوير الأفلام، حيث توفر خصائص ناقلة فعالة للمواد الماصة الحيوية ، ولذلك استخدمت الدراسة الحالية نشا الموز كمكون أساسي لإعداد الفيلم.

في هذه الدراسة، تم تصنيع أغشية حيوية ماصة قائمة على قشر البيض/نفايات البرتقال، الموز، الرمان والليمون قائمة على النشاء، وتم توصيفها، فحص الخصائص الفيزيائية للأفلام، بما في ذلك محتوى الرطوبة، المسامية، امتصاص الماء والذوبان في الماء، بالإضافة إلى ذلك تم تقييم فعالية الأفلام في إزالة صبغة أزرق الميثيلين وروز بنغال.

حيث تضمنت هذه المذكرة أربعة فصول تدرج تحت العناوين التالية:

✓ **الفصل الأول:** تناولنا فيه عموميات حول المخلفات العضوية والامتصاص الحيوي: مفهوم، تصنيف، مزايا وعيوب.

✓ **الفصل الثاني:** تطرقنا فيه دراسات سابقة حول انتاج الافلام الحيوية توصيف، وتطبيقات.

✓ **الفصل الثالث:** تطرقنا فيه الى المواد والطرق المستخدمة في القسم العملي للدراسة.

✓ **الفصل الرابع:** تطرقنا فيه الى النتائج المتوصل اليها ومناقشتها.

وفي الأخير ختمنا الدراسة بملخص حول أهمية المخلفات العضوية وكيفية استغلالها لإنتاج تشكيلات وأنواع مختلفة من أفلام الحيوي توصيات وآفاق مستقبلية.

مراجع المقدمة العامة

- [1] Food and A. Organization, "Strategic work of FAO for sustainable food and agriculture," ed: Food and Agriculture Organization Rome, Italy, 2017.
- [2] M. Duque-Acevedo, L. J. Belmonte-Ureña, F. J. Cortés-García, and F. Camacho-Ferre, "Agricultural waste :Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses," *Global Ecology and Conservation*, vol. 22, p. e00902, 2020.
- [3] A. Mittal, M. Teotia, R. Soni, and J. Mittal, "Applications of egg shell and egg shell membrane as adsorbents: a review," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 223, pp. 376-387, 2016.
- [4] G. Wang, N. Liu, S. Zhang, J. Zhu, H. Xiao, and C. Ding, "Preparation and application of granular bentonite-eggshell composites for heavy metal removal," *Journal of Porous Materials*, vol. 29, pp. 817-826, 2022.
- [5] M. Marković, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, K. Božinović, M. Zdravković, *et al.*, "Raw Eggshell as an Adsorbent for Copper Ions Biosorption—Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Process Optimization Studies," *Metals*, vol. 13, p. 206, 2023.
- [6] K. Annane, W. Lemlikchi, and S. Tingry, "Efficiency of eggshell as a low-cost adsorbent for removal of cadmium: Kinetic and isotherm studies," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 13, pp. 6163-6174, 2023.
- [7] K. Xiao, H. Liu, Y. Li, L. Yi, X. Zhang, H. Hu, *et al.*, "Correlations between hydrochar properties and chemical constitution of orange peel waste during hydrothermal carbonization," *Bioresource technology*, vol. 265, pp. 432-436, 2018.
- [8] E. B. Khalifa, B. Rzig, R. Chakroun, H. Nouagui, and B. Hamrouni, "Application of response surface methodology for chromium removal by adsorption on low-cost biosorbent," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 189, pp. 18-26, 2019.
- [9] Y. Altunkaynak, M. Canpolat, and Ö. Yavuz, "Adsorption of cobalt (II) ions from aqueous solution using orange peel waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 19, pp. 2437-2448, 2022.
- [10] S. Pavithra, G. Thandapani, S. Sugashini, P. Sudha, H. H. Alkhamis, A. F. Alrefaei, *et al.*, "Batch adsorption studies on surface tailored chitosan/orange peel hydrogel composite for the removal of Cr (VI) and Cu (II) ions from synthetic wastewater," *Chemosphere*, vol. 271, p. 129415, 2021.
- [11] J. M. Vonnice, K. Rovina, N. M. N. 'Aqilah, and X. W. L. Felicia, "Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch," *Polymers*, vol. 15, p. 2414, 2023.
- [12] J. M. Vonnice, B. Jing Ting, K. Rovina, K. H. Erna, W. X. L. Felicia, N. M. Nur 'Aqilah, *et al.*, "Development of aloe vera-green banana saba-curcumin composite film for colorimetric detection of ferrum (ii)," *Polymers*, vol. 14, p. 2353, 2022.

الفصل الأول

مع زيادة الوعي بأهمية تطوير طرق تحليلية صديقة للبيئة لمنع التلوث البيئي، ازداد اهتمام الباحثين في جميع أنحاء العالم باستخدام المواد الماصة الحيوية كبديل للممترات التقليدية، يتمتع هذا النوع من المواد بخصائص فريدة وفعالة من حيث التكلفة، مما يجعلها خيارًا مثيلاً للاهتمام في مجال حماية البيئة وتنظيم التلوث، و أصبحت المواد الماصة الحيوية المعتمدة على النفايات الزراعية والغذائية موضوع اهتمام كبير، نظرًا لسهولة توفرها وتكلفتها المنخفضة، و بفضل استخدام هذه النفايات والتي يمكن تحويلها إلى مواد ماصة حيوية قيمة، مما يساهم في تقليل نفايات المزارع والصناعات الغذائية بالإضافة إلى تحسين البيئة.

وبالإضافة إلى ذلك يثير اهتمام متزايد بين مجتمع البحث بتطوير هياكل معينة لأداء الامتصاص الحيوي بشكل محسن، يتضمن هذا التطوير تصميم مواد ماصة حيوية شديدة المسامية وخفيفة الوزن، والتي تتمتع بمقاومة عالية مع خصائص جيدة للفصل وإعادة التدوير، إن هذا النهج يسعى إلى تحسين كفاءة وأداء عمليات الامتصاص الحيوي وتحقيق تقدم مستدام في مجال الحفاظ على البيئة والتنمية المستدامة.

1.1. الأهداف ومجال الدراسة :

1.1.1. أهمية الدراسة:

تطوير أفلام حيوية ماصة فعّالة من النفايات العضوية ذات أصل نباتي وحيواني للاستخدام في مجالات متعددة مثل التنقية البيئية والتطبيقات الطبية والصناعية.

2.1.1. أهداف الدراسة:

- ✓ تحليل ودراسة المواد الخام العضوية المحتملة لتطوير أفلام حيوية ماصة.
- ✓ تحديد وتحسين طرق التصنيع والتشكيل للأفلام الحيوية الماصة باستخدام تقنيات مبتكرة ومستدامة.
- ✓ تقييم الخصائص الميكانيكية والكيميائية والفيزيائية للأفلام الحيوية الماصة وتحسينها وفقًا للتطبيقات المختلفة.
- ✓ دراسة تأثير عوامل التصنيع والمواد الخام على أداء الأفلام الحيوية الماصة في استيعاب الملوثات وإزالتها.

3.1.I. مجالات الدراسة:

- ✓ استكشاف مصادر متنوعة من النفايات العضوية: مثل قشور الفواكه، الخضروات، والمواد النباتية الثانوية مثل قشور البذور والأوراق.
- ✓ تحليل وتقييم خصائص النفايات العضوية المختلفة والإختيار الأنسب لتطبيقات الأفلام الحيوية الماصة.
- ✓ تطوير عمليات تصنيع مبتكرة وفعالة لتحويل النفايات العضوية إلى أفلام حيوية ماصة.
- ✓ تحسين خصائص الأفلام الحيوية الماصة من خلال إضافة مواد مساعدة وتعديل التركيب الجزيئي [11].

2.I. النفايات العضوية:

تتسبب النفايات في تحديات بيئية على المستوى العالمي، مما يتطلب التصدي لها بشكل متزايد، حيث تشمل مجموعة متنوعة من النفايات، بما في ذلك النفايات العضوية التي تتضمن مواد قابلة للتحلل مثل بقايا الطعام ومخلفات كل من النباتات والحيوانات، وعلى الرغم من قدرة تلك النفايات على التحلل بشكل طبيعي، فإن إدارتها بشكل صحيح يعد أمرًا ضروريًا للحفاظ على الصحة والبيئة.

تبرز أهمية إدارة النفايات العضوية في تقليل التلوث البيئي والحد من انبعاثات الغازات الدفيئة، فضلًا عن الإستفادة منها في إنتاج الطاقة البديلة والسماط العضوي، بالإضافة إلى ذلك يمكن أن تكون هذه النفايات مصدرًا للدخل من خلال تحويلها إلى منتجات قيمة مثل الغاز الحيوي والسماط.

1.2.I. تعريف النفايات العضوية:

تشير النفايات العضوية إلى أي مادة قابلة للتحلل وتأتي من مصدر نباتي أو حيواني، حيث يمكن تقسيم هذه النفايات بشكل طبيعي عن طريق الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا والفطريات، إلى مركبات أبسط مثل ثاني أكسيد الكربون، الماء والمعادن، و تشمل الأمثلة الشائعة للنفايات العضوية بقايا الطعام، ونفايات الشوارع (مثل أوراق الشجر وقصاصات العشب)، والنفايات الزراعية، والسماط الحيواني [12].

فيما يلي بعض المراجع التي تقدم تعريفات ومزيد من المعلومات حول النفايات العضوية:

✚ وكالة حماية البيئة الأمريكية (U.S. EPA):

تعرف وكالة حماية البيئة النفايات العضوية بأنها "نفايات قابلة للتحلل وتأتي إما من مصدر نباتي أو حيواني" (U.S. EPA، 2022)، حيث يمكن إعادة تدويرها وإعادة استخدامها من خلال عمليات التسميد أو الهضم اللاهوائي، مما يقلل من التأثيرات البيئية^[3].

✚ وكالة البيئة الأوروبية (EEA):

تصف الوكالة الأوروبية للبيئة النفايات العضوية بأنها "نفايات قابلة للتحلل من الحدائق والمنتزهات، ونفايات الطعام والمطبخ من المنازل والمطاعم ومقدمي الطعام ومباني البيع بالتجزئة، والنفايات المماثلة من مصانع تجهيز الأغذية" (EEA، 2022)، ويؤكد هذا التعريف على مصادر وأنواع النفايات العضوية المتولدة عادة^[4].

✚ البنك الدولي:

يعرف البنك الدولي النفايات العضوية بأنها "نفايات قابلة للتحلل، والتي تشمل نفايات الحدائق، ونفايات الطعام، ونفايات الأحياء" (البنك الدولي، 2022)، و يمكن أن تساهم هذه النفايات بشكل كبير في تدفقات النفايات الصلبة البلدية ولكن يمكن إدارتها بفعالية من خلال التسميد أو تقنيات إدارة النفايات العضوية الأخرى^[5].

تسلط هذه التعريفات والمراجع الضوء على الفئة الواسعة من النفايات العضوية وأهميتها في إدارة النفايات وجهود الاستدامة البيئية.

2.2.1. مصادر النفايات العضوية:

2.2.1.1. النفايات ذات الأصل الحيواني : وهي جميع المخلفات الناتجة عن بقايا الحيوانات، حيث تشمل هذه النفايات العديد من المواد القابلة لتحلل والتي يمكن استخدامها بطرق مختلفة، من بين أمثلة النفايات ذات الأصل الحيواني الشكل (1-I)^[6]:

✚ فضلات الحيوانات: مثل فضلات الأبقار والدواجن.

- القشور والهياكل العظمية: مثل قشور البيض وقشور الجمبري وهياكل الأسماك.
- الشعر والصوف: يمكن أن يكون لهذه المواد قيمة كمصدر للألياف.



الشكل (1-I): نفايات عضوية ذات أصل حيواني.

2.2.2.II. النفايات ذات الاصل النباتي: وهي مواد عضوية ناتجة عن المخلفات النباتية، حيث تشمل هذه النفايات العديد من المواد القابلة لتحلل وعدة تطبيقات مختلفة، و من بين أمثلة النفايات ذات الأصل النباتي الشكل (2-I) ¹⁷¹:

- القش والأعشاب: تشمل الأوراق والفروع والسيقان والأعشاب التي تنتج من النباتات.
- القشور والمخلفات الزراعية: مثل قشور الفواكه والخضروات والبقايا الزراعية.
- بقايا الطعام: تشمل الخضروات والفواكه المتبقية.



الشكل (2-I): نفايات عضوية ذات أصل نباتي.

3.I. أهمية استغلال النفايات العضوية:

يحقق استغلال النفايات العضوية مجموعة من الفوائد البيئية والإقتصادية، ويشكل جزءاً أساسياً من جهود تحقيق التنمية المستدامة، حيث يُعزز استخدام النفايات العضوية الإقتصاد ويساهم في الحفاظ على البيئة وتحقيق الإستدامة البيئية والإقتصادية الشكل (3-I) وتتمثل الفوائد الرئيسية لاستغلال النفايات العضوية في:

- ✓ حماية البيئة: حيث يُقلل استغلال النفايات العضوية من حدوث التلوث البيئي والانبعاثات الضارة للغازات الدفيئة.
- ✓ توليد الطاقة المتجددة: يُمكن تحويل النفايات العضوية إلى مصادر طاقة متجددة مثل الغاز الحيوي، مما يساهم في تقليل الإعتماد على الوقود الأحفوري.
- ✓ تحسين جودة التربة: يُستخدم السماد العضوي المستخرج من النفايات العضوية في تحسين خصوبة التربة وتغذية النباتات بالعناصر الغذائية اللازمة.
- ✓ تخفيف الضغط على المكبات: يُعالج استغلال النفايات العضوية بشكل مسؤول الحاجة المتزايدة للمكبات الصحية ويقلل من حجم النفايات المتراكمة.

✓ توفير فرص العمل: يُفتح قطاع إدارة واستغلال النفايات العضوية أبواباً لفرص العمل والابتكار في مجالات متعددة.

✓ تحقيق التنمية المستدامة: يُساهم استغلال النفايات العضوية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة على مستوى البيئة والإقتصاد والمجتمع.



الشكل (3-I): استغلال النفايات العضوية.

4.I. تقنيات معالجة النفايات

تعرف تقنيات معالجة النفايات الحيوية على أنها عمليات تحول النفايات الحيوية المهملة إلى منتجات جديدة ذات قيمة محتملة، يتم تصنيف تقنيات معالجة النفايات الحيوية في أربع فئات رئيسية:

1.4.I. الاستخدام المباشر:

تعتبر الاستخدامات المباشرة للنفايات الحيوية شكلاً قديماً من أشكال معالجة النفايات، وتتميز بالتكاليف المنخفضة والبساطة، تشمل هذه الفئة من المعالجات استخدام النفايات مباشرة في الأرض، وتغذية النفايات مباشرة للحيوانات، والحرق المباشر في الهواء الطلق، حيث تتمثل مخاطر هذه الممارسات على تركيبة النفايات الحيوية، مما قد يعرض الصحة العامة والبيئة للخطر، تستمر الاستخدامات المباشرة للنفايات الحيوية على الأرض وفي صناعة الأعلاف حتى الآن، خاصة في المناطق الريفية، أما في

المناطق الحضرية التي تشهد كثافة سكانية عالية وتعقيداً في إدارة النفايات، فإن هذه الممارسات أقل شيوعاً.

2.4.I. المعالجة البيولوجية:

تتمثل عمليات المعالجة البيولوجية في تحويل النفايات باستخدام الكائنات الحية، وتشمل التكنولوجيا الحيوية والكيمياء الحيوية، وتُعد العمليات الكيميائية الحيوية بطيئة بالمقارنة مع التحويل الحراري الكيميائي، ولكنها تتطلب كمية أقل من الطاقة الخارجية ونظراً لحاجة جميع الكائنات الحية إلى الماء للبقاء على قيد الحياة، فإن المعالجة البيولوجية تتم دائماً في بيئة رطبة، وبالتالي فإن التحويل البيوكيميائي يتم بشكل رئيسي على النفايات ذات المستويات العالية من الرطوبة.

3.4.I. المعالجة الفيزيائية والكيميائية:

تتضمن المعالجة الفيزيائية والكيميائية عمليات التحويل التي تتم عن طريق التفاعلات الكيميائية أو تطبيق القوة الفيزيائية والميكانيكية، و يُعتبر إنتاج وقود الديزل الحيوي من خلال عملية الأسترة التبادلية واحدة من العمليات الكيميائية المهمة، بالإضافة إلى ذلك يتم استخدام التكتيف الفيزيائي لإنتاج الكريات والقوالب، تُطبق عملية الأسترة التبادلية عادة على النفايات الحيوية السائلة لإنتاج الوقود، في حين يتم استخدام التكتيف على النفايات الحيوية الخام كخطوة ما قبل المعالجة، حيث يُعتبر إنتاج قوالب الفحم من النفايات المعالجة مفيداً كوقود للطهي وغيرها من الاستخدامات.

4.4.I. المعالجة الحرارية والكيميائية:

يُستخدم التحويل الكيميائي الحراري لاستخلاص وإنتاج ناقلات الطاقة باستخدام الحرارة كطريقة لتحفيز التفاعلات الكيميائية، وتشمل هذه العمليات الاحتراق والإنحلال الحراري والتسييل، و تختلف هذه العمليات في درجة الحرارة ومعدل التسخين ومستوى الأكسجين المتاح أثناء العملية، و يمكن استخدام الطاقة المخزنة في الكتلة الحيوية مباشرة كحرارة عن طريق الاحتراق، أو تحويلها إلى وقود صلب أو سائل أو غازي، تتم عمليات التحويل الكيميائي الحراري بسرعة أكبر من العمليات الكيميائية الحيوية، لكنها تتطلب كميات كبيرة من الطاقة^[8].

5.I. التحديات في إدارة النفايات:

وتتضمن مجموعة من التحديات نذكر منها:

1.5.I. التحديات البيئية:

- تلوث التربة والمياه: يمكن أن تتسرب المواد الكيميائية الخطرة من النفايات إلى التربة والمياه، مسببة تلوثاً بيئياً.
- انبعاث الغازات الدفيئة: يؤدي تحلل بعض أنواع النفايات إلى إطلاق غازات دفيئة، مساهمة في تغير المناخ.

2.5.I. التحديات الصحية:

- انتشار الأمراض: يمكن أن يؤدي تركز النفايات إلى انتشار الأمراض بواسطة الحشرات والقوارض.
- تأثير النفايات الخطرة: التخلص السيء من النفايات الخطرة يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات صحية خطيرة.

3.5.I. التحديات الاقتصادية:

- تكاليف التخلص: يتطلب التخلص من النفايات، خاصة النفايات الخطرة، استثمارات مالية كبيرة.
- التأثير على السياحة والبيئة الجذابة: تؤثر النفايات على السياحة والبيئة الجمالية.

4.5.I. التحديات الاجتماعية:

- التأثير على المجتمعات المحلية: قد يعاني المجتمع المحلي من تأثيرات سلبية على مستوى الحياة نتيجة للنفايات.
- التوزيع غير عادل للمرافق: قد يكون هناك توزيع غير عادل للمرافق للتخلص من النفايات، مما يؤثر على بعض المجتمعات بشكل أكبر^[9].

6.I. الامتصاص الحيوي:**1.6.I. تعريف الامتصاص:**

هو عملية فيزيائية كيميائية ترتبط بها مادة واحدة بأخرى، يستخدم مصطلح الامتصاص لوصف كل من العمليات المعروفة باسمي الامتصاص والامتزاز، الامتصاص يشير إلى دمج مادة من حالة إلى حالة أخرى مختلفة، مثل: امتصاص السوائل في مادة صلبة أو امتصاص الغازات في الماء، بينما يشير الامتزاز إلى الالتصاق السطحي أو الربط بين الأيونات والجزيئات على سطح جزيء آخر، ويحدث على سطح ثنائي الأبعاد، و يُعتبر الامتصاص الحيوي نوعاً فرعياً من الامتزاز، حيث تكون المادة الماصة عبارة عن

مادة بيولوجية، حيث يعتبر الامتزاز الشكل الأكثر شيوعاً للامتصاص في التقنيات التقليدية، إلا أن مصطلح الامتصاص يفضل استخدامه لوصف أي نظام يتفاعل مع مادة ماصة، مما يؤدي إلى تراكمها على سطح المواد الماصة وإذا استمر الامتزاز في تشكيل سطح جديد ثلاثي الأبعاد، يُمكن تعريف هذا السطح الجديد بأنه راسب سطحي [10].

2.6.I. تعريف الامتصاص الحيوي:

يشير مصطلح "الامتصاص الحيوي" إلى إزالة المركبات (أي مركبات محددة محل اهتمام) من محلول عن طريق الامتزاز بمادة بيولوجية [11] ومن هنا، يُعتبر الامتصاص الحيوي وسيلة معالجة صديقة للبيئة، حيث تعتمد على تفاعل الكائنات الحية مع المواد المختلفة لاستيعابها أو استخدامها وتعود الفروق في التركيب الكيميائي للمواد الماصة الحيوية إلى التنوع في مجموعاتها الوظيفية المختلفة، التي تظهر على جدران الخلايا الحية، هذه المجموعات الوظيفية تؤثر على طبيعة وأداء الامتصاص الحيوي، وتعزز من قدرته على استيعاب المواد الضارة أو الزائدة وتحويلها [12].

7.I. العوامل المؤثرة في الامتصاص :

1.7.I. درجة الحموضة pH :

الرقم الهيدروجيني، للمحلول هي معلمة أساسية تؤثر على توزيع أيونات المعادن في المحلول من خلال تفاعلات التحلل المائي والتعقيد والأكسدة، ومن بين جميع العوامل الأخرى، يعد الرقم الهيدروجيني هو الأكثر أهمية لأنه يحدد ليس فقط نوع أيونات المعادن ولكن أيضاً شحنة موقع الامتصاص للكتلة الحيوية، لذا يجب مراعاة الحالة الأيونية للمجموعة الوظيفية في الكتلة الحيوية مع التركيب الكيميائي للمحلول المعدني عند قيم مختلفة للرقم الهيدروجيني، مع تغير الرقم الهيدروجيني يتغير سلوك المجموعة الوظيفية بشكل متناسق، و تعتمد عملية الامتزاز المعقدة على الرقم الهيدروجيني المحدد، وعندما يتغير الرقم الهيدروجيني للمحلول، يتأثر التكوين المعقد مما يؤدي إلى التغير في كفاءة الامتصاص الحيوي للكتلة الحيوية، و في الأوساط ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض، تكون الأيونات المعدنية عموماً مشحونة بشكل إيجابي وتتنجذب إلى الكتلة الحيوية سالبة الشحنة ومع زيادة الرقم الهيدروجيني للمحلول، تزداد كمية أيونات الهيدروكسيد، بشكل عام تترسب الأيونات المعدنية في نطاق الأس الهيدروجيني القلوي ولا تساهم في

الامتصاص الحيوي، مما يسلط الضوء على الحد الأعلى من الأس الهيدروجيني المطلوب للتطبيق [10].

2.7.I. التركيز:

يلعب تركيز المحلول المعدني دوراً حاسماً في قدرة المادة الحيوية على الامتصاص، حيث يؤدي زيادة التركيز إلى زيادة الامتصاص للمادة المذابة، و عندما يكون التركيز منخفضاً تكون نسبة مولات المذاب في مساحة السطح المتاحة منخفضة، ويصبح الجزء الممتص مستقلاً عن تركيز المعدن الأولي، أما في التركيزات الأعلى، فإن المواقع المتاحة للامتزاز تقل مقارنة بعدد مولات المذاب الموجود، مما يعني أن إزالة المذاب تعتمد بشكل كبير على تركيز المذاب الأولي [13].

3.7.I. درجة الحرارة :

عادةً ما تتأثر عملية الربط بدرجة الحرارة، حيث يمكن أن يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تعزيز إزالة النشاط الحيوي والطاقة الحركية للمادة الممتزة ، ومع ذلك قد يؤدي ارتفاع درجة الحرارة المفرط في بعض الأحيان إلى تلف البنية الفيزيائية للمادة الحيوية الماصة، وتعتمد قدرة الامتصاص الحيوي لأيونات المعادن على التفاعل بين المادة الحيوية الماصة وأيونات المعادن، التي قد تكون طاردة أو ماصة للحرارة [14].

4.7.I. وقت التلامس:

يشير وقت التلامس إلى الوقت اللازم لربط ملوث مضاد حيوي بسطح المادة الماصة الحيوية، لتحقيق التوازن، تعتبر الدراسات الحركية ضرورية لتقييم أداء الممتص الحيوي في إزالة بقايا المضادات الحيوية، بشكل عام تزداد كفاءة الامتصاص الحيوي مع زيادة وقت الاتصال [15].

8.I. مزايا وعيوب الامتصاص الحيوي:

1.8.I. المزايا:

- ✓ إنتاج غير مكلف للكتلة الحيوية (البكتيريا أو الفطريات).
- ✓ استخدام الكتلة الحيوية لإزالة المعادن الثقيلة.
- ✓ امتصاص المعادن الثقيلة المتعددة في وقت واحد.
- ✓ معالجة كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي.

- ✓ لا حاجة للإضافات الكيميائية فهي انتقائية للغاية لاستيعاب وإزالة معادن معينة.
- ✓ وظيفية في نطاق واسع من الظروف بما في ذلك درجة الحرارة، ودرجة الحموضة، ووجود أيونات معدنية أخرى، وما إلى ذلك.
- ✓ امتزاز سهل للمعادن المرتبطة بالكتلة الحيوية.
- ✓ انخفاض حجم إنتاج النفايات أو المواد السامة.
- ✓ التجديد حيث يمكن استخدام المواد الماصة الحيوية المستخدمة عدة مرات.
- ✓ كفاءة التكلفة إذ يتم استخدام المواد الماصة الحيوية من النفايات المتوفرة بكثرة في بيئتنا [16، 17].

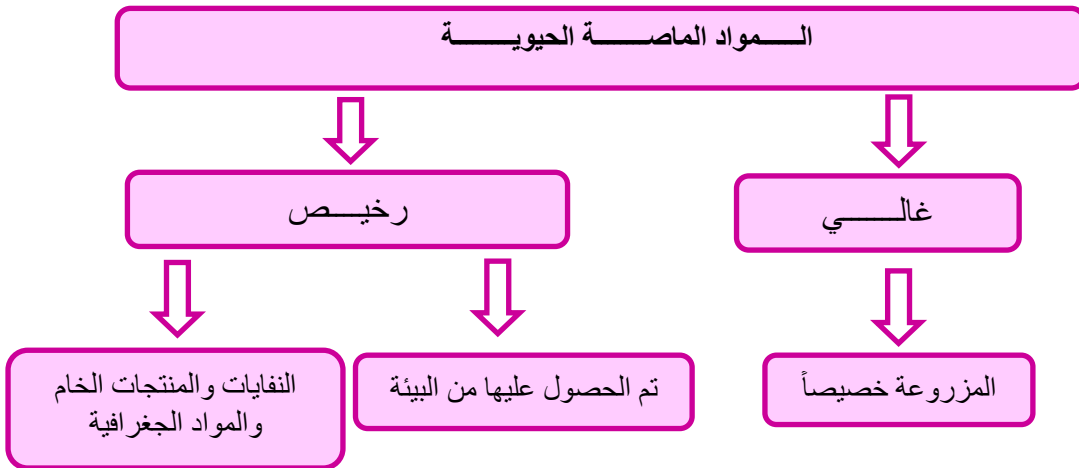
2.8.I. العيوب :

- ✓ تشبع المواقع النشطة لروابط الربط المعدنية.
- ✓ الامتصاص العكسي للمعادن على الكتلة الحيوية.
- ✓ يتأثر الامتصاص الحيوي لأيونات المعادن بشدة بخصائص الماء المراد معالجته.
- ✓ يتطلب تقييم دقيق لأداء الامتزاز المعدني للمواد البيولوجية في أنظمة محاليل متعددة المعادن قبل التطبيق العملي [16] [18].

9.I. المواد الماصة الحيوية:

1.9.I. تعريف:

تعرف المواد الحيوية كمادة حيوية ماصة على أنها مجموعة واسعة من المواد المتوفرة في الطبيعة، والتي تستخدم لإزالة الملوثات المختلفة من البيئة، و تتضمن هذه المواد الكتلة الحيوية الميكروبية والنباتية والحيوانية، بالإضافة إلى منتجاتها المشتقة، والتي تمتلك خصائص مميزة [19]، يوضح الشكل (4-I) مختلف مصادر المواد الحيوية الماصة.



الشكل (4-I): مختلف مصادر المواد الحيوية الماصة المستخدمة في عملية الامتصاص الحيوي [19].

2.9.I. تطبيقات المواد الماصة الحيوية:

1.2.9.I. امتصاص المعادن الثقيلة:

أدى تصريف مياه الصرف الصحي ومياه المصانع غير المعالجة إلى زيادة تلوث المجاري المائية بالمعادن الثقيلة، حيث تعتبر المعادن الثقيلة ضارة بالحياة المائية وصحة الإنسان بسبب ارتفاع مستوى سميتها وصعوبة تحللها، ومن ثم فقد اجتذبت الدراسات المتعلقة بإزالة المعادن الثقيلة الكثير من الاهتمام لمكافحتها هذه المشكلة [20].

2.2.9.I. امتزاز الصبغة:

امتصاص الأصباغ يشكل تحدياً بيئياً بسبب كمياته الكبيرة التي يتم إنتاجها وصرفها في البيئة منذ القرن الماضي، نتيجة للتصنيع المستمر للطباعة والصبغة، وتعتبر الأصباغ مركبات كيميائية أساسية تستخدم على نطاق واسع في تلوين منتجات متنوعة في مختلف المجالات، حيث يتم استخدام أكثر من 10,000 نوع مختلف من الأصباغ في العمليات الصناعية، وتتجاوز كمية إنتاجها سنوياً 0.7 مليون طن على مستوى العالم وبالإضافة إلى التأثير لتلوين المنتجات، فإن الأصباغ المتدفقة في مياه الصرف الصحي تشكل تهديداً بيئياً يمكن أن يؤثر سلباً على النظم البيئية والكائنات الحية، لذا فإن الحاجة الملحة إلى استخدام مواد ماصة حيوية فعالة في معالجة مياه الصرف الصحي أصبحت أمراً ضرورياً، حيث تمت

محاولات عديدة مؤخرًا لمعالجة الأصباغ المختلفة في الماء باستخدام مجموعة متنوعة من المواد الماصة الحيوية، وذلك في إطار جهود مستمرة للتخفيف من تأثيرها على البيئة^[21].

3.2.9.I. امتزاز الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات (PAHs):

PAHs: هي ملوثات عضوية دقيقة، وهي مركبات ثابتة في البيئة بسبب طبيعتها الكارهة للماء، و أدت المخاوف بشأن آثارها الضارة على صحة الإنسان والبيئة إلى إجراء دراسات مستفيضة حول أنواع مختلفة من الطرق لإزالة الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات^[22] بسبب تأثيرها السلبي على البيئة وانخفاض معدل التحلل الحيوي لل PAH يتطلب الإزالة الفورية لهذه الملوثات، إذ يعد الامتصاص الحيوي لل PAH بواسطة الكتلة الحيوية الحية أو الميتة تقنية معالجة فعالة لإزالة هذه الملوثات^[23].

4.2.9.I. امتصاص الزيوت:

على مدى العقود القليلة الماضية، شهدنا زيادة ملحوظة في أنشطة التنقيب عن النفط والغاز نتيجة للطلب المتزايد على الطاقة المرتبطة بالإنتاج، حيث يسبب انسكاب النفط في المحيطات والتخلص غير المناسب من النفايات النفطية في تداعيات بيئية خطيرة، مثل تلوث المياه الجوفية وفقدان التنوع البيولوجي وتدهور النظم البيئية، من أجل معالجة هذه الآثار السلبية، يعتبر امتزاز النفط باستخدام المواد الماصة الحيوية واحدًا من أكثر الخيارات التكنولوجية فعالية واقتصادية، حيث يمكنها تحجيم المياه الملوثة بالزيوت وتنظيفها بشكل فعال^[24].

10.I. نماذج حركية الامتصاص الحيوي:

توفر دراسات حركية الامتصاص الحيوي المعلومات الممكنة حول الآلية المشاركة في عملية الامتصاص الحيوي، حيث تلعب حركية الامتصاص الحيوي دورًا حاسمًا في اختيار وتصميم أنظمة المفاعلات وكذلك في عمليات معالجة النفايات السائلة الصناعية، و توضح حركية الامتصاص الحيوي أيضًا معدل الترابط المذاب على سطح المادة الماصة الحيوية^[19].

لدراسة حركية الامتصاص الحيوي، يجب تحديد جودة المادة الماصة الحيوية، و يتم الحكم على جودة المادة الماصة الحيوية من خلال تحديد قدرة الامتصاص/ إمتصاص المادة الحيوية الماصة للمذاب، أي تركيز المادة الملوثة التي تمت إزالتها بواسطة المادة الماصة الحيوية من المحلول السائب أثناء الحالة

التجريبية ، بشكل عام يتم تحديد قدرة الامتصاص من خلال أخذ كميات أولية مختلفة من المواد المذابة في تجربة الامتصاص الحيوي، يتم حساب امتصاص المذاب بواسطة مادة حيوية ماصة باستخدام المعادلة التالية [23]:

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{M} \dots \dots \dots (1)$$

q = كمية المادة الممتصة حيوياً بواسطة الكتلة الحيوية (mg/g) .

C_i = التركيز الأولي للمحلول (mg/L) .

C_e = تركيز المحلول (mg/L) عند وقت محدد .

V = حجم الحل التجريبي (L) .

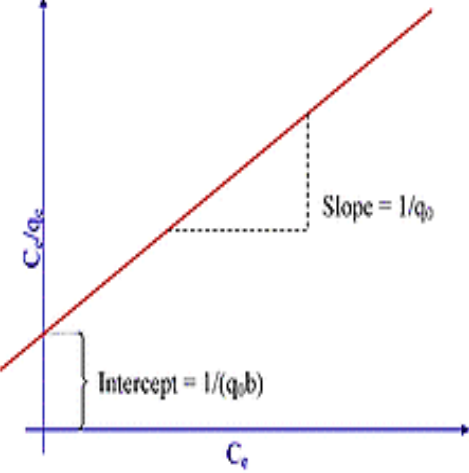
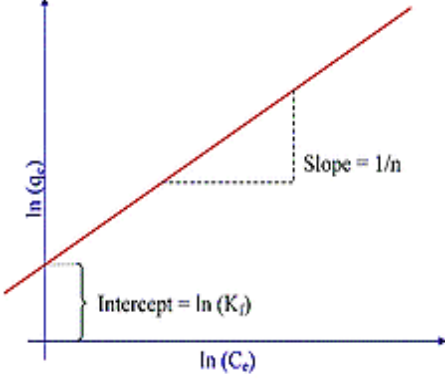
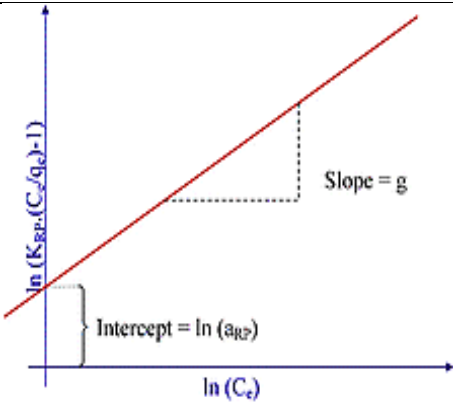
M = كتلة المادة الممتصة (g) .

لدراسة أداء الامتصاص لمادة حيوية ماصة، تمت دراسة نماذج الإيزوترم للامتصاص الحيوي، في درجة حرارة الامتصاص الحيوي، يتنوع تركيز المذاب في تجربة الامتصاص الحيوي بينما تظل المعلمات الأخرى مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة والقوة الأيونية ثابتة، و تمت دراسة مجموعة متنوعة من النماذج لتوصيف تساوي درجة الحرارة في الامتصاص الحيوي [19].

1.10.I. نماذج حركية الإمتصاص:

هناك العديد من النماذج التي تشمل الامتصاص متساوي درجة الحرارة (ثبوت درجة الحرارة) فروندليتس، ولانجميور، وريدليتس-بيترسون، و يتم عرض نماذج الامتصاص متساوي الحرارة المشترك ومعادلتها ورسمها البياني في الجدول (1-I) أدناه [25، 26].

الجدول (1-1): نماذج الامتصاص المختلفة.

| الرسم البياني | المعادلة |
|---|--|
|  | <p>نموذج لانجموير Langmuir :</p> $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_0 b} + \frac{C_e}{q_0}$ <p>C_e (mg/L) : تركيز المحلول.</p> <p>q_e (mg/g): كمية المادة الممتزة الممتصة على المادة الحيوية الماصة عند التوازن.</p> <p>q_0 (mg/g) : قدرة الامتزاز للممتزات.</p> <p>b (L/mg) : ثابت تساوي درجة حرارة لانجموير</p> |
|  | <p>نموذج فروندليتش Freundlich :</p> $\ln(q_e) = \ln(K_f) + \frac{1}{n} \ln(C_e)$ <p>K_f ($\text{mg}^{1-(1/n)} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$) : ثابت فروندليتش متساوي درجة الحرارة</p> <p>n : أس فروندليتش</p> |
|  | <p>نموذج ريدليتش-بيترسون Redlich-Peterson :</p> $\ln\left(K_{RP} \frac{C_e}{q_e} - 1\right) = \ln(a_{RP}) + g \ln(C_e)$ <p>K_{RP} (g/L) : ثابت تساوي الحرارة بين ريدليتش وبيترسون</p> <p>a_{RP} (L/mg) : ثابت ريدليتش-بيترسون</p> <p>g : أس ريدليتش - بيترسون (القيم بين 0 و 1)</p> |

2.10.I. تأثير المواد الحيوية الماصة على إزالة الأصباغ من المحاليل المائية.

يمكن أن تتأثر فعالية المواد الممتزة حيويًا في إزالة الأصباغ من المحاليل المائية، مثل الأزرق الميثيلين والأحمر البنغالي، بشكل كبير بالخصائص الكيميائية للأصباغ، وخاصة شحنتها، حيث يعتبر الأزرق الميثيلين صبغة موجبة الشحنة (كاتيونية)، بينما يعتبر الأحمر البنغالي صبغة سالبة الشحنة (أنيونية)، بينما يعتمد التفاعل بين هذه الأصباغ والمواد الممتزة حيويًا إلى حد كبير على كيمياء سطح المادة الممتزة حيويًا، بما في ذلك شحنتها والمجموعات الوظيفية وبنية المسام، فيما يلي كيفية تأثير هذه الخصائص على عملية الامتصاص [27، 28]:

+ تفاعلات الشحنة:

الأزرق الميثيلين (صبغة كاتيونية): تميل المواد الحيوية الممتزة ذات الأسطح المشحونة سلبًا أو التي تحتوي على مجموعات وظيفية مثل: مجموعات الكربوكسيل والهيدروكسيل والفوسفات إلى جذب وارتباط جزيئات الصبغة الموجبة الشحنة من خلال قوى الجذب الكهروستاتيكي، وهذا يجعل هذه المواد الممتزة فعالة بشكل خاص في إزالة الأصباغ الكاتيونية من المحاليل.

الأحمر البنغالي (صبغة أنيونية): وعلى العكس من ذلك، يمكن للمواد الممتزة حيوية التي تمتلك أسطحًا مشحونة إيجابًا أو مجموعات أمينية أن تمتص بشكل فعال الأصباغ سالبة الشحنة مثل الأحمر البنغالي، ويعمل التجاذب الكهروستاتيكي بين المواضع المشحونة إيجابًا للمادة الممتزة حيوية وجزيئات الصبغة سالبة الشحنة على تسهيل الامتصاص.

+ حجم المسام ومساحة السطح:

تعتبر مساحة السطح الكبيرة وتوزيع حجم المسام المناسب أمرًا ضروريًا لامتصاص الصبغة الفعال، وتوفر مساحات السطح الأكبر المزيد من مواقع الامتصاص، بينما تضمن أحجام المسام المناسبة وصول جزيئات الصبغة إلى هذه المواقع، حيث يمكن للمواد الحيوية الممتزة ذات البنى المجهرية أو المتوسطة المسام أن تعزز امتصاص كل من الأزرق الميثيلين والأحمر البنغالي عن طريق توفير مساحة كافية لهذه الجزيئات للارتباط.

المجموعات الوظيفية:

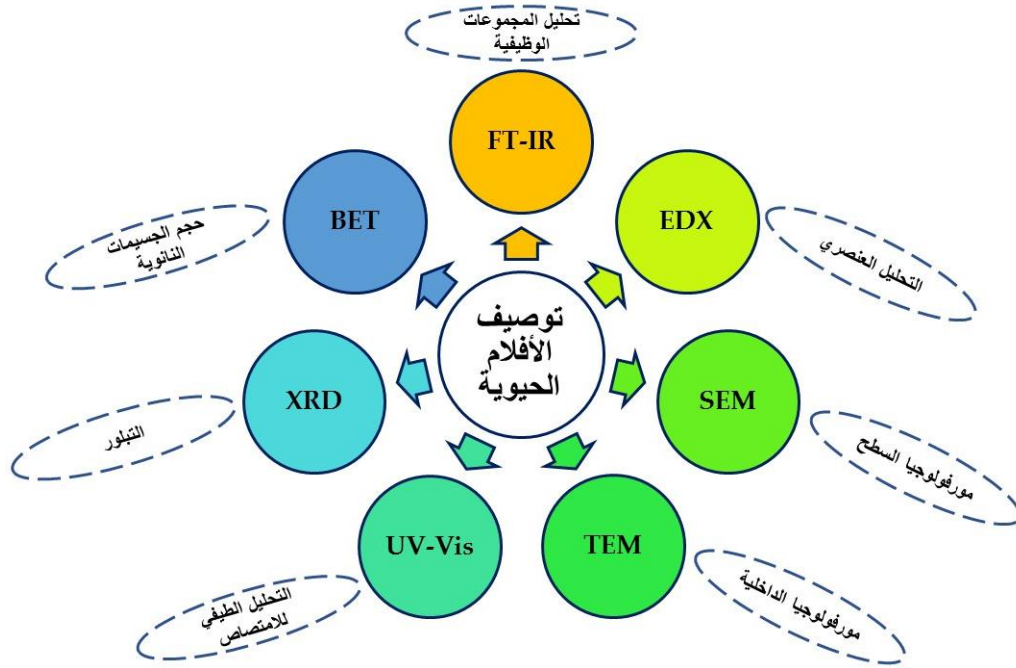
يؤثر وجود مجموعات وظيفية محددة على المادة الممتزة حيويًا على تقاربها مع أنواع مختلفة من الأصباغ، على سبيل المثال قد تظهر المواد الممتزة حيوية الغنية باللجنين (مع وجود مجموعات فينولية) تقاربًا أكبر للأصباغ الكاتيونية بسبب تفاعلات الارتباط الهيدروجيني، بالإضافة إلى التفاعلات الكهروستاتيكية.

رقم الهيدروجيني للمحلول:

يؤثر رقم الهيدروجيني (pH) لمحلول الصبغة على حالة تأين كل من جزيئات الصبغة والمجموعات الوظيفية على سطح المادة الممتزة حيويًا، على سبيل المثال عند مستويات الأس الهيدروجيني المرتفعة، يمكن أن تتنافس زيادة أيونات الهيدروكسيد (OH) مع الأصباغ الأنثيونية على مواقع الامتصاص، مما يقلل فعالية امتصاص الأصباغ الأنثيونية مثل الأحمر البنغالي، وبالمثل يمكن أن يؤدي انخفاض رقم الهيدروجيني إلى اكتساب المجموعات الوظيفية بروتونا على المادة الممتزة حيويًا، مما يعزز امتصاص الأصباغ الكاتيونية مثل الأزرق الميثيلين.

11.I. التقنيات التحليلية لتوصيف المواد الحيوية الماصة:

هناك العديد من التقنيات التحليلية التي تم استخدامها لتوصيف المواد الحيوية الماصة منها: التحليل الطيفي للامتصاص الذري (AAS)، أقطاب الانتقاء الأيوني (ISE)، التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)، المعايرة potentiometric، المجهر الإلكتروني الماسح أو النفاذي المقرون بتحليل طاقة الأشعة السينية (SEM/TEM-EDX)، التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء أو تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (IR أو FTIR)، التحليل الطيفي لامتصاص الأشعة السينية (XAS)، تحليل حيود الأشعة السينية (XRD)، التحليل الطيفي بالرنين المغناطيسي الإلكتروني (ESR)، الرنين المغناطيسي النووي (NMR)، التحليل الطيفي الإلكتروني للأشعة السينية (XPS)، التحليل الوزني الحراري (TGA)، والتحليل الحراري المسحي التفاضلي (DSC). و قد تكمل هذه التقنيات بعضها البعض في إعطاء نظرة ثاقبة لآليات الامتصاص الحيوي كما هي موضحة في الشكل (5-I) [10].



الشكل (5-1): التقنيات التحليلية لتوصيف المواد الحيوية الماصة.

1.11.I. المجهر:

باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، يمكن دراسة البنية الفيزيائية والتشكل السطحي للمادة الماصة بطريقة بسيطة، و يتيح SEM رؤية المسام الموجودة على سطح المادة الماصة الحيوية بوضوح، كما يمكن رصد الإرتباط المعدني على سطحها من خلال صور SEM الملتقطة قبل وبعد عملية الامتزاز [26].

2.11.I. التحليل الطيفي:

تعتبر تقنية التحليل الطيفي، مثل FTIR والانعكاس الكلي الموهن لتحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR)، من الأساليب الفعالة لتحديد وتحليل تركيب المواد الحيوية، باستخدام FTIR يمكننا اكتشاف المجموعات الوظيفية في المادة ودراسة تأثير عمليات العلاج والامتزاز عليها، مما يساعد في توضيح وفهم آليات الامتصاص الحيوي [29].

3.11.I. مساحة السطح وحجم المسام:

تحدد المساحة السطحية للمواد من خلال دراسات امتصاص وامتزاز النيتروجين عند درجة حرارة معينة، وهي 77.3 كلفن، يتم ذلك بواسطة استخدام طرق مثل: بروناور وإيميت وتيلر (تحليل BET)،

وكذلك طرق نظرية دالة الكثافة (DFT) وطرق BJH ، يُعتبر تحليل BET الأسلوب الأكثر شيوعاً لتحديد المسامية ومساحة سطح المادة، بينما تُستخدم طرق DFT و BJH لتحديد حجم المسام [30][31].

4.11.I. الاستقرار الحراري :

تحليل الثبات الحراري للمواد يتم عادة باستخدام تقنيتين: التحليل الحراري الوزني (TGA) وقياس طاقة الجزيئات بالمسح الضوئي التفاضلي (DSC) في TGA، يتم تسخين العينة بمعدل محدد ومتابعة تغير وزنها مع الزمن. يتم رسم منحنى بياني يظهر علاقة بين درجة الحرارة والتغير في الوزن، وتبقى العينة مستقرة حرارياً حتى تصل درجة الحرارة التي يبدأ فيها فقدان الوزن [26].

12.I. اختيار وتقييم المواد الماصة الحيوية:

عملية اختيار وتقييم المواد الماصة الحيوية تتضمن الخطوات التالية [32]:

✓ **اختيار المادة المناسبة:** يتم اختيار المادة الماصة الحيوية المناسبة استناداً إلى التوازن الحراري ومعدل الانتشار، بالإضافة إلى الاعتبارات الاقتصادية والتوافر.

✓ **التقييم العملي:** يتم تقييم أداء المواد الماصة الحيوية من خلال اختبارات عملية مثل: امتصاص دفعة التوازن ودراسات الامتصاص الديناميكي المستمر.

✓ **استخدام النماذج الرياضية:** يتم استخدام نماذج رياضية مثل نموذج لانجميور ونموذج فروندليتش لتحليل البيانات وتقييم أداء المواد الماصة الحيوية.

✓ **تقييم الأداء:** يُقِيم أداء الامتصاص الحيوي عن طريق دراسة قدرة المادة على الارتباط بالمعادن وتحليل النتائج التجريبية للمواد الماصة الحيوية.

13.I. الفرق بين الامتصاص الطبيعي والامتصاص الكيميائي:

يوضح **الجدول (2-I)** أهم الفروقات بين الإمتصاص الطبيعي والكيميائي [26].

الجدول (2-I): الفرق بين الامتصاص الطبيعي والامتصاص الكيميائي.

| الإمتصاص الطبيعي | الإمتصاص الكيميائي |
|--------------------------|----------------------|
| غير محدد | محدد للغاية |
| طاقة التنشيط ليست ضرورية | طاقة التنشيط ضرورية |
| عملية الامتصاص سريعة | عملية الامتصاص بطيئة |

| | |
|--|--|
| طبقة أحادية أو متعددة الطبقات | أحادي الطبقة |
| غير محددة السطح | سطح محدد |
| تفضل هذه العملية الضغط العالي والضغط المنخفض يسبب الامتزاز | الضغط العالي مناسب، لكن الضغط المنخفض لا يسبب الامتزاز |
| يتم امتصاص المزيد من الغازات القابلة للتسييل بسهولة | الغازات التي تشكل مركبات مع الممتزات وحدها تخضع للامتصاص الكيميائي |
| مهم فقط عند درجة الحرارة المنخفضة جداً (عند درجة حرارة أعلى، تتخفف عملية الامتصاص الفيزيائي) | يمكن على مدى واسع من درجات الحرارة (مع زيادة درجة الحرارة، يزداد الامتزاز الكيميائي أولاً ثم يتناقص) |
| لا يوجد نقل للإلكترون، بينما يحدث استقطاب الممتزات | يؤدي نقل الإلكترون إلى تكوين رابطة بين المادة الممتزة والمادة |

يحظى استغلال النفايات العضوية في إنتاج المواد الممتزة حيويًا باهتمام كبير وذلك بسبب فوائده البيئية والإقتصادية منها: تقليل النفايات، فعالية من حيث التكلفة، استخدام الموارد المستدامة، تخفيف التلوث، الابتكار والتنمية المحلية، الامتثال للوائح التنظيمية، لا يوفر استخدام النفايات العضوية لإنتاج مواد امتصاص حيوية حلاً فعالاً لإدارة النفايات فحسب، بل يلعب أيضاً دوراً مهماً في معالجة البيئة وحفظ الموارد والتنمية المستدامة، حيث سنتطرق في الفصل الموالي إلى دراسات سابقة حول استغلال النفايات العضوية في إنتاج المواد الحيوية الماصة واستغلالها في معالجة المياه الملوثة.

مراجع الفصل الأول

- [1] M. H. Emadi and M. Rahmanian, "Commentary on challenges to taking a food systems approach within the food and agriculture organization (FAO)," *Food Security and Land Use Change under Conditions of Climatic Variability: A Multidimensional Perspective* , pp. 19-31, 2020.
- [2] B. M. Popoola, "Biodegradable Waste," in *Recycling Strategy and Challenges Associated with Waste Management Towards Sustaining the World*, ed: IntechOpen, 2022.
- [3] A. Siddiqua, J. N. Hahladakis, and W. A. K. Al-Attiya, "An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, pp. 58514-58536, 2022.
- [4] M. Kacprzak, I. Kupich, A. Jasinska, and K. Fijalkowski, "Bio-based waste'substrates for degraded soil improvement—advantages and challenges in European context. *Energies* 15 (1): 385," ed, 2022.
- [5] X. Liu, Y. Xie, and H. Sheng, "Green waste characteristics and sustainable recycling options. *Resourc Environ Sustain* 11: 100098 "ed, 2022.
- [6] A. I. Osman, E. M. A. El-Monaem, A. M. Elgarahy, C. O. Aniagor, M. Hosny, M. Farghali, *et al.*, "Methods to prepare biosorbents and magnetic sorbents for water treatment: a review," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 21, pp. 2337-2398.2023 ,
- [7] K. A. Adegoke and O. S. Bello, "Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents," *Water resources and industry*, vol. 12, pp. 8-24, 2015.
- [8] C. R. Lohri, S. Diener, I. Zabaleta, A. Mertenat, and C. Zurbrügg, "Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 16, pp. 81-130, 2017.
- [9] H. Gutama and F. Iresha, "Evaluation of solid waste management effectiveness in Indonesia from 2019-2021: a geographic information system analysis," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, p. 012067.
- [10] M. Fomina and G. M. Gadd, "Biosorption: current perspectives on concept, definition and application," *Bioresource technology*, vol. 160, pp. 3-14, 2014.
- [11] O. A. Ramírez Calderón, O. M. Abdeldayem, A. Pugazhendhi, and E. R. Rene, "Current updates and perspectives of biosorption technology: an alternative for the removal of heavy metals from wastewater," *Current Pollution Reports*, vol. 6, pp. 8-27, 2020.
- [12] B. Brazesh, S. M. Mousavi, M. Zarei, M. Ghaedi, S. Bahrani, and S. A. Hashemi, "Biosorption," in *Interface Science and Technology*. vol. 33, ed: Elsevier, 2021, pp. 587-628.
- [13] P. Musonge and C. Harripersadth, "The Applicability of Eggshell Waste as a Sustainable Biosorbent Medium in Wastewater Treatment—A Review," *Advances in Wastewater Treatment I*, vol. 91, pp. 171-192, 2021.
- [14] A. Singh and P. Saini, "Biosorption: A novel biotechnological application for removal of hazardous pollutants," *Innovations in Food Technology: Current Perspectives and*

- Future Goals*, pp. 341-360, 2020.
- [15] B. Madhogaria, S. Banerjee, A. Kundu, and P. Dhak, "Efficacy of new generation biosorbents for the sustainable treatment of antibiotic residues and antibiotic resistance genes from polluted waste effluent," *Infectious Medicine*, p. 100092, 2024.
- [16] S. Shamim, "Biosorption of heavy metals," *Biosorption*, vol. 2, pp. 21-49, 2018.
- [17] P. Senthil Kumar and K. Grace Pavithra, "Biosorption strategies in the remediation of toxic pollutants from contaminated water bodies," *Bioremediation: applications for environmental protection and management*, pp. 127-163, 2018.
- [18] R. K. Gautam, M. C. Chattopadhyaya, and S. K. Sharma, "Biosorption of heavy metals: recent trends and challenges," *Wastewater reuse and management*, pp. 305-322, 2012.
- [19] I. Michalak, K. Chojnacka, and A. Witek-Krowiak, "State of the art for the biosorption process—a review," *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 170, pp. 1389-1416, 2013.
- [20] Z. T. Chong, L. S. Soh, and W. F. Yong, "Valorization of agriculture wastes as biosorbents for adsorption of emerging pollutants: Modification, remediation and industry application," *Results in Engineering*, vol. 17, p. 100960, 2023.
- [21] M. Kadhom, N. Albayati, H. Alalwan, and M. Al-Furaiji, "Removal of dyes by agricultural waste," *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 16, p. 100259, 2020.
- [22] S. Lamichhane, K. B. Krishna, and R. Sarukkalige, "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal by sorption: a review," *Chemosphere*, vol. 148, pp. 336-353, 2016.
- [23] M. Gahlout, H. Prajapati, N. Tandel, and Y. Patel, "Biosorption: An eco-friendly technology for pollutant removal," *Microbial Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 2*, pp. 207-227, 2021.
- [24] A. T. Hoang, X. P. Nguyen, X. Q. Duong, and T. T. Huynh, "Sorbent-based devices for the removal of spilled oil from water: a review," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 28876-28910, 2021.
- [25] N. K. Gupta, A. Gupta, P. Ramteke, H. Sahoo, and A. Sengupta, "Biosorption-a green method for the preconcentration of rare earth elements (REEs) from waste solutions: A review," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 274, pp. 148-164, 2019.
- [26] K. J. Samuel PN, M. R. Soosai, I. Ganesh Moorthy, and K. Sankar, "Material and process selection for biosorption," *Bioprocess Engineering for Bioremediation: Valorization and Management Techniques*, pp. 241-259, 2020.
- [27] T. A. Aragaw and F. M. Bogale, "Biomass-based adsorbents for removal of dyes from wastewater: a review," *Frontiers in Environmental Science*, vol. 9, p. 764958, 2021.
- [28] V. I. Mabayo and R. Orale, "Agricultural-based Biomass as an Efficient Adsorbent in the Removal of Dyes in Dye-contaminated Wastewater: A Mini Review," *CURRENT APPLIED SCIENCE AND TECHNOLOGY*, pp. e0257011-e0257011, 2023.
- [29] D. P. Mungasavalli, T. Viraraghavan, and Y.-C. Jin, "Biosorption of chromium from aqueous solutions by pretreated *Aspergillus niger*: batch and column studies," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 301, pp. 214-223, 2007.
- [30] E. P. Barrett, L. G. Joyner, and P. P. Halenda, "The determination of pore volume and

- area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms," *Journal of the American Chemical society*, vol. 73, pp. 373-380, 1951.
- [31] S. Brunauer, P. H. Emmett, and E. Teller, "Adsorption of gases in multimolecular layers," *Journal of the American chemical society*, vol. 60, pp. 3.1938 ,319-09
- [32] J. Wang and C. Chen, "Biosorbents for heavy metals removal and their future," *Biotechnology advances*, vol. 27, pp. 195-226, 2009.

الفصل الثاني

إن إنتاج مواد حيوية ماصة من النفايات العضوية له أهمية كبيرة لاستدامة البيئة والكفاءة الاقتصادية وممارسات إدارة النفايات المبتكرة، حماية البيئة من المعادن الثقيلة والملوثات العضوية في المسطحات المائية، إنتاج فعال من حيث التكلفة، كفاءة الموارد، كفاءة إزالة الملوثات، التنمية المحلية وخلق فرص العمل، الحد من استخدام المواد الكيميائية الاصطناعية، فوائد تنظيمية وامتثالية، يقدم إنتاج مواد امتصاص حيوية من النفايات العضوية العديد من المزايا، بدءًا من تعزيز الصحة البيئية إلى تعزيز الاستدامة الاقتصادية والموارد، حيث إنه يجسد نهجًا استباقيًا لإدارة النفايات ومكافحة التلوث، حيث يدمج الرعاية البيئية مع الجدوى الاقتصادية والابتكار، نعرض في هذا الفصل العديد من الدراسات السابقة حول إنتاج المواد الحيوية الماصة واستغلالها في معالجة المياه الملوثة.

1.II. الدراسة الأولى: قشر البرتقال كمادة ماصة منخفضة التكلفة لإزالة أيون الكاديوم الثنائي (II): تقييمات الديناميكا الحرارية والديناميكية الحرارية والتحسين [1].

Orange peel as low-cost adsorbent in the elimination of Cd (II) ion: kinetics, isotherm, thermodynamic and optimization evaluations.

المؤلفين وسنة النشر: Temilade Fola Akinhanmi, et al. 2020

الهدف: إزالة أيونات الكاديوم الثنائي (II) من المحاليل المائية باستخدام مادة ماصة منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة مُصنعة من قشر البرتقال المُهدر.

التجربة:

✓ تم استخدام مسحوق قشر البرتقال كمادة ماصة لإزالة أيونات الكاديوم الثنائي (II) من المحاليل المائية، وتمت دراسة تأثير ظروف التشغيل مثل: درجة الحرارة، وقت التلامس، كمية المادة الماصة، درجة حموضة المحلول، التركيز الابتدائي للمادة الممتصة.

✓ تم استخدام تقنيات مختلفة لدراسة خصائص سطح مسحوق قشر البرتقال، مثل: المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، مطياف الأشعة السينية (XRD)، مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FT-IR).

النتائج:

✓ أظهرت النتائج أن قشر البرتقال كان فعالاً في إزالة أيونات الكاديوم (II) من الماء.

✓ تم الحصول على أفضل ظروف الإمتزاز عند: درجة حرارة 45 درجة مئوية، وقت تلامس 120 دقيقة، كمية مادة ماصة 0.04 g/L، درجة حموضة المحلول 5.5، التركيز الابتدائي للمادة الممتصة 240 mg/L، و قدرة امتصاص قشر البرتقال 128.23 mg/L.

✓ زيادة كمية المادة الماصة وانخفاض تركيز أيون الكاديوم (II) يزيد من نسبة إزالة أيون الكاديوم (II).

الخلاصة: قشر البرتقال مادة ماصة فعالة منخفضة التكلفة لإزالة أيونات الكاديوم (II) من الماء، ويمكن استخدام هذه الدراسة لتطوير تقنيات جديدة لمعالجة مياه الصرف الصحي الملوثة بالمعادن الثقيلة.

2.II. الدراسة الثانية: امتصاص صبغة أزرق الميثيلين باستخدام *Enterolobium contortisiliquum* كمادة حيوية ممتزة: الدراسة التجريبية والنمذجة الرياضية والمحاكاة [2].

Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: Experimental, mathematical modeling and simulation

المؤلفين وسنة النشر: Jarrie P. Lima, et al. 2020

الهدف: إزالة الأصباغ الكاتيونية من المياه الملوثة للحد من تأثيرها على النظام البيئي المائي.

التجربة:

✚ استخدام نبات *Enterolobium contortisiliquum* كمادة ماصة حيوية لامتصاص الأزرق الميثيلين، وهو صبغة ذات الطبيعة الكاتيونية.

✚ تقييم فعالية المادة الحيوية الماصة من خلال تحليل خصائصها البنيوية والسطحية، ودراسة حركية الامتصاص، وقياس قدرتها على إزالة الصبغة.

النتائج:

✓ أظهر نبات *Enterolobium contortisiliquum* خصائص بنيوية وسطحية مناسبة لامتصاص.

✓ تمكن نموذج Langmuir من وصف توازن الامتصاص بدقة عالية.

✓ أظهرت نماذج الانتشار PVSDM وSDM أن الحمل الحراري هي الطريقة الأمثل في امتصاص الصبغة، وتراوح قيم معامل الانتشار بين $7.2 \sim 20.33 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$.

✓ أزلت المادة الحيوية الماصة أكثر من 79% من الأزرق الميثيلين من المحلول، مما يدل على كفاءتها

العالية في إزالة الأصباغ الكاتيونية.

الخلاصة: أثبتت الدراسة أن نبات *Enterolobium contortisiliquum* مادة ماصة حيوية فعالة لإزالة الأصباغ الكاتيونية من النفايات المائية، مما يجعلها بديلاً واعدًا صديقاً للبيئة لطرق المعالجة المستخدمة في معالجة المياه.

3.II. الدراسة الثالثة: مُمتصّ حيوي مُصنّع من قشور الأسماك لإزالة الكروم (III) [13].

Synthesized bioadsorbent from fish scale for chromium (III) removal

المؤلفون وسنة النشر: Firomsa Teshale, et al. 2020.

الهدف: إزالة أيونات معدن الكروم (III) من المياه الصناعية الملوثة باستخدام مخلفات قشور السمك كمادة ممتصة حيوية.

التجربة:

تم إجراء عملية امتصاص باستخدام كتل مختلفة من المادة الماصة، وقيمة الأس الهيدروجيني للمحلول، ومدة التلامس، وتم استخدام مخلفات قشور السمك كمادة ممتصة حيوية.

النتائج:

✓ تم تحقيق أعلى نسبة إزالة لأيونات معدن الكروم (III) قدرت بـ 99.7518% عند استخدام كتلة من المادة الماصة الحيوية تبلغ 0.8 g، قيمة الأس الهيدروجيني للمحلول 5، ومدة تلامس 90 دقيقة، مع تركيز ابتدائي 150 mg/L من أيونات الكروم.

✓ تتوافق بيانات امتصاصات الحرارة بشكل جيد مع نموذج Langmuir.

✓ تم تأكيد خصائص سطح قشور السمك المنشطة وقشور السمك المحملة بالكروم باستخدام تقنيات التحليل المختلفة.

4.II. الدراسة الرابعة: مواد ماصة حيوية مبتكرة تعتمد على نوى التمر لمعالجة المبيدات الحشرية

العضوية الفوسفورية من الماء [14].

Novel bioadsorbents based on date pits for organophosphorus pesticide remediation from water

المؤلفون وسنة النشر:

الهدف: اختبار كفاءة نواة التمر كمادة ماصة لإزالة المبيدات الحشرية الفوسفورية العضوية (بروفينوفوس) من المياه.

التجربة:

تم تحضير ثلاثة أنواع من المواد الماصة وهي نواة التمر المحمص، ونوى التمر المنشطة، ونوى التمر النانو-منشطة.

تم إجراء دراسات امتزاز دفعات لتقييم فعالية المواد الماصة في إزالة البروفينوفوس من الماء.

تم إجراء دراسة حرارية ديناميكية لتحديد تجانس وطبيعة الامتزاز التلقائي للمواد الماصة.

تم دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد الماصة باستخدام تقنيات مختلفة.

النتائج:

✓ كانت نواة التمر النانو-منشطة أكثر فعالية في إزالة البروفينوفوس من الماء، حيث وصلت نسبة الإزالة إلى 99.9%.

✓ زادت نسبة إزالة البروفينوفوس مع زيادة كمية المادة الماصة وانخفاض تركيز المبيدات الحشرية الأولي.

✓ كانت مساحة سطح نواة التمر النانو-منشطة هي الأعلى، مما أدى إلى زيادة قدرتها على الامتزاز.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن نواة التمر النانو-منشطة هي مادة ماصة حيوية فعالة منخفضة التكلفة لإزالة البروفينوفوس من الماء، تقدم تقدم هذه الدراسة بديلاً مستداماً للتقنيات التقليدية لمعالجة المبيدات الحشرية.

5.II. الدراسة الخامسة: بوليمير حيوي مشتق من السليلوز لإزالة الملوثات المعدنية غير العضوية السامة من المياه العادمة [5].

Cellulose-g-poly-(acrylamide-co-acrylic acid) polymeric bioadsorbent for the removal of toxic inorganic pollutants from wastewaters

المؤلفون وسنة النشر: Ashish Guleria, et al.2020

الهدف: تطوير ممتص حيوي جديد من السليلوز لإزالة الملوثات المعدنية غير العضوية السامة من مياه الصرف.

التجربة:

تم تعديل السليلوز عن طريق التطعيم بال copolymerization الحرة مع بولي أكريلاميد وحمض أكريليك.

تم تحليل البوليمرات المطعمة باستخدام تقنيات مطيافية FTIR و XRD و TGA و SEM-EDX.

تم اختبار قدرة الامتصاص للممتص الجديد باستخدام أيونات المعادن السامة $Cu^{+2}, Zn^{+2}, Cd^{+2}, Pb^{+2}$.

تم تحسين معايير الامتصاص مثل تأثير الأس الهيدروجيني (pH) ووقت التلامس ودرجة الحرارة وتركيز الأيونات المعدنية.

النتائج:

✓ أظهر ممتص البوليمر "السليلوز مطعم بـ (g-poly- (acrylamide-co-acrylic acid))" قدرة امتصاص عالية لأيونات المعادن السامة.

✓ كانت أقصى سعة امتصاص لأيونات $Cu^{+2}, Zn^{+2}, Cd^{+2}, Pb^{+2}$ على التوالي 101.73 و 61.84 و 209.64 و 55.04 mg/g.

✓ أثبتت النتائج أن الممتص الحيوي المنتج فعال في إزالة الملوثات المعدنية من مياه الصرف.

6.II. الدراسة السادسة: مسحوق قشر البيض كـممتص لإزالة الرصاص (II) في نهر بانكور¹⁶.

Eggshell Powder as an Adsorbent for Removal of Lead (II) in Panchor's River

المؤلفين وسنة النشر: Norul Ahsanah Aulia Mohamad Mahani et al.2021

الهدف: تحليل مقارنة كفاءة قشر البيض بالكربون المنشط لإزالة المعادن الثقيلة للرصاص الثنائي (II) من نهر بانكور.

التجربة:

تم تحضير قشر البيض ككربون منشط عن طريق التنشيط الفيزيائي والكيميائي.

تم اختبار كفاءة الكربون المنشط من قشر البيض لإزالة الرصاص من المحلول المائي.

تم مقارنة كفاءة الكربون المنشط من قشر البيض مع الكربون المنشط فيزيائياً.

النتائج:

- ✓ كفاءة الكربون المنشط كيميائياً لقشر البيض عالية حيث وصلت نسبة إزالة الرصاص إلى 48.21%.
 - ✓ كفاءة الكربون المنشط فيزيائياً لقشر البيض أقل حيث وصلت نسبة إزالة الرصاص إلى 32.14%.
- الخلاصة: بينت الدراسة أن كلا من الكربون المنشط لقشر البيض يعتبر امتصاصاً فعالاً لإزالة الرصاص من المحلول المائي للبيئة الطبيعية.

7.II. الدراسة السابعة: دراسات امتصاص دفعات على هجين هيدروجيل من الكيتوزان المعدل سطحياً وقشر البرتقال لإزالة أيونات الكروم (VI) والنحاس (II) من المياه العادمة الصناعية^[7].

Batch adsorption studies on surface tailored chitosan/orange peel hydrogel composite for the removal of Cr (VI) and Cu (II) ions from synthetic wastewater.

المؤلفين وسنة النشر: S. Pavithra, et al. 2021.

الهدف: إزالة أيونات الكروم (Cr) والنحاس (Cu) من المياه العادمة باستخدام مركب هيدروجيل قابل للتحلل البيولوجي وبتكلفة فعالة يعتمد على الشيتوزان.

التجربة:

- ✓ تم تحضير مركب هيدروجيل من الشيتوزان المعدل سطحياً / قشر البرتقال، وتم تأكيد تصنيع المادة الماصة باستخدام دراسات FTIR و SEM-EDAX و XRD.
- ✓ تم تحليل قدرة امتصاص مركب أيونات المعادن في أوقات مختلفة، وقيم الأس الهيدروجيني، وجرعات المادة الماصة، وتركيزات مختلفة لأيونات المعادن باستخدام AAS.

النتائج:

- ✓ كان الأس الهيدروجيني الأمثل للكروم (VI) والنحاس (II) 4 و 5 على التوالي، كان وقت التلامس الأمثل 360 دقيقة، كتلة المادة الماصة الأمثل 4 g، التركيز الأولي الأمثل لأيون المعدن 100 mg/L.

- ✓ اتبعت نماذج امتصاص بثبوت درجة الحرارة نموذج Freundlich، وكانت سعة الامتصاص 80.43% للكروم (VI) و 82.47% لأيونات النحاس (II) على التوالي.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن مركب هيدروجيل الشيتوزان المعدل سطحياً / قشر البرتقال هو مادة ممتزة فعالة لإزالة أيونات Cr و Cu من المياه العادمة.

8.II. الدراسة الثامنة: تطبيق منهجية سطح الاستجابة في إزالة أيونات النحاس الثنائي (Cu^{+2}) والرصاص الثنائي (Pb^{+2}) من المحاليل المائية باستخدام قشر البرتقال [8].

Application of the Response Surface Methodology in the Removal of Cu^{+2} and Pb^{+2} from Aqueous Solutions Using Orange Peels

المؤلفين وسنة النشر: Felicia Omolara Afolabi, et al. 2021

الهدف: تقييم فعالية قشر البرتقال في إزالة أيونات Cu^{+2} و Pb^{+2} من المحاليل المائية، أيضا دراسة تأثير تركيز المعادن الأولي، الرقم الهيدروجيني، كمية المادة الماصة، وحجم جسيمات قشر البرتقال على عملية الامتصاص، مع تطوير نموذج رياضي باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) للتنبؤ بسلوك عملية الامتصاص.

التجربة:

تم استخدام قشر البرتقال كمادة ماصة لامتصاص أيونات النحاس الثنائي والرصاص الثنائي من المحاليل المائية.

تم تطبيق منهجية سطح الاستجابة (RSM) مع التصميم المركب المركزي (CCD) لدراسة تأثير متغيرات العملية على كفاءة الامتصاص، وتم تحليل البيانات باستخدام تحليل التباين (ANOVA) وتحديد معامل التحديد (R^2) لتقييم دقة النموذج.

النتائج:

✓ أظهرت الدراسة أن قشر البرتقال فعال في إزالة أيونات النحاس الثنائي والرصاص الثنائي من المحاليل المائية، وكان لتركيز المعادن الأولي، الرقم الهيدروجيني، كمية المادة الماصة، وحجم جسيمات قشر البرتقال تأثير كبير على كفاءة الامتصاص.

✓ تم تطوير نموذج رياضي باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) للتنبؤ بسلوك عملية الامتصاص.

✓ كان معامل التحديد (R^2) مرتفعاً، مما يدل على دقة النموذج، وبلغت الكفاءة القصوى لأيونات النحاس الثنائي والرصاص الثنائي في ظل الظروف المثلى لمتغيرات العملية 88% و 90% على التوالي.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن قشر البرتقال هو مادة ماصة فعالة وصديقة للبيئة لإزالة أيونات النحاس

الثنائي والرصاص الثنائي من المحاليل المائية.

9.II. الدراسة التاسعة: استثمار نواة الزيتون الناتجة عن معالجة زيت الزيتون والزيتون المائدة كمادة امتصاص حيوية منخفضة التكلفة لإزالة الفورفورال من المحاليل المائية^[9].

Valorization of olive endocarp from olive oil and table olive processing as a low-cost bioadsorbent for the removal of furfural from aqueous solutions

المؤلفون وسنة النشر: Soledad Mateo, et al. 2021.

الهدف: تحليل استخدام نواة الزيتون (OE) كمادة حيوية ماصة لإزالة furfural من المحاليل المائية.

التجربة:

تم دراسة تأثير حجم الجسيمات، وسرعة التحريك، وحمولة المادة الماصة، ودرجة الحرارة، والتركيز الأولي للفورفورال على امتصاص furfural باستخدام نواة الزيتون.

تم استخدام نماذج الحركية ونماذج الاستشراب (نموذج Dubinin-Radushkevich) لتحليل بيانات الامتصاص، وتم اختبار فعالية معالجات الحمض على نواة الزيتون الطبيعية في امتصاص furfural.

النتائج:

✓ أظهرت نواة الزيتون المجزأة أعلى نسبة امتصاص.

✓ أظهر نموذج الحركية ونموذج Dubinin-Radushkevich (DR) ملاءمة جيدة لبيانات الامتصاص.

✓ أدت معالجات الحمض إلى تحسين كبير في امتصاص furfural بواسطة نواة الزيتون.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن نواة الزيتون هي مادة ماصة فعالة لإزالة furfural من المحاليل المائية، حيث يمكن تحسين خصائص الامتصاص بشكل كبير باستخدام نواة الزيتون المجزأة ومعالجتها بالحمض.

10.II. الدراسة العاشرة: غشاء كيتين/بولي إيثيلين إيمين كمادة امتصاص حيوية لإزالة عالية الكفاءة لمركبات اليورانيل الكربونية من المياه^[10].

Film-like chitin/polyethylenimine biosorbent for highly efficient removal of uranyl-carbonate compounds from water

المؤلفون وسنة النشر: Ziming Lin, et al. 2021.

الهدف: تحضير مادة ممتصة حيوية شبيهة بالفيلم من الكيتين/بولي إيثيلين إيمين (CH-PEI) واستخدامها في إزالة مركبات يورانيل الكربونات من المياه، مع تقييم فعالية CH-PEI في إزالة اليورانيل الكربونية من المياه الجوفية الملوثة.

التجربة:

✚ تحضير مادة CH-PEI من الكيتين وبولي إيثيلين إيمين وتوصيفه باستخدام تقنيات مختلفة مثل أطياف الأشعة تحت الحمراء، وتحليل العناصر، وفحص المجهر الإلكتروني الماسح / مطياف الأشعة السينية، وايزوترم امتصاص-استخلاص للنتروجين، وطيف الإلكترونات الفوتوالكترونية للأشعة السينية.

✚ إجراء حسابات ترموديناميكية وتجارب دفعة مختلفة لدراسة أداء امتصاص CH-PEI لإزالة يورانيل الكربونات، واختبار قدرة CH-PEI على إزالة يورانيل الكربونات من المياه الجوفية المحاكاة، وتقييم تجديد CH-PEI واستقراره وإمكانية إعادة استخدامه.

النتائج:

- ✓ تم تحضير CH-PEI بنجاح وتوصيفه بشكل شامل وأظهر CH-PEI قدرة امتصاص عالية لليورانيل من محلول الكربونات، مع أقصى قدرة امتصاص تصل إلى 1023.74 mg/g.
 - ✓ أظهر CH-PEI فعالية في إزالة اليورانيل من المياه الجوفية المحاكاة، حيث بلغت نسبة الإزالة إلى 98.9%، وأظهر CH-PEI تجديدًا سريعًا واستقرارًا هيكليًا جيدًا وإمكانية إعادة الاستخدام في 5 دورات.
 - ✓ تم تأكيد آلية امتصاص اليورانيوم بواسطة CH-PEI على أنها تبادل الأيونات والتجاذب الكهربائي بين أنواع النيتروجين ومجمعات يورانيل الكربونات.
- الخلاصة:** CH-PEI هو مادة ممتصة حيوية واعدة لإزالة اليورانيوم من المياه الجوفية الملوثة، يتميز بفعاليتها العالية، وسهولة تحضيره، وقدرته على إعادة الاستخدام، وصديقه للبيئة.

11.II. الدراسة الحادية عشر: تحضير وتطبيق المركبات الحبيبية من البنتونيت وقشر البيض لإزالة المعادن الثقيلة [11].

Preparation and application of granular bentonite-eggshell composites for heavy metal removal

المؤلفين وسنة النشر: 2022. Guifang Wang, Na Liu, et al.

الهدف: تطوير ممتص حيوي حبيبي فعال منخفض التكلفة وصديق للبيئة لإزالة المعادن الثقيلة من الصرف المعدني الحمضي (AMD).

التجربة:

تم تحضير ممتص حبيبي جديد (BEP) بواسطة البنتونيت وقشر البيض، وتم إضافة البولي إيثيلين جلايكول (PEG) لزيادة المسافة بين طبقات البنتونيت -كاليوم.

تم اختبار قدرة BEP على إزالة الرصاص من الصرف المعدني الحمضي (AMD).

النتائج:

✓ حقق BEP نسبة إزالة أعلى بكثير لأيونات الرصاص بنسبة 99.90%، وبلغ مقدار الامتصاص حوالي 40 mg/g، وحافظ BEP على تماسك الحبيبات بنسبة 96.90% بعد الامتصاص.

✓ رفع BEP قيمة الأس الهيدروجيني للصرف المعدني الحمضي من 3.00 حتى 6.10.

✓ تم تحقيق فصل سائل-صلب بين الممتص ومياه الصرف.

12.II. الدراسة الثانية عشر: تحويل النفايات إلى مواد ممتزة: تعديل قشر البرتقال المهمل لإزالة فعالة للفضة لـ Cd (II) من المحاليل المائية^[12].

Turning waste into adsorbent: Modification of discarded orange peel for highly efficient removal of Cd (II) from aqueous solution

المؤلفين وسنة النشر: 2022. Haoyue Tang, Youwen Zhang, et al.

الهدف: تحويل قشر البرتقال المهمل إلى مواد ممتزة فعالة لإزالة الكاديوم السام (II) من المحاليل المائية.

التجربة:

تم معالجة قشر البرتقال الخام مسبقاً بالتحلل المائي القلوي باستخدام NaOH، وتم اختبار قدرة المواد الممتزة على إزالة الكاديوم (II) من المحاليل المائية.

تم استخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) وتحليل المجهر الإلكتروني للضوء السيني (XPS)

وتحليل BET - N_2 لوصف خصائص المواد الممتزة، وتم قياس كمية الكاديوم (II) الممتزة باستخدام تحليل امتصاص الأشعة فوق البنفسجية-المرئية.

النتائج:

✓ تم تحضير مواد OP المعدلة بنجاح مع أسطح مشحونة سلباً ومساحة سطح نوعية (SSA) منخفضة وقطر مسام أكبر، وكانت عملية امتزاز الكاديوم (II) على مواد OP المعدلة سريعة للغاية وتم تحقيق إزالة بنسبة 100% تقريباً بعد 10 دقائق.

✓ أظهرت المركبات OP-OH و MA@OP-OH نسب امتزاز أعلى للكاديوم (II) من OP الخام.

✓ لم يتأثر امتزاز الكاديوم (II) بمعظم مكونات المياه العذبة الشائعة.

الخلاصة: أظهرت هذه الدراسة أن قشر البرتقال يمكن تحويله إلى مواد ممتزة فعالة لإزالة الكاديوم السام (II) من المحاليل المائية، ويمكن أن يكون هذا النهج مفيداً لتطوير تقنيات مستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي الملوثة بالكاديوم.

13.II. الدراسة الثالثة عشر: قشور الفواكه المحلية كمواد امتصاص حيوي لإزالة أيونات الرصاص (II) والكاديوم (II) من مياه الصرف: دراسة حركية وتوازنية [13].

Local fruit peel biosorbents for lead (II) and cadmium (II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study.

المؤلفين وسنة النشر: Amnuay Wattanakornsiri et al. 2022.

الهدف: تهدف هذه الدراسة الى إزالة أيونات Pb (II) و Cd (II) من مياه الصرف، وتقييم كفاءة قشور الفواكه المحلية المعدلة كيميائياً كمتصات حيوية.

التجربة:

✚ استخدام قشور فاكهة التنين (DFP) وقشر rambutan (RP) وقشر فاكهة passion (PFP) كمتصات

حيوية، وتعديل قشور الفواكه كيميائياً، وتحديد مورفولوجيا سطحها والمجموعات الوظيفية.

✚ إجراء تجارب الامتصاص بجرعات مختلفة من المادة الماصة وقيم الأس الهيدروجيني ووقت التلامس

وتركيزات الرصاص (II) والكاديوم (II) الأولية.

✚ تحليل تركيز أيونات المعادن الممتصة باستخدام مطياف امتصاص الذري.

النتائج:

✓ تم العثور على جرعة المادة الماصة 0.25 g، وقيمة الأس الهيدروجيني 4، ووقت التلامس 180 دقيقة،

والتركيز الأولي 100 mg/L هي المجموعة المثلى لامتنصاص أيونات الرصاص (II) والكاديوم (II).
✓ أظهرت المجموعات المعدلة كيميائياً أعلى نسب إزالة للرصاص (II) والكاديوم (II) بنسبة 97.867% و 97.100% RP على التوالي، وكانت بيانات الإمتصاص متسقة مع نموذجي امتصاص Langmuir و Freundlich، لكن نموذج Langmuir قدم أفضل ملاءمة.
الخلاصة: قشور الفواكه المحلية المعدلة كيميائياً هي ممتصات حيوية فعالة لإزالة أيونات الرصاص (II) والكاديوم (II) من محلول مائي نفايات، حيث يمكن أن تكون هذه الممتصات الحيوية بديلاً اقتصادياً وواعداً لمعالجة المياه العادمة الملوثة بالمعادن الثقيلة.

14.II. الدراسة الرابعة عشر: امتصاص أيونات الكوبلت (II) من المحاليل المائية باستخدام مخلفات قشر البرتقال: دراسات التوازن والحركية والديناميكا الحرارية^[14].

Adsorption of cobalt (II) ions from aqueous solution using orange peel waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies.

المؤلفون وسنة النشر: Yalçın Altunkaynak et al.2022

الهدف: يهدف البحث إلى تقييم استخدام مخلفات قشر البرتقال (OPW) كمادة فعالة لإزالة أيونات Co (II) من المحاليل المائية.

التجربة:

تم استخدام قشر البرتقال المجفف والمطحون كمادة ماصة، وكبريتات الكوبالت الثنائي المائية كمصدر لأيونات الكوبالت الثنائي، وتم دراسة تأثير مختلف المعايير على كفاءة الامتنصاص، بما في ذلك الأس الهيدروجيني (pH)، والتركيز المعدني الأولي، ومدة التلامس.

تم تحليل خصائص سطح قشر البرتقال باستخدام تقنيات مختلفة مثل المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، مطياف التصوير بالأشعة السينية المشتتة بالطاقة (EDS)، والمسح الضوئي بالأشعة تحت الحمراء (FTIR).

تم تطبيق نماذج الامتنصاص المختلفة (Dubinin-Radushkevich، Freundlich، Langmuir) لتحديد آلية الامتنصاص وقدرة الامتنصاص. تم دراسة حركية الامتنصاص باستخدام نموذج الحركية من الرتبة الثانية، وتم تقييم الديناميكا الحرارية لعملية الامتنصاص من خلال حساب التغيرات في إنتروبية النظام

(ΔS) وطاقة جيبس الحرة (ΔG) وحرارة الامتصاص (ΔH).

النتائج:

✓ أظهرت الدراسة أن مخلفات قشر البرتقال فعالة في إزالة أيونات الكوبالت الثنائي من المحاليل المائية.
 ✓ أفضل ظروف الإمتصاص تم تحديدها عند الأس الهيدروجيني 5.47، وتركيز $Co(II)$ الأولي 125 mg/L، ومدة تلامس 100 دقيقة، وأظهرت تحليلات خصائص السطح أن قشر البرتقال يتمتع بمساحة سطحية عالية ومجموعات وظيفية قادرة على تكوين روابط كيميائية مع أيونات الكوبالت الثنائي.
 ✓ اتفق نموذج Langmuir بشكل أفضل مع بيانات الامتصاص، مما يشير إلى أن الإمتصاص يحدث على مواقع محددة على سطح المادة الماصة.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن مخلفات قشر البرتقال يمكن استخدامها كمادة فعالة وبديلة منخفضة التكلفة لإزالة أيونات الكوبالت الثنائي من المحاليل المائية.

II.15. الدراسة الخامسة عشر: تحضير واختبار مواد امتصاص حيوية منخفضة التكلفة لتحسين إزالة الملوثات المياه الصرف الناتجة عن السيولة الحرارية اللاحقة (PHWW) [15].

Preparation and testing of low-cost bioadsorbents for improving the anaerobic digestion of post-hydrothermal liquefaction wastewater (PHWW)

المؤلفون وسنة النشر: 2022. Gilda Sapillado, et al.

الهدف: تقييم فعالية قشر الفول السوداني كمتص حيوي منخفض التكلفة لإزالة الملوثات من مياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي، أيضا تحسين كفاءة الهضم اللاهوائي لمياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي المعالجة مسبقاً باستخدام الإمتصاص الحيوي.

التجربة:

✚ تم اختبار قشور الفول السوداني في حالتها الطبيعية (PB) والقشور المحسنة (APB) باستخدام هيدروكسيد الصوديوم وحمض الهيدروكلوريك، وتمت مقارنة كفاءة الإمتصاص الحيوي لقشر الفول السوداني مع الكربون المنشط الحبيبي (GAC).

✚ تم استخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM) لتحسين معايير الامتصاص، ثم إجراء اختبارات الإمكانيات

البيوكيميائية (BMP) لتقييم تحويل المواد العضوية إلى غاز الميثان. تم تقييم كفاءة إزالة الملوثات وغاز الميثان في العمليات اللاهوائية باستخدام مياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي المعالجة مسبقاً بالامتصاص الحيوي.

النتائج:

- ✓ أظهرت قشور الفول السوداني الطبيعية (PB) كفاءة عالية في إزالة النيتروجين الأموني.
 - ✓ حققت قشور الفول السوداني المحسنة (APB) والكربون المنشط الحبيبي (GAC) كفاءة أعلى في إزالة المواد العضوية الكيميائية المطلوبة بالأكسجين (COD).
 - ✓ عزز الامتصاص الحيوي إزالة الفينول وتحويل المواد العضوية الكيميائية المطلوبة بالأكسجين (COD) إلى غاز الميثان خلال اختبارات الإمكانيات البيوكيميائية (BMP).
 - ✓ أدت العمليات اللاهوائية التي تلت الامتصاص باستخدام قشور الفول السوداني المحسنة والطبيعية إلى إزالة كمية أكبر بكثير من المواد العضوية الكيميائية المطلوبة بالأكسجين (COD) مقارنة بالعملية التي تستخدم مياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي المعالجة مسبقاً بالكربون المنشط الحبيبي.
 - ✓ أثبتت قشور الفول السوداني فعالية كمادة ممتصة حيوية منخفضة التكلفة لإزالة الملوثات من مياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي للسبيرلينا " Spirulin ".
- الخلاصة: ساهم الامتصاص الحيوي في تحسين كفاءة الهضم اللاهوائي لمياه الصرف الناتجة عن التحليل الحراري المائي، مما أدى إلى زيادة إنتاج غاز الميثان.

16.II. الدراسة السادسة عشر: إزالة الأصباغ الخطرة والمسببات المرضية المنقولة بالمياه باستخدام

مادة امتصاص حيوية نانوية هندسية من القنب – التصنيع والتحليل ودراسة الأداء^[16].

Removal of hazardous dyes and waterborne pathogens using a nanoengineered bioadsorbent from hemp – Fabrication, characterization and performance investigation

المؤلفون وسنة النشر: Sujata Mandal, et al.2022

الهدف: تطوير ممتص نانوي مركب من قنب (HHNC) باستخدام جسيمات الفضة النانوية لإزالة الأصباغ العضوية (الأخضر اللامع والأحمر الكونغو) ومنع نمو البكتيريا من المياه العادمة.

التجربة:

- ✚ تحضير HHNC عن طريق تضمين جسيمات الفضة النانوية داخل قنب القنب، ودراسة تأثير HHNC على امتصاص كل من BG و CR، وتقييم تأثير HHNC على نمو البكتيريا (*S. aureus* و *E. coli*).
 - ✚ تحليل خصائص سطح HHNC قبل وبعد الامتصاص.
 - ✚ دراسة ديناميكا حرارة عملية الامتصاص، وتقييم إعادة تدوير HHNC.
- النتائج:**

- ✓ أظهر HHNC كفاءة عالية في امتصاص كل من BG و CR، حيث بلغت سعة الامتصاص القصوى 256 و 455 mg/g على التوالي.
 - ✓ أظهر HHNC خصائص مضادة للميكروبات قوية ضد *S. aureus* و *E. coli*.
 - ✓ أظهرت دراسة ديناميكا حرارة أن عملية الامتصاص كانت حرارية وتلقائية.
 - ✓ احتفظ HHNC بأكثر من 82% و 94% من كفاءة امتصاص BG و CR على التوالي بعد 6 استخدامات من إعادة التدوير.
 - ✓ أظهرت تحليلات سطح HHNC تغييرات في كيمياء وشكل السطح بعد الامتصاص.
- الخلاصة:** يوفر HHNC إمكانية واعدة كحل صديق للبيئة وفعال لمعالجة المياه العادمة، حيث يزيل بشكل فعال الأصباغ العضوية ويمنع نمو البكتيريا.

17.II. الدراسة السابعة عشر: قشر البيض الخام كمادة امتصاص حيوية لإزالة أيونات النحاس - دراسات التوازن والحركية والديناميكا الحرارية وتحسين العملية^[17].

Raw Eggshell as an Adsorbent for Copper Ions Biosorption—Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Process Optimization Studies

المؤلفين وسنة النشر: Marković, Miljan, et al. 2023

الهدف: دراسة امتصاص أيونات النحاس باستخدام قشر البيض الخام كمادة ماصة.

التجربة:

- ✚ تأثير معايير عملية مختلفة على قدرة الامتصاص، بما في ذلك: درجة الحموضة (pH) للمحلول، التركيز الأولي لأيونات Cu^{+2} ، الكتلة الأولية للمادة الماصة.
- ✚ إجراء تحليل SEM-EDS قبل وبعد عملية الامتصاص.

تحليل البيانات التجريبية باستخدام نماذج الامتصاص الحركية والتوازن، وتحسين عملية الامتصاص باستخدام منهجية سطح الاستجابة (RSM).

النتائج:

- ✓ تغير مورفولوجيا العينة بعد عملية الامتصاص، واستبدال أيونات K و Ca و Mg بأيونات Cu^{+2} أثناء عملية الامتصاص.
 - ✓ نموذج امتصاص Langmuir يصف البيانات التجريبية بشكل أفضل.
 - ✓ النموذج الحركي من الرتبة الأولى الزائفة هو الأنسب للبيانات التي تم تحليلها، وعملية الامتصاص تلقائية.
 - ✓ أيونات النحاس ترتبط على الأرجح بسطح قشر البيض عن طريق الكيمياء الامتصاصية.
- 18.II. الدراسة الثامنة عشر: امتصاص الصبغات الأنيونية من المحاليل المائية باستخدام مادة امتصاص حيوية مدعومة بالسليولوز المستخلصة من ألياف القنب الطبيعية [18].**

Cellulose-supported bioadsorbent from natural hemp fiber for removal of anionic dyes from aqueous solution

المؤلفون وسنة النشر: Yasin AKKÖZ et al.2023

الهدف: تحضير ممتص حيوي صديق للبيئة من ألياف القنب لامتصاص الصبغات الأنيونية من المحاليل المائية، ودراسة خصائص الامتصاص للممتص الحيوي المحضر.

التجربة:

- ✚ تم تحضير الممتص الحيوي ((TEPA-(GMA-g-HF)) عن طريق التطعيم بالتحويل والبلمرية والتعديل من ألياف القنب.
- ✚ تم توصيف الممتص الحيوي باستخدام تقنيات SEM-EDX و STEM و FTIR و XRD و TGA و BET وحساب نقطة الصفر الكهربائي.
- ✚ تم استخدام الممتص الحيوي لإزالة ثلاثة أصباغ أنيونية مختلفة (RBBR و RR120 و RY160) من الماء.
- ✚ تمت دراسة تأثير كمية المادة الماصة، الأس الهيدروجيني، تركيز الصبغة الأولى، الوقت، ودرجة

الحرارة على الامتصاص.

النتائج:

- ✓ تم تحضير الممتص الحيوي بنجاح وتميز بخصائص امتصاص جيدة.
 - ✓ أظهر الممتص الحيوي قدرة عالية على امتصاص الصبغات الأنيونية الثلاثة.
 - ✓ تأثرت قدرة الإمتصاص بعوامل مختلفة مثل: كمية المادة الماصة، الأس الهيدروجيني، تركيز الصبغة الأولي، الوقت، ودرجة الحرارة.
 - ✓ اتفق امتصاص الصبغات الثلاثة مع الحركية من الدرجة الثانية النموذجية ونموذج Langmuir بثبوت درجة الحرارة.
- الخلاصة:** أعطى الممتص الحيوي المحضر كفاءة إزالة الصبغة عالية، خاصة في درجات الحموضة المنخفضة.

19.II. الدراسة التاسعة عشر: تطوير وتوصيف وتحليل غشاء امتصاص حيوي من قشر البيض/مخلفات البرتقال المعزز بنشا الموز^[19].

Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch

المؤلفين وسنة النشر: Joseph Merillyn Vonnice, et al. 2023

الهدف: تحويل قشر البيض وقشر البرتقال إلى منتج ذي قيمة عن طريق تحويلهما إلى أغشية حيوية يمكن استخدامها في امتصاص المعادن الثقيلة من الماء، وتحسين خصائص حاجز الماء للأغشية الحيوية لجعلها أكثر فعالية في التطبيقات الغذائية.

التجربة:

- ✚ تم تحضير أغشية حيوية من قشر البيض وقشر البرتقال المقوى بنشا الموز باستخدام تقنية الصب.
- ✚ تميزت خصائص الأغشية الفيزيائية والكيميائية باستخدام تقنيات مختلفة مثل FESEM و EDX و AFM و FTIR و XRD.
- ✚ تم تقييم كفاءة إزالة الأغشية الحيوية للأيونات المعدنية (Cd (II)) في ظل ظروف مختلفة من حيث

وقت التلامس، قيمة الأس الهيدروجيني، جرعة المادة الماصة، والتركيز الأولي لـ Cd (II).

النتائج:

- ✓ أظهرت الأغشية الحيوية بنية مسامية وخشنة بدون تشققات، مما يعزز تفاعلات المواد المستهدفة.
- ✓ أكدت التحليلات وجود كربونات الكالسيوم (CaCO_3) والكالسيت في قشر البيض.
- ✓ أظهرت الأغشية الحيوية وجود مجموعات وظيفية مختلفة تعمل كمواقع امتصاص حيوية.
- ✓ أظهرت الأغشية الحيوية تحسناً ملحوظاً في خصائص حاجز الماء، مما أدى إلى تحسين قدرة الإمتصاص.

✓ حققت الأغشية الحيوية أقصى قدر من إزالة Cd (II) (99.95%) عند ظروف محددة (pH = 8)، جرعة المادة الماصة 6 g، التركيز الأولي 80 mg/L، وقت التلامس = 120 دقيقة).

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن الأغشية الحيوية المصنوعة من قشر البيض وقشر البرتقال المقوى بنشاء الموز هي مواد ممتصة فعالة لـ Cd (II) من الماء، وتتمتع هذه الأغشية بخصائص حاجز ماء جيدة وخصائص امتصاص حيوية، مما يجعلها واعدة للاستخدام في تطبيقات معالجة المياه والغذاء.

II.20. الدراسة العشرون: امتصاص الصبغات الكاتيونية باستخدام قشر أرز مجري وإندونيسي كمواقع امتصاص حيوية: تحليل تصميم عاملي [20].

Hungarian and Indonesian rice husk as bioadsorbents for binary biosorption of cationic dyes from aqueous solutions: A factorial design analysis

المؤلفون وسنة النشر: Hadid Sukmana, et al. 2023

الهدف: التحقيق في إزالة أصباغ الأزرق الميثيلين (MB) والروز البنغالي (BR) من مياه الصرف الصناعية باستخدام قشر الأرز المجري (HRH) وقشر الأرز الإندونيسي (IRH) كمواقع ممتصة حيوية في عملية امتصاص ثنائي.

التجربة:

- ✚ تم تقييم تأثير مختلف المتغيرات على امتصاص الأصباغ، بما في ذلك الأس الهيدروجيني، جرعة المادة الممتصة، زمن التلامس، والتركيزات الأولية للأصباغ، باستخدام تصميم عاملي.
- ✚ تم تطبيق النماذج بثبوت درجة الحرارة والحركية لوصف عملية الامتصاص.

النتائج:

✓ أظهرت كل من HRH و IRH كفاءة عالية في إزالة MB و BR من المحلول المائي باستخدام عملية الامتصاص الثنائي، وكان زمن التلامس الأمثل للإمتصاص هو 60 دقيقة.
 ✓ كانت قدرة الامتصاص الحيوي لـ HRH 10.4 mg/g للأزرق الميثيلين و 10 mg/g للروز البنغالي، بينما كانت قيم IRH 9.3 mg/g و 9.6 mg/g على التوالي.
 ✓ تم تحديد النماذج بثبوت درجة الحرارة والحركية الأكثر ملاءمة لوصف عملية الامتصاص باستخدام معاملات الارتباط ومربع كاي غير الخطي.

الخلاصة: أظهرت الدراسة أن قشر الأرز المجري وقشر الأرز الإندونيسي يمكن استخدامهما كمادة ممتصة حيوية فعالة ورخيصة الثمن لإزالة أصباغ MB و BR من مياه الصرف الصناعية.

II.21. الدراسة الواحدة والعشرين: مادة امتصاص مستدامة معدة عن طريق التنشيط القلوي لبقايا البن: توصيف وآلية امتصاص أزرق الميثيلين من المحاليل المائية^[21].

Sustainable Adsorbent Material Prepared by Soft Alkaline Activation of Spent Coffee Grounds: Characterisation and Adsorption Mechanism of Methylene Blue from Aqueous Solutions

المؤلفون وسنة النشر: Marco Cuccarese, et al.2023

الهدف: تحضير كربون فعال منخفض التكلفة من بقايا البن المستعمل (SCGs) باستخدام التنشيط الكيميائي بـ NaOH، تقييم فعالية الكربون الفعال الناتج في امتصاص مادة الميثيلين الأزرق (MB) من المحاليل المائية.

التجربة:

- ✚ تم غسل بقايا البن المستعمل وتجفيفها وطحنها.
- ✚ تم تشريب عينة SCG بـ NaOH وتحويلها إلى فحم عند 300 درجة مئوية لمدة ثلاث ساعات.
- ✚ تم تقييم خصائص الكربون الفعال الناتج باستخدام مجهر المسح الإلكتروني (SEM) وحيود الأشعة السينية وتحليل طيف رامان.
- ✚ تم اختبار قدرة الكربون الفعال على امتصاص MB من المحاليل المائية ذات تركيزات مختلفة من

MB وقيم pH مختلفة، وتم تحليل حركية وآليات عملية الامتصاص باستخدام مستويات الامتصاص.

النتائج:

- ✓ تم تحضير كربون منشط منخفض التكلفة من بقايا البن المستعمل بنجاح.
 - ✓ أظهر الكربون المنشط الناتج فعالية عالية في امتصاص MB من المحاليل المائية.
 - ✓ تأثرت سعة الامتصاص وقوة الترابط بين MB والكربون الفعال بدرجة حرارة التنشيط وتركيز MB وقيمة pH للمحلول، وتم اعتماد نموذج Langmuir اعتمادًا على قيمة pH.
- الخلاصة: أظهرت الدراسة أن SCG المعالج والمفحم بواسطة التنشيط القلوي الناعم هو مادة امتصاص واعدة منخفضة التكلفة لإزالة الصبغة من النفايات السائلة.

22.II. الدراسة الثانية والعشرين: ازالة صبغة الرودماين B من المحاليل المائية بيئيا باستخدام مخلفات زراعية صلبة (قشر اللوز): دراسات تجريبية وحاسوبية باستخدام نظرية الدالة الوظيفية للأسبقية (DFT) [22].

Bioremoval of rhodamine B dye from aqueous solution by using agricultural solid waste (almond shell): experimental and DFT modeling studies

المؤلفون وسنة النشر: Zeynep Mine Şenol, et al. 2023

الهدف: التحقيق في قدرة قشر اللوز على امتصاص صبغة الرودماين B من المحاليل المائية، تقييم إمكانية استخدام قشر اللوز كمادة طبيعية بديلة وفعالة لإزالة الأصباغ من المياه.

التجربة:

- ✚ تم استخدام قشر اللوز كمادة ماصة حيوية للامتصاص من محلول مائي للرودماين B.
- ✚ تم توصيف قشر اللوز باستخدام تقنيات مختلفة مثل: مطياف الارتداد تحت الأحمر المتحول فورييه (FTIR)، المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، تحليل الأشعة السينية (EDX).
- ✚ تم دراسة تأثير مختلف المعلمات على عملية الامتصاص، بما في ذلك: وقت التلامس، التركيز الأولي للصبغة، كتلة المادة الماصة، درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني (pH).
- ✚ تم تحليل بيانات الامتصاص باستخدام نماذج مختلفة مثل: معادلة لانغمير، نموذج دوينين-

رادوشكوفيتش (D-R).

النتائج:

- ✓ أظهر قشر اللوز قدرة عالية على امتصاص الرودماين B من المحلول المائي، وتم تحديد سعة الامتصاص القصوى باستخدام معادلة لانجمير بـ 14.70 mg/g.
 - ✓ أظهرت نتائج نموذج D-R أن عملية الامتصاص كيميائية.
 - ✓ اتفقت نتائج حسابات DFT مع البيانات التجريبية، مما يدعم آلية الامتصاص المقترحة.
- الخلاصة:** أظهرت الدراسة أن قشر اللوز يمكن أن يكون مادة طبيعية فعالة وبديلة لمعالجة مياه الصرف الملوثة بالصبغات.

II.23. الدراسة الثالثة والعشرين: كفاءة قشر البيض كمادة امتصاص منخفضة التكلفة لإزالة الكاديوم: دراسات الحركية والتوازن [23].

Efficiency of eggshell as a low-cost adsorbent for removal of cadmium: kinetic and isotherm studies

المؤلفون وسنة النشر: Kahina Annane, et al. 2023

الهدف: هدفت الدراسة الى تقييم فعالية قشر البيض كمادة ماصة لإزالة أيونات الكاديوم من المحاليل المائية.

التجربة:

- ✚ استخدام تقنيات مختلفة لخصائص قشر البيض، مثل: تحليل المساحة السطحية النوعية (BET)، مطياف الارتداد تحت الأحمر المتحول فورييه (FTIR)، المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، التحليل الحراري الوزني (TGA)، حيود الأشعة السينية (XRD).
- ✚ اختبار قدرة امتصاص قشر البيض لأيونات الكاديوم من المحاليل المائية تحت ظروف مختلفة: وقت التلامس: من 0 إلى 60 دقيقة، الأس الهيدروجيني (pH): من 2 إلى 10، تركيز أيونات الكاديوم: من 50 إلى 250 mg/L، كتلة المادة الماصة (قشر البيض): من 0.4 إلى 1.2 g
- ✚ تقييم كفاءة الامتصاص لأيونات الكاديوم من قشر البيض باستخدام حمض النيتريك.

النتائج:

✓ أظهر قشر البيض قدرة عالية على امتصاص أيونات الكاديوم من المحاليل المائية، حيث وصلت أعلى قدرة امتصاص إلى 217.4 mg/L في 10 دقائق عند درجة حموضة 5 وكتلة الممتص 0.8 g ، وتعزى فعالية قشر البيض إلى مساحته السطحية النوعية العالية وخصائصه الكيميائية.

✓ يتبع نموذج Langmuir، حيث يتم امتصاص طبقة أحادية متجانسة من أيونات الكاديوم على سطح قشر البيض.

✓ أظهرت النتائج أن كفاءة استخلاص لأيونات الكاديوم من قشر البيض فعالة في وجود حمض النيتريك.

الخلاصة: أثبتت الدراسة أن قشر البيض مادة ماصة فعالة وقليلة التكلفة لإزالة أيونات الكاديوم من المحاليل المائية.

24.II. الدراسة الرابعة والعشرين: حبات من مادة امتصاص حيوية مغناطيسية قائمة على الشيتوزان ومستخلصة من نشارة خشب الأوكاليتوس لإزالة صبغة الـ (Direct Violet-51): استراتيجية صديقة للبيئة ودراسة احصائية^[24].

Chitosan-based magnetic bioadsorbent beads from eucalyptus sawdust waste for the Direct Violet-51 dye remediation: Eco-friendly strategy and statistical optimization

المؤلفون وسنة النشر: Rhayza Victoria Matos Oliveira, et al. 2024

الهدف: استخدام مخلفات نشارة خشب الأوكاليتوس لصنع مواد ماصة صديقة للبيئة لمعالجة صبغة Direct Violet-51 من المياه.

التجربة:

✚ تطوير ثلاثة مواد ماصة: الشيتوزان (CS)، نشارة خشب الأوكاليتوس (CSW)، خرزات مغناطيسية (CSWF)، ثم تحسين اختبارات الامتصاص بدراسة تأثير: الأس الهيدروجيني (2-12)، زمن التلامس (5-60 دقيقة)، تركيز الصبغة الأولي ($10-60 \text{ mg/L}$)، كتلة المادة الماصة ($10-100 \text{ mg}$).

✚ اختبار المواد الماصة في عينات مياه البيئة: مياه الصنبور، سد مارسيل، نهر بوكسيم.

النتائج:

- ✓ أزلت المواد الماصة الثلاثة الصبغة تمامًا من الوسط المائي.
- ✓ أظهرت مادة CSW أفضل كفاءة إزالة للصبغة في الأس الهيدروجيني المحايد، بينما أظهرت CS وCSWF أفضل كفاءة في الأس الهيدروجيني 2.
- الخلاصة:** أثبتت المواد الماصة فعاليتها في معالجة صبغة Direct Violet-51 في عينات مياه البيئة، حيث يمكن إعادة استخدام المواد الماصة، مما يجعلها صديقة للبيئة ومتوافقة مع مفهوم الاقتصاد الدائري.
- II.25. الدراسة الخامسة والعشرين: ممتصات حيوية من مخلفات قشور مغلفة بالحديد: التركيب، معالجة الفوسفات، والاستخدام كسماد [25].**

Iron-coated nutshell waste bioadsorbents: Synthesis, phosphate remediation, and subsequent fertilizer application

المؤلفون وسنة النشر: Chandra M. Tummala, et al.2024

الهدف: تطوير ماصات حيوية جديدة من قشور الفستق والجوز لمعالجة تلوث الفوسفات في المياه العذبة، وتقييم إمكانية استخدام هذه الماصات الحيوية كأسمدة بطيئة الإطلاق.

التجربة:

- ✚ طلاء قشور الفستق والجوز بأكسيد الحديد، وتقييم قدرة الامتصاص الحيوية على إزالة الفوسفات.
- ✚ استخدام تقنيات التحليل: المجهر الإلكتروني الماسح، وتحليل BET، وحيود الأشعة السينية لتوصيف خصائص الممتصات الحيوية.
- ✚ تقييم إمكانية استخدام الممتصات الحيوية كأسمدة، وتقييم تأثير الممتصات الحيوية المشحونة بالفوسفات على نمو نبات الذرة.

النتائج:

- ✓ تم طلاء قشور الفستق والجوز بنجاح بأكسيد الحديد، مما أدى إلى زيادة مساحة السطح وخشونتها.
- ✓ أظهرت الممتصات الحيوية قدرة عالية على إزالة الفوسفات من المحاليل المائية.
- ✓ تتوافق بيانات امتصاص الفوسفات بشكل جيد مع نموذج الامتصاص Freundlich.
- ✓ أظهر التحفيز الغذائي أن نمو نبات الذرة زاد بأكثر من 43% عند المعالجة المسبقة بممتصات حيوية

مشحونة بالفوسفات.

الخلاصة: تقدم الممتصات الحيوية المصنوعة من قشور الفستق والجوز المغلفة بالحديد طريقة واعدة لمعالجة تلوث المياه العذبة بالفوسفات، حيث يمكن استخدام هذه الماصات الحيوية أيضًا كأسمدة بطيئة الإطلاق لتوفير الفوسفات للنباتات.

نستنتج من خلال هذا الفصل أن الممتصات الحيوية تلعب دورًا هامًا في معالجة المياه، وذلك لعدة أسباب:

- ✓ الكفاءة العالية: تمتلك الممتصات الحيوية قدرة عالية على امتصاص الملوثات المختلفة من الماء، مثل: المعادن الثقيلة والملوثات العضوية والمبيدات الحشرية.
- ✓ صديقة للبيئة: تعتبر الممتصات الحيوية بديلاً صديقاً للبيئة للطرق التقليدية لمعالجة المياه، مثل الترشيح الكيميائي، لأنها لا تنتج أي مخلفات ضارة.
- ✓ انخفاض التكلفة: غالبًا ما تكون الممتصات الحيوية أقل تكلفة من الطرق التقليدية لمعالجة المياه، خاصة عند استخدام مخلفات زراعية أو صناعية كمواد خام.
- ✓ تعدد الاستخدامات: يمكن استخدام الممتصات الحيوية لمعالجة مجموعة واسعة من أنواع المياه، بما في ذلك مياه الشرب والصرف الصحي والمياه الصناعية.
- ✓ قابلة للتجديد: يمكن تجديد بعض الممتصات الحيوية وإعادة استخدامها، مما يجعلها أكثر استدامة. ومن أهم تطبيقات الممتصات الحيوية في معالجة المياه:

- ❖ إزالة المعادن الثقيلة: مثل الرصاص والزنك والكاديوم من مياه الشرب والصرف الصحي.
- ❖ إزالة الملوثات العضوية: مثل المبيدات الحشرية والمنتجات البترولية من المياه السطحية والجوفية.
- ❖ إزالة المواد الملونة: مثل الألوان المستخدمة في الصناعات المختلفة من مياه الصرف الصحي.
- ❖ معالجة مياه الصرف الصحي: من خلال إزالة المواد العضوية والمواد الملوثة الأخرى.
- ❖ تنقية المياه: من خلال إزالة الشوائب والملوثات الدقيقة.

مراجع الفصل الثاني

- [1] T. F. Akinhanmi, E. A. Ofudje, A. I. Adeogun, P. Aina, and I. M. Joseph, "Orange peel as low-cost adsorbent in the elimination of Cd (II) ion: kinetics, isotherm, thermodynamic and optimization evaluations," *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 7, pp. 1-16, 2020.
- [2] J. P. Lima, G. Alvarenga, A. C. Goszczynski, G. R. Rosa, and T. J. Lopes, "Batch adsorption of methylene blue dye using *Enterolobium contortisiliquum* as bioadsorbent: experimental, mathematical modeling and simulation," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 91, pp. 362-371, 2020.
- [3] F. Teshale, R. Karthikeyan, and O. Sahu, "Synthesized bioadsorbent from fish scale for chromium (III) removal," *Micron*, vol. 130, p. 102817, 2020.
- [4] S. S. Hassan, M. A. Al-Ghouti, M. Abu-Dieyeh, and G. McKay, "Novel bioadsorbents based on date pits for organophosphorus pesticide remediation from water," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, p. 103593, 2020.
- [5] A. Guleria, G. Kumari, and E. C. Lima, "Cellulose-g-poly-(acrylamide-co-acrylic acid) polymeric bioadsorbent for the removal of toxic inorganic pollutants from wastewaters," *Carbohydrate polymers*, vol. 228, p. 115396, 2020.
- [6] N. A. A. M. Mahani and N. Hamidon, "Eggshell Powder as an Adsorbent for Removal of Lead (II) in PanchoraTM s River," *Journal of Advanced Industrial Technology and Application*, vol. 2, pp. 42-49, 2021.
- [7] S. Pavithra, G. Thandapani, S. Sugashini, P. Sudha, H. H. Alkhamis, A. F. Alrefaei, *et al.*, "Batch adsorption studies on surface tailored chitosan/orange peel hydrogel composite for the removal of Cr (VI) and Cu (II) ions from synthetic wastewater," *Chemosphere*, vol. 271, p. 129415, 2021.
- [8] F. O. Afolabi, P. Musonge, and B. F. Bakare, "Application of the response surface methodology in the removal of Cu²⁺ and Pb²⁺ from aqueous solutions using orange peels," *Scientific African*, vol. 13, p. e00931, 2021.
- [9] S. Mateo, A. J. Moya, G. Hodaifa, S. Sánchez, and M. Cuevas, "Valorization of olive endocarp from olive oil and table olive processing as a low-cost bioadsorbent for the removal of furfural from aqueous solutions," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 44, p. 102442, 2021.
- [10] Z. Lin, L. Chen, Z. Ye, X. Chen, X. Wang, and Y. Wei, "Film-like chitin/polyethylenimine biosorbent for highly efficient removal of uranyl-carbonate compounds from water," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, p. 105340, 2021.
- [11] G. Wang, N. Liu, S. Zhang, J. Zhu, H. Xiao, and C. Ding, "Preparation and application of granular bentonite-eggshell composites for heavy metal removal," *Journal of Porous Materials*, vol. 29, pp. 817-826, 2022.
- [12] H. Tang, Y. Zhang, Y. Zhang, Q. Xiao, X. Zhao, and S. Yang, "Turning waste into adsorbent: Modification of discarded orange peel for highly efficient removal of Cd (II) from aqueous solution," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 185, p. 108497, 2022.

- [13] A. Wattanakornsiri, P. Rattanawan, T. Sanmueng, S. Satchawan, T. Jamnongkan, and P. Phuengphai, "Local fruit peel biosorbents for lead (II) and cadmium (II) ion removal from waste aqueous solution: A kinetic and equilibrium study," *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 42, pp. 306-317, 2022.
- [14] Y. Altunkaynak, M. Canpolat, and Ö. Yavuz, "Adsorption of cobalt (II) ions from aqueous solution using orange peel waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 19, pp. 2437-2448, 2022.
- [15] G. Sapillado, M. P. de Melo, P. J. Sobral, R. Ribeiro, and G. Tommaso, "Preparation and testing of low-cost bioadsorbents for improving the anaerobic digestion of post-hydrothermal liquefaction wastewater (PHWW)," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, p. 108222, 2022.
- [16] S. Mandal, T. Alankar, R. Hughes, S. B. Marpu, M. A. Omary, and S. Q. Shi, "Removal of hazardous dyes and waterborne pathogens using a nanoengineered bioadsorbent from hemp—Fabrication, characterization and performance investigation," *Surfaces and Interfaces*, vol. 29, p. 101797, 2022.
- [17] M. Marković, M. Gorgievski, N. Štrbac, V. Grekulović, K. Božinović, M. Zdravković, *et al.*, "Raw Eggshell as an Adsorbent for Copper Ions Biosorption—Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic and Process Optimization Studies," *Metals*, vol. 13, p. 206, 2023.
- [18] Y. Akköz and R. Coşkun, "Cellulose-supported bioadsorbent from natural hemp fiber for removal of anionic dyes from aqueous solution," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 252, p. 126447, 2023.
- [19] J. M. Vonnice, K. Rovina, N. M. N. 'Aqilah, and X. W. L. Felicia, "Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch," *Polymers*, vol. 15, p. 2414, 2023.
- [20] H. Sukmana, G. Ballai, T. Gyulavári, E. Illés, G. Kozma, Z. Kónya, *et al.*, "Hungarian and Indonesian rice husk as bioadsorbents for binary biosorption of cationic dyes from aqueous solutions: A factorial design analysis," *Helikon*, vol. 9, 2023.
- [21] M. Cuccarese, S. Brutti, A. De Bonis, R. Teghil, F. Di Capua, I. M. Mancini, *et al.*, "Sustainable adsorbent material prepared by soft alkaline activation of spent coffee grounds: characterisation and adsorption mechanism of methylene blue from aqueous solutions," *Sustainability*, vol. 15, p. 2454, 2023.
- [22] Z. M. Şenol, N. E. Messaoudi, Y. Fernine, and Z. S. Keskin, "Bioremoval of rhodamine B dye from aqueous solution by using agricultural solid waste (almond shell): experimental and DFT modeling studies," *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-14, 2023.
- [23] K. Annane, W. Lemlikchi, and S. Tingry, "Efficiency of eggshell as a low-cost adsorbent for removal of cadmium: Kinetic and isotherm studies," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 13, pp. 6163-6174, 2023.
- [24] R. V. M. Oliveira, H. B. Maia, J. A. S. Costa, and L. P. C. Romão, "Chitosan-based magnetic bioadsorbent beads from eucalyptus sawdust waste for the Direct Violet-51 dye remediation: Eco-friendly strategy and statistical optimization," *International*

- Journal of Biological Macromolecules*, vol. 254, p. 127764, 2024.
- [25] C. M. Tummala, M. Dardona, S. Praneeth, S. K. Mohanty, and T. M. Dittrich, "Iron-coated nutshell waste bioadsorbents: Synthesis, phosphate remediation, and subsequent fertilizer application," *Environmental Research*, vol. 240, p. 117468, 2024.

الفصل الثاني

نتطرق في هذا الجزء إلى عملية تصنيع الأفلام الحيوية الماصة، توصيفها ودراسة خصائصها وتطبيقاتها في إزالة الصبغة، حيث يهدف هذا الفصل إلى توضيح كيفية تحويل المخلفات العضوية ذات مصدر نباتي وحيواني إلى أفلام حيوية ذات خصائص مميزة تجعلها مفيدة في مجموعة متنوعة من التطبيقات.

تم إجراء الجانب العملي للموضوع بمخبر الكيمياء التطبيقية والبيئة، كلية العلوم الدقيقة، بجامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي.

1.III. المواد والأجهزة المستعملة:

1.1.III. المواد الكيميائية المستعملة :

نعرض في الجدول (1-III) أهم المواد الكيميائية المستعملة في العمل التجريبي.

الجدول (1-III): المواد الكيميائية المستعملة.

| المواد | الصيغة الكيميائية | الكتلة المولية (g/mol) | الشركة المنتجة |
|----------------|--|------------------------|--------------------------|
| الماء المقطر | H ₂ O | 18 | / |
| الايثانول | C ₂ H ₅ O | 46.07 | V VWR. Prolabo Chemicals |
| أزرق الميثيلين | C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S | 319.85 | BIOCHEM Chemopharma |
| وردي البنغال | C ₂₀ H ₂ Cl ₂ l ₂ Na ₂ O ₅ | 1017.64 | BIOCHEM Chemopharma |
| نشاء تجاري | | | |

2.1.III. الأجهزة المستعملة :

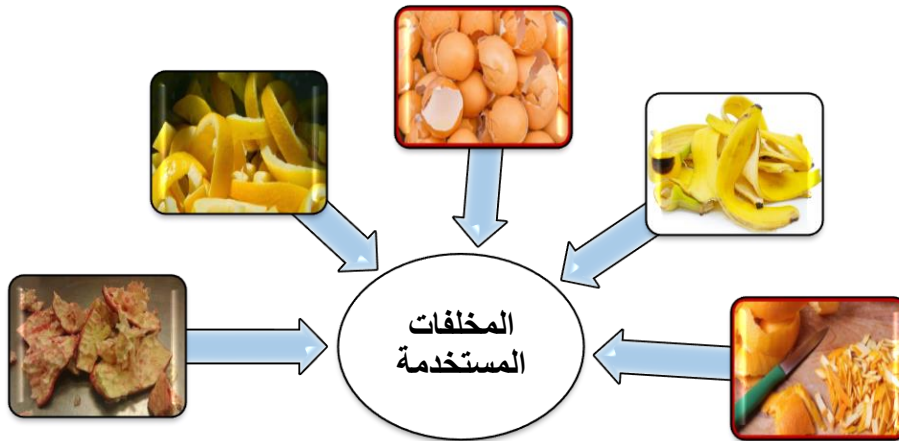
نستعرض في الجدول (2-III) أهم الأجهزة المستعملة في العمل التجريبي.

الجدول (2-III): الأجهزة المستعملة.

| اسم الجهاز | النوع |
|--------------------------------|--|
| جهاز pH متر | JosLiki Digital PH Meter |
| ميزان إلكتروني حساس | OHAUS |
| مسخن كهربائي | AREX (Heating Magnetic Stirrer) |
| جهاز الأشعة تحت الحمراء (FTIR) | HERMO SCIENTIFIC NICOLET is5 BINDER/USA |
| مجفف كهربائي | NICOLET IS5 BINDER/USA |

3.1.III. تحضير المادة الأولية :

يتم جمع نفايات كل من قشور البيض، قشور الموز، البرتقال، الرمان والليمون من المنازل والمطاعم، تنقيتها وتجفيفها في درجة حرارة 25°C ، ثم تطحن القشور المجففة في خلاط وغربلتها ومن ثم الحصول على مسحوق ناعم، وحفظها الى وقت الاستعمال.



الشكل (1-III): المخلفات المستخدمة.

- تحضير قشور البيض: يمثل الشكل (III-2) مراحل تحضير مسحوق قشور البيض.



الشكل (III-2): تحضير مسحوق قشور البيض.

- تحضير قشور الموز: يمثل الشكل (III-3) مراحل تحضير مسحوق قشور الموز.



الشكل (III-3): تحضير مسحوق قشور الموز.

- تحضير قشور الرمان: يمثل الشكل (III-4) مراحل تحضير مسحوق قشور الرمان.



الشكل (III-4): تحضير مسحوق قشور الرمان.

- تحضير قشور الليمون: يمثل الشكل (III-5) مراحل تحضير مسحوق قشور الليمون.



الشكل (III-5): تحضير مسحوق قشور الليمون.

- تحضير قشور البرتقال: يمثل الشكل (III-6) مراحل تحضير مسحوق قشور البرتقال.



الشكل (III-6): تحضير مسحوق قشور البرتقال.

III.2. عملية تصنيع الفيلم:

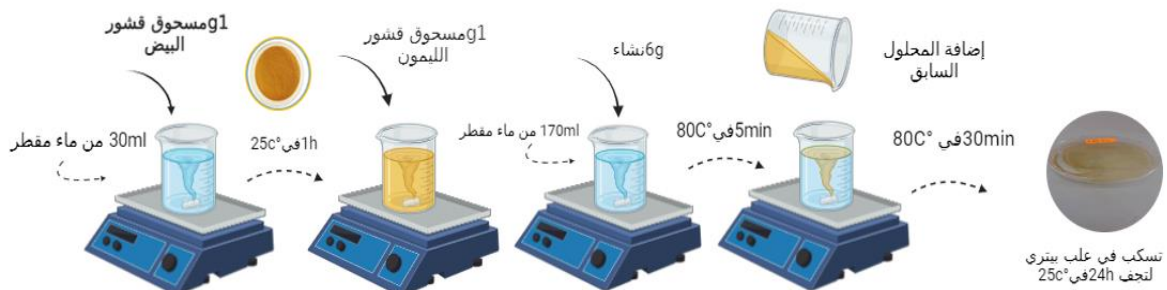
أولاً: يتم خلط 1 غرام من مسحوق قشر البيض (ESP)، مع 30 مل من الماء المقطر مع التحريك لمدة ساعة في درجة حرارة الغرفة باستخدام محرك مغناطيسي لتبلييل جزيئات مسحوق قشر البيض بالكامل، ثم يضاف 1 غرام من مسحوق القشور المحضرة مع التحريك المستمر.

ثانياً: يتم إذابة 6 غرام من مسحوق النشاء في 170 مل من الماء المقطر لمدة 5 دقائق عند 80 درجة مئوية باستخدام مسخن كهربائي.

ثالثاً: يضاف خليط مسحوق قشر البيض إلى محلول النشاء بشكل تدريجي، مع التحريك المغناطيسي لمدة 30 دقيقة. يتم تسخين المحلول لمدة 30 دقيقة أخرى عند 80 درجة مئوية مع التحريك بسرعة 400 دورة في الدقيقة للسماح بالحصول على محلول جيلاتيني قبل تبريده إلى درجة حرارة الغرفة.

رابعاً: تسكب المحاليل النهائية في أطباق بترى وتترك لتجف لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة^[1]،

حيث نوضح خطوات العمل في الشكل (III-7).



الشكل (III-7): عملية تصنيع الأفلام الحيوية الماصة.

3.III. توصيف الافلام الحيوية بواسطة التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء:

تعد تقنية الأشعة تحت الحمراء من أهم الطرق الطيفية وأكثرها فائدة لتوصيف المركبات، حيث تعتبر تقنية متعددة الاستخدامات وغير مدمرة تقوم بتحليل العينات في جميع الحالات الفيزيائية، حيث توفر أطيايف الأشعة تحت الحمراء التي يتم الحصول عليها استنتاجات حول الوظائف الكيميائية للمكونات الرئيسية [2].

يؤدي امتصاص الأشعة تحت الحمراء إلى اهتزاز الذرات المكونة للجزيء، ينتج عنها تغير في طول نوعية الروابط والذرات الموجودة في الجزيء وذلك بمعرفة طاقة الامتصاص أثناء تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء [3].

ترتبط الحركات الاهتزازية للجزيء بعدد الذرات المكونة له، حيث كلما كان عدد الذرات أكثر زادت صعوبة تحليل طيف الامتصاص، وذلك نظرا لزيادة وتداخل عددا لامتناهات يستوجب من هنا تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء ببعض طرق التحليل الأخرى لمعرفة التركيب الجزيئي للمركبات الكيميائية [4]، يتم تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء من أجل تحديد هياكل المركبات العضوية وغير العضوية، والتعرف على المجموعات الوظيفية المكونة لها [5]، يوضح الجدول (3-III) تردد الامتصاصات لأهم المجموعات الوظيفية العضوية

الجدول (3-III): تردد الامتصاصات المجموعات الوظيفية العضوية.

| الاهتزاز | التردد (cm ⁻¹) | الوظيفة | الرابطة |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------|
| تمدد (s) stretch | 2960. 2850 | Alkanes | C-H |
| منحنى (s) bend | 1000. 675 | Alkenes | |
| تمدد (m) stretch | 3020.3080 | | |
| تمدد (s) stretch | 3333. 3267 | Alkynes | |
| منحنى (b) bend | 610.700 | | |
| تمدد (m) stretch | 3000.3100 | Aromatic Rings | |
| منحنى (s) bend | 870.675 | Phenyl Ring Substitution Bands | |
| (w) fingerprint region | 2000.1600 | Phenyl Ring Substitution Overtones | |
| (v) scissoring and bending | 1380 | CH ₃ Umbrella Deformation | |

| | | | |
|--|-----------|---|-----------------|
| (m.w) stretch تمدد | 1680.1640 | Alkenes | C=C |
| (w) stretch تمدد | 1600.1500 | Aromatic Rings | |
| (w.sh) stretch تمدد | 2260.2100 | Alkynes | C≡C |
| (s) stretch تمدد | 1760.1670 | Aldehydes, Ketones. Carboxylic acids, Esters | O=C |
| (s) stretch تمدد | 1260.1000 | Alcohols, Ethers Carboxylic acids, Esters | C-O |
| (S.br) stretch تمدد | 3640.3160 | Monomeric . Alcohols. Phenols | O-H |
| (b) stretch تمدد | 3600.3200 | Hydrogen.bonded . Alcohols. Phenols | |
| (b) stretch تمدد | 3000.2500 | Carboxylic acids | |
| (m) stretch تمدد | 3500.3300 | Amines | N-H |
| (m) bend منحنى | 1650.1580 | | |
| (m) stretch تمدد | 1340.1020 | Amines | C-N |
| (v) stretch تمدد | 2260.2220 | Nitriles | C≡N |
| (s) asymmetrical stretch التمدد غير متناظر | 1660.1500 | Nitro Compounds | NO ₂ |
| (s) symmetrical stretch التمدد المتناظر | 1390.1260 | | |



الشكل (8-III): صورة لجهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR).

4.III . دراسة خصائص الأفلام الحيوية :

1.4.III . قياس المسامية :

تم استخدام طريقة إزاحة السائل لحساب النسبة المئوية لمسامية الفيلم، تم اختيار الإيثانول كسائل إزاحة، تتضمن هذه الطريقة غمر الأفلام المجففة (W_1) المختلفة في الإيثانول المطلق لمدة 24 ساعة، و بعد الوصول إلى التوازن، تتم إزالة الأفلام، ويتم تسجيل وزن الإيثانول المتبقي (W_3)^[6]، و يتم حساب مسامية الأفلام باستخدام المعادلة (1) أدناه:

$$\text{Porosity (\%)} = \left[\frac{W_2 - W_1 - W_3}{W_2 - W_3} \right] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

حيث:

W_1 : وزن الفيلم، W_2 : مجموع وزن الإيثانول والفيلم المغمور، W_3 : وزن الإيثانول المتبقي بعد إزالة الفيلم.

2.4.III . تحليل محتوى الرطوبة :

يتم قياس وزن كل فيلم (بأبعاد 2 سم × 2 سم) للحصول على وزن العينة الأولي (W_1)، ثم يتم تجفيف كل فيلم عند 105 درجة مئوية حتى يصل إلى وزن ثابت (W_2)، و يتم قياس محتوى الرطوبة وفقاً للمعادلة (2)^[7]:

$$\text{محتوى الرطوبة (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

3.4.III . قابلية الذوبان بالماء :

لإجراء اختبار قابلية الذوبان بالماء، يتم غمر كل فيلم بعد وزنه (W_1) في 50 مل من الماء منزوع المعادن وحفظه في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة، بعد الترطيب يتم مسح الفيلم المبلل برفق باستخدام ورق الترشيح وتجفيفه في فرن عند 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة تقريباً، ويتم تسجيل الوزن النهائي (W_2)، لذلك يتم تحديد قابلية ذوبان الفيلم بالماء (%) باستخدام المعادلة (3) أدناه:

$$\text{قابلية الذوبان بالماء (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \dots \dots (3)$$

4.4.III . امتصاص الماء :

تم حساب امتصاص الماء (انتفاخ) للفيلم كنسبة مئوية للماء، حيث يتم وزن عينة الفيلم (2 سم × 2 سم) لتحديد الوزن الأولي (W_i) قبل غمرها في 20 مل من الماء في وعاء سعة 50 مل، و يتم إغلاق الوعاء وتركه في درجة حرارة الغرفة لمدة ساعة ، بعد ساعة من الغمر تتم إزالة عينات الفيلم، ومسحها بورق المناديل لإزالة الماء الزائد على السطح، ويتم تسجيل وزنها الرطب (W_t)، يليه حساب امتصاص الماء باستخدام المعادلة (4) أدناه [18].

$$\text{امتصاص الماء (\%)} = \frac{W_t - W_i}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

5.III . التحليل الضوئي لإمتصاص الصبغة روز بانغال (RB) وأزرق الميثيلين (MB) :

التحفيز الضوئي باستخدام الأفلام المحضرة أثبتت كفاءة عالية في تحليل صبغات السامة، مثل MB و RB، الموجودة في مياه الصرف الصحي، و هذه العملية الصديقة للبيئة حيث يعمل ضوء الشمس على توليد أنواع تفاعلية قادرة على تكسير الصبغات ، ونتيجة لذلك لا تعمل عملية التحفيز الضوئي على تحليل الصبغات فحسب، بل تعمل أيضًا على تحويلها بالكامل إلى معادن، مما يمثل تقنية فعالة ومستدامة لمعالجة مياه الصرف الصحي [19].

لتقييم مدى الامتصاص، تم قياس التباين في تركيز الصبغة (RB و MB) بين المحلول المائي الأولي والمحلول بعد اختبار التحلل الضوئي [10]:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \dots \dots \dots (5)$$

يتم الإشارة إلى تركيز التوازن للصبغة الممتصة على المادة الماصة على أنه q_e (mg/g) ، ويتم تمثيل التركيزين الابتدائي والتوازني لمحلول الصبغة بـ C_0 و C_t (mg/L) على التوالي، في هذا السياق، يشير m إلى وزن الأفلام الحيوية المستخدمة (g)، و V يشير إلى حجم محلول الصبغة (L) ، ويتم مراقبة تقدم التفاعل باستخدام مطياف فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis)، وعند وضع الأفلام

الحيوية في خليط التفاعل، تخضع الصبغة لعملية اختزال محفزة، تم استخدام المعادلة (6) لحساب كفاءة التحلل الضوئي (%) للصبغة (MB) و (RB) [11]:

$$\text{Degradation ratio (\%)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \dots \dots \dots (6)$$

- تجربة إزالة الصبغة أزرق الميثيلين (BM):

تم تقييم نشاط التحفيز الضوئي من خلال ملاحظة التدهور الكيميائي الضوئي لصبغة أزرق الميثيلين في المحلول المائي تحت اشعة الشمس فوق البنفسجية، قبل الإضاءة تم خلط صبغة 6×10^{-5} مولاري مع كمية مناسبة من المحفز (0.08 غ) لمدة 120 دقيقة تحت أشعة الشمس لإمتصاص أكبر كمية من أزرق الميثيلين، و يتم بعد ذلك استخدام جهاز UV-Vis لمتابعة تطور التفاعل على فترات مختلفة تحت إضاءة أشعة الشمس بعد أخذ حجوم من المحلول لمتابعتها عند امتصاصية المحلول نانومتر $\lambda_{\max} = 663$ ، تم إجراء تجربة تفاعل الإختزال الكامل، حيث انخفضت شدة اللون الأزرق لخليط التفاعل [12].

- تجربة إزالة الصبغة روز بنغال (RB):

تم تقييم نشاط التحفيز الضوئي من خلال ملاحظة التدهور الكيميائي الضوئي لصبغة أزرق الميثيلين في المحلول المائي تحت أشعة الشمس، قبل الإضاءة تم خلط صبغة 2×10^{-2} مولاري مع كمية مناسبة من المحفز (0.08 غ) لمدة 120 دقيقة تحت أشعة الشمس لإمتصاص أكبر كمية من روز بنغال، ويتم بعد ذلك استخدام جهاز UV-Vis لمتابعة تطور التفاعل على فترات مختلفة، حيث تم قياس امتصاصية المحلول نانومتر $\lambda_{\max} = 542$ ، تم إجراء تجربة تفاعل الإختزال الكامل، وانخفضت شدة اللون.

مراجع الفصل الثالث

- [1] J. M. Vonnice, K. Rovina, N. M. N. 'Aqilah, and X. W. L. Felicia, "Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch," *Polymers*, vol. 15, p. 2414, 2023.
- [2] J. Lopes and C. Sousa, "Hyperspectral analysis for plant characterization and discrimination," *Comprehensive Analytical Chemistry*, vol. 80, pp. 281-289, 2018.
- [3] A. E. Segneanu, I. Gozescu, A. Dabici, P. Sfirloaga, and Z. Szabadai, *Organic compounds FT-IR spectroscopy* vol. 145: InTech Rijeka ,Croatia, 2012.
- [4] K. B. Beć, J. Grabska, and C. W. Huck, "Biomolecular and bioanalytical applications of infrared spectroscopy—A review," *Analytica chimica acta*, vol. 1133, pp. 150-177, 2020.
- [5] K. B. Beć, J. Grabska, and C. W. Huck, "Physical principles of infrared spectroscopy," in *Comprehensive analytical chemistry*. vol. 98, ed: Elsevier, 2022, pp. 1-43.
- [6] J. Dutta and N. Devi, "Preparation, optimization, and characterization of chitosan-sepiolite nanocomposite films for wound healing," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 186, pp. 244-254, 2021.
- [7] S. Khedri, E. Sadeghi, M. Rouhi, Z. Delshadian, A. M. Mortazavian, J. de Toledo Guimarães, *et al.*, "Bioactive edible films: Development and characterization of gelatin edible films incorporated with casein phosphopeptides," *Lwt*, vol. 138, p. 110649, 2021.
- [8] G. V. Sree and P. Nagaraaj, "Enhancement of PVA packaging properties using calcined eggshell waste as filler and nanonutrient," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 291, p . .2022 ,126611
- [9] V. N. Rao, H. Kwon, Y. Lee, P. Ravi, C. W. Ahn, K. Kim, *et al.*, "Synergistic integration of MXene nanosheets with CdS@ TiO₂ core@ shell S-scheme photocatalyst for augmented hydrogen generation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 471, p . .2023 ,144490
- [10] I. B. Amor, H. Hemmami, S. E. Laouini, S. Ahmed, H. A. Mohammed, J. A. A. Abdullah, *et al.*, "Enhancing oxidant and dye scavenging through MgO-based chitosan nanoparticles for potential antioxidant coatings and efficient photocatalysts ",*Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-15, 2023.
- [11] Y. L. Pang, Z. X. Law, S. Lim, Y. Y. Chan, S. H. Shuit, W. C. Chong, *et al.*, "Enhanced photocatalytic degradation of methyl orange by coconut shell-derived biochar composites under visible LED light irradiation," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, pp. 27457-27473, 2021.
- [12] X. Chen, Z. Wu, D. Liu, and Z. Gao, "Preparation of ZnO photocatalyst for the efficient and rapid photocatalytic degradation of azo dyes," *Nanoscale research letters*, vol. 12, pp. 1-10, 2017.

الفصل الرابع

من خلال العمل الذي قمنا به في المخبر، والذي يهدف إلى استغلال مخلفات العضوية النباتية من: قشور البيض، البرتقال، الموز، الرمان والليمون، من أجل تحضير أفلام حيوية ماصة، حيث استعملنا النشاء كمادة أساسية لتحضيرها، قمنا أيضا في هذا العمل بتوصيف الأفلام ودراسة بعض الخصائص الخاصة بها، ثم درسنا تأثير هذه الأفلام على إمتصاص الصبغة والمتمثلة في أزرق الميثيلين والروز البنغالي.

1.VI. المادة الأولية :

نعرض في الشكل (1-VI) صور المواد الأولية بعد جمعها، تجفيفها وطحنها.



الشكل (1-VI): مختلف المواد الأولية المستعملة.

2.VI. الأفلام الحيوية المحضرة :

يظهر الشكل (2-VI) مختلف الأفلام الحيوية المحضرة اعتمادا على النشاء مع قشور البيض مضاف إليه قشر البرتقال (EPSOP)، الموز (EPSBP)، الرمان (EPSGP) والليمون (EPSCP)، حيث تميزت مختلف الأفلام المصنعة بـ:

✚ الفيليم EPSOP باللون البرتقالي وسمك رقيق جدا، سهل الكسر.

✚ الفيليم EPSBP باللون الأسود، سميك ولين نوعا ما.

✚ الفيلم EPSGP باللون البني الداكن، سميك ولين.
✚ الفيلم EPSCP باللون الأصفر الفاتح وسمك رقيق جدا، سهل الكسر.

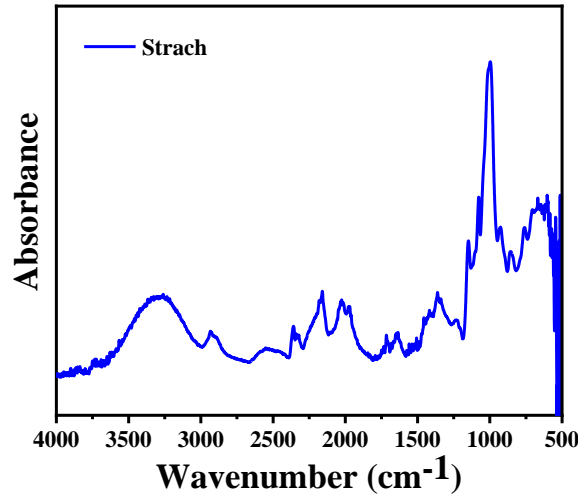


الشكل (2-VI): مختلف الأفلام الحيوية الماصة المحضرة.

3.VI. تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء للعينات :

1.3.VI. النشاء :

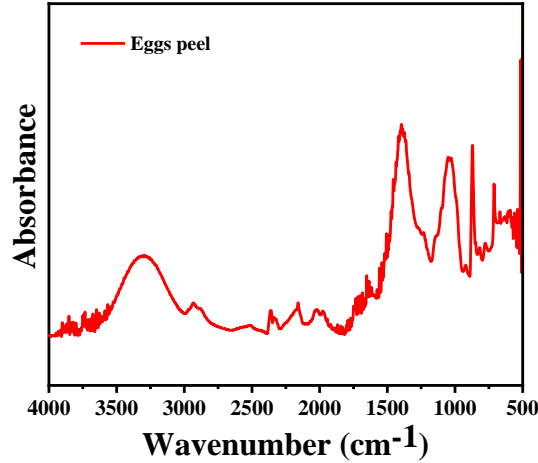
يتم عرض أطياف FTIR لنشاء التجاري في الشكل (3 - VI)، حيث يفسر الطيف إلى وجود نطاق امتصاص في حوالي 3500-3000، 2900 ~، 1150، و 1100-1000 cm^{-1} في الطيفين أشارت إلى أن العينات تمتلك مجموعة وظيفية -OH و C - H و C - O - C و C - O على التوالي، أيضا لوحظت أن ذروة ثاني أكسيد الكربون غير المألوفة (cm^{-1} 2358)، قد يكون ناتجًا عن ظروف التحليل، تتوافق هذه النتائج مع نتائج الدراسة^[1].



الشكل (3-VI): طيف الأشعة تحت الحمراء للنشاء.

2.3.VI. مسحوق قشور البيض :

يتم عرض نتائج التحليل الطيفي لمسحوق قشور البيض في الشكل (4-VI)، حيث يوضح تحليل الأشعة تحت الحمراء وجود ذروات مميزة عند 712 و 876 و 2512 و 3419 cm^{-1} ، أيضا وجود ذروة قوية عند 1426 cm^{-1} في مسحوق قشر البيض، ويرتبط هذا ارتباطاً وثيقاً بوجود معادن الكربونات داخل بنية قشر البيض، و يمكن ربط الذروة التي لوحظت عند 3419 و 2516 cm^{-1} بوجود تمدد مجموعة الهيدروكسيل الكحولية -OH ومجموعة الهيدروجين الحمضية -OH على التوالي، نلاحظ أيضاً ذروتان عند 712 و 876 cm^{-1} ، ويرتبطان بالتشوه المستوي والتشوه خارج المستوى على التوالي، مما يشير إلى وجود كربونات الكالسيوم (CaCO_3)، تمثل النطاقات عند 2926 و 2875 cm^{-1} تذبذب C-H، مما يشير إلى وجود طبقات عضوية مبنية من الأحماض الأمينية في قشر البيض، و تتوافق النطاقات عند 1799 و 1645 cm^{-1} مع تمدد C=O ومجموعة الكربونيل على التوالي، وهذا ما يتوافق تقريبا مع نتائج الدراسة^[2].

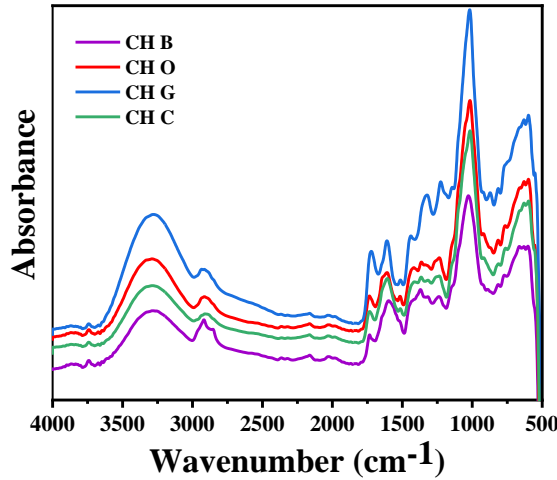


الشكل (4-VI): طيف الأشعة تحت الحمراء لمسحوق قشور البيض.

3.3.VI مسحوق قشور البرتقال، الموز، الرمان والليمون

تم تحديد أطيف FTIR لقشور البرتقال (CH O)، الموز (CH B)، الرمان (CH G) والليمون (CH C) في الشكل (5-VI)، لفهم طبيعة المجموعات الوظيفية الموجودة على السطح الخارجي لمختلف القشور، أظهرت البيانات في الشكل (5-VI) القمم التي أظهرت الطبيعة المعقدة للقشور، وتم تعيين النطاقات التي تظهر عند 3424.96 و 2928.38 و 1636.3 و 1411.64 و 1051.98 و 612.288 cm^{-1} إلى تمدد (O - H)، والأحماض الكربوكسيلية (-OH)، وتمديد (C = O) للأמיד، والألكان (-CH₃)، وامتداد (CO)، وانحناء الألكينات (C - H) على التوالي، وقد ذكر نتائج مماثلة [3, 14].

يُعتقد أن وجود الأحماض الدهنية طويلة السلسلة، الشموع، الكاروتينات والفيستوستيرول يتوافق مع الامتداد غير المتماثل للميثيلين $\nu(C - H)$ بين 2800 و 3000 cm^{-1} [51]، البكتين أو السليلوز أو اللجنين هي المصادر الرئيسية لحمض الكربوكسيل في قشور الفاكهة [16]، وبالمثل فإن الاهتزاز عند 1630 cm^{-1} يشير إلى وجود كربونيلات الفيتوستيرول والأحماض الدهنية [51]، كانت الوحدات الجليكوسيدية واضحة في حدود 617-950 cm^{-1} [17]، و تتكون المكونات العضوية لقشر الفاكهة في الغالب من السليلوز، الهيميسيلولوز، جزيئات البكتين، أصباغ الكلوروفيل وغيرها من المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض [18].



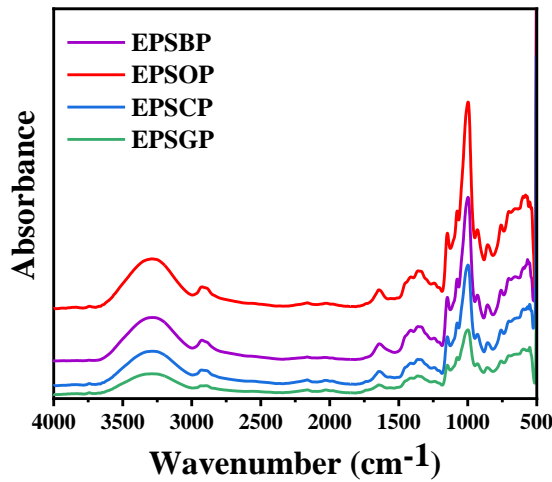
الشكل (5-VI): طيف الأشعة تحت الحمراء لمسحوق مختلف القشور.

4.3.VI. الأفلام الحيوية المحضرة

يبين الشكل (6-VI) التحليل الطيفي FTIR الذي تم إجراؤه على الأفلام لتأكيد وجود مجموعات وظيفية متنوعة، وأظهرت أطياف الأفلام قماً متطابقة تقريباً نظراً لتشابهها الكيميائي في النشا والسليولوز.

أظهرت الأفلام أنه تم تحديد نطاقات الذروة عند 3241.88 إلى 3267.97 cm^{-1} على أنها تمدد اهتزازي معقد (OH-) لمجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بالهيدروجين، كانت النطاقات من 2919.37 إلى 2924.96 cm^{-1} نموذجية لامتداد رابطة (CH-) لمجموعة الألكانات، و كانت نطاقات الذروة عند 1636.78 إلى 1638.65 cm^{-1} هي تأثيرات التمدد الاهتزازي (C = O) لمجموعات الكربونيل من الأמיד I الناتج عن الماء الممتز في مناطق الأميلوز غير المتبلورة، بينما كانت النطاقات عند 1362.74 و 1364.61 cm^{-1} في المنطقة من أميد الثالث، علاوة على ذلك فإن النطاقات البارزة التي تم اكتشافها عند 1148.36 cm^{-1} ناتجة عن تمدد النشا لمجموعتي (C - C) و (C - O)، تعزى القمم عند 1077.52 و 1075.65 cm^{-1} إلى تمدد رابطة ثاني أكسيد الكربون لمجموعات حمض الكربوكسيل (COOH-)، تم العثور على ذروة جزيئات مسحوق قشر البيض عند 1407.48 cm^{-1} ، والذي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بوجود معادن الكربونات في مختلف الأفلام، و تعتبر ذروة امتصاص الكربونات عند 1407.48 cm^{-1} ملحوظة أيضاً وتدعم نتائج^[9]، لوحظ أيضاً التمدد الاهتزازي لرابطة النشا (C - O) من

989.90 إلى 991.76 cm^{-1} . كانت نطاقات الذروة بين 928.38 و 932.11 cm^{-1} ناتجة عن بنية السكاريد، و تُعزى هذه النطاقات إلى روابط (C – O – C و C – O – H و C – O) الممتدة في النشا، و وفقًا لـ [10] قد تكون التغيرات في موضع وشدة الامتصاصات ناتجة عن وجود روابط جليكوسيدية للأميلوبكتين، علاوة على ذلك كان نطاق الذروة الموجود عند 861.27 cm^{-1} مرتبطاً بالتمدد غير المتماثل لرابطة –CH، مما يؤكد وجود CaCO_3 ، مع إضافة مسحوق قشر البيض تم تخفيض الذروة عند 3267.97 cm^{-1} من امتداد –OH والذروة عند 2924.96 cm^{-1} من امتداد –CH إلى 3258.65 و 2919.37 cm^{-1} ، على التوالي، و أدت إضافة مسحوق قشر البيض إلى تعزيز الروابط الهيدروجينية وتقليل مواقع امتصاص الماء وتقوية البنية المدمجة للأفلام المركبة عن طريق تقليل المساحات الحرة في شبكة الأفلام وهذا يتطابق مع ما قدمه [11].



الشكل (6-VI): أطياف الأفلام الحيوية الماصة.

4.VI. الخصائص الفيزيائية للأفلام :

يعرض الجدول (1-VI) مختلف الخصائص الفيزيائية المدروسة لمختلف الأفلام الحيوية المحضرة.

الجدول (1-VI): الخصائص الفيزيائية لمختلف الأفلام الحيوية.

| EPSCP | EPSGP | EPSBP | EPSOP | |
|------------|------------|------------|-----------|-----------------------------|
| 0.01±78.03 | 0.02±75.36 | 0.01±91.26 | 0.06±83.6 | المسامية (%) |
| 0.01±8 | 0.08±9 | 0.03±11 | 0.14±10 | محتوى الرطوبة (%) |
| 0.03±12 | 0.02±14 | 0.01±15 | 0.04±16 | قابلية الذوبان في الماء (%) |
| 0.02±95 | 0.01±93 | 0.04±96 | 0.03±97 | امتصاص الماء (%) |

من الضروري تحديد نسبة مسامية الأغشية من أجل قياس خصائصها، مثل امتصاص الماء، علاوة على ذلك يتطلب الغشاء الحيوي المثالي وجود مسامية لامتناس فعال، هنا تم تقييم نسبة مسامية الأفلام، وتظهر النتائج في الجدول السابق، وأظهرت النتائج أن مسامية الأفلام قدرت من 0.01 ± 91.26 % إلى 0.02 ± 75.36 %، ويرجع ذلك إلى احتواء مسحوق قشر البيض على تركيزات عالية من CaCO_3 ، ومسامية عالية، وبالتالي تشير النتائج التي تم الحصول عليها بوضوح إلى أن كلا من النشاء، مسحوق قشر البيض ومسحوق قشور الفواكه فعالة كمادة ماصة حيوية لإزالة الملوثات المستهدفة.

تم قياس محتوى الرطوبة، والذوبان في الماء، وامتصاص الماء للأفلام، حيث محتوى الرطوبة هو كمية الرطوبة الموجودة أو الممتصة بواسطة الفيلم من البيئة ويتم إطلاقها كبخار عند درجات حرارة عالية (80-100 درجة مئوية) ويتم التعبير عنها كنسبة مئوية من الكتلة الإجمالية للمادة، و تساهم كمية جزيئات الماء المتوفرة في البنية المجهرية للشبكة في زيادة محتوى الرطوبة للأفلام المركبة، بالرجوع إلى الجدول السابق، وجد أن محتوى الرطوبة في مختلف الأفلام يتراوح بين 0.03 ± 11 و 0.01 ± 8 ، و نتيجة لطبيعة النشا المحبة للماء ومجموعات الهيدروكسيل ($-\text{OH}$)، يتم امتصاص جزيئات الماء أو الرطوبة من البيئة، حيث أدى تفاعل مسحوق قشر البيض ومسحوق قشور الفواكه المختلفة مع مادة البوليمر إلى تكوين روابط هيدروجينية مع مجموعات الهيدروكسيل ($-\text{OH}$)، مما أدى إلى تفاعل أقل بين النشا بسبب الامتناس الحيوي، مما أدى إلى انخفاض قدرة امتصاص الماء للفيلم، وهذا ما أكدته [12].

تعد قابلية ذوبان الفيلم في الماء عاملاً بالغ الأهمية والأهمية، خاصة إذا تعرض الفيلم مباشرة للماء،

حيث تراوحت قيم الذوبان في الماء بين 0.04 ± 16 و 0.03 ± 12 في مختلف الأفلام، في هذه الدراسة اتبعت قابلية الذوبان في الماء نفس نمط محتوى الرطوبة، و أظهر هذا أن مسحوق قشر البيض يقلل من محبة الأفلام للماء، في هذه الحالة تفاعلت مجموعات الهيدروكسيل ($-OH$) من النشا المتحلل مع المجموعات الوظيفية لجزيئات قشر البيض، علاوة على ذلك كانت مختلف الأغشية أقل جاذبية لجزيئات الماء بسبب انخفاض عدد مجموعات OH الحرة، مما أدى أيضًا إلى إبطاء إطلاق سلاسل البوليمر الحرة من النشا إلى الماء، و تسبب مسحوق في أن تكون أقل قابلية للذوبان في الماء وهذا ما أكدته [13].

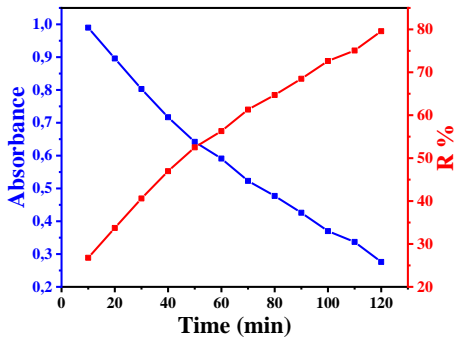
من خلال النتائج الموضحة في الجدول السابق، امتصت جميع الأغشية الماء جيدًا خلال عملية الغمر لمدة 60 دقيقة للوصول إلى مستوى التشبع، على الرغم من أن النشا هو أحد أكثر المواد المحبة للماء، إلا أن إضافة مسحوق قشر البيض إلى المادة يمكن أن يعزز بشكل واضح خصائص مقاومة الماء، و بلغت قيمة امتزاز الأفلام من 0.03 ± 97 إلى 0.01 ± 93 ، و يؤثر مزج مسحوق قشر البيض على امتصاص الأفلام للماء بسبب الطبيعة الكارهة للماء لجزيئات مسحوق قشر البيض بالإضافة إلى تفاعلاتها مع النشا (انخفاض في عدد مجموعات الهيدروكسيل الحرة) وهذا ما يؤكدته [14].

5.VI. امتصاص الصبغة :

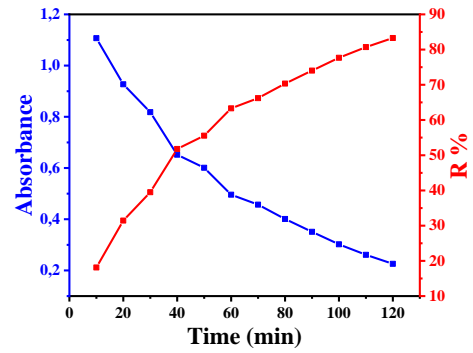
1.5.VI. امتصاص صبغة أزرق الميثيلين :

يؤثر وقت الامتزاز بشكل مباشر على نسبة إزالة الصبغة، وتمت دراسة الظاهرة الحركية للأفلام المحضرة عند تركيز $6 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ من MB وتركيز $2 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ من RB بإضافة 0.08 غ من المادة المازة إلى 20 مل من محلول الصبغة عند درجة الحموضة الطبيعية لـ MB (الرقم الهيدروجيني = 6.3) وكما يتبين من الشكل (7-VI)، تم تسجيل معدل جيد لإزالة الصبغة لجميع المواد الماصة. كان وقت التوازن لامتصاص MB و RB 120 دقيقة.

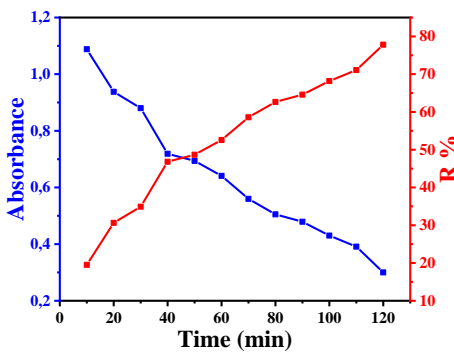
يوضح الشكل (7-VI) أهم النتائج المتحصل عليها لامتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة أزرق الميثيلين.



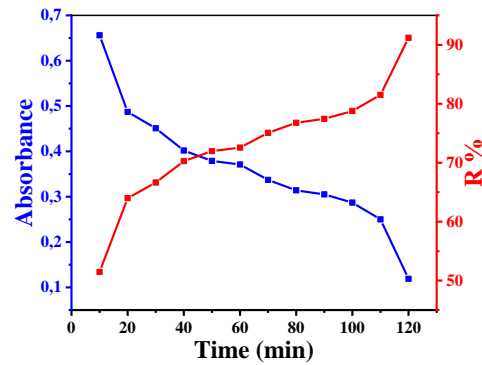
منحى امتصاص فيلم EPSOP لصبغة BM



منحى امتصاص فيلم EPSBP لصبغة BM



منحى امتصاص فيلم EPSCP لصبغة BM



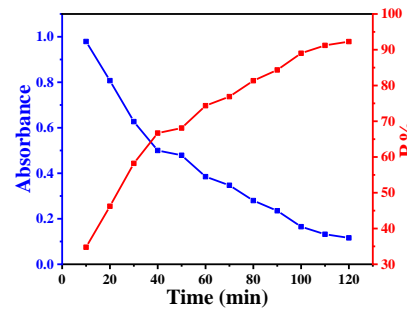
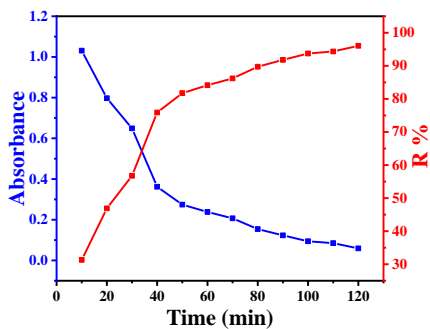
منحى امتصاص فيلم EPSGP لصبغة BM

الشكل (7-VI): امتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة أزرق الميثيلين.

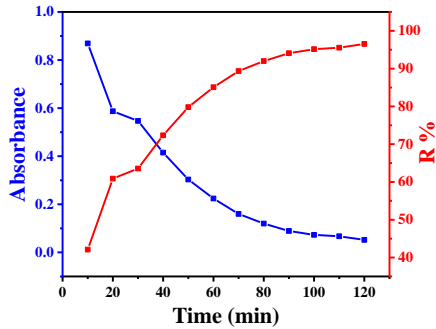
2.5.VI. امتصاص صبغة روز بانغال :

يوضح الشكل (8-VI) أهم النتائج المتحصل عليها لإمتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة روز

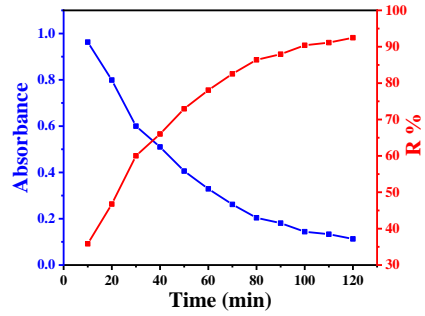
بانغال.



منحى امتصاص فيلم EPSOP لصبغة RB



منحى امتصاص فيلم EPSBP لصبغة RB



منحى امتصاص فيلم EPSCP لصبغة RB

منحى امتصاص فيلم EPSGP لصبغة RB

الشكل (8-VI): امتصاص مختلف الأفلام الحيوية لصبغة روز بانغال.

كانت إزالة RB (pH=4) جيدة في مختلف الأفلام حيث بلغت نسبة 95 % تقريبا لجميع الأفلام وهي أعلى مقارنة بـ MB (pH=6) الذي تراوحت نسبة الإزالة عنده بين (80-90%) وهذا بسبب التناثر الكهروستاتيكي، حيث أظهر RB الأنيوني امتزازاً ممتازاً في الوسائط الحمضية لأن سطح المادة أظهر شحنة موجبة عند درجة حموضة أقل، وهذا ما يؤكد أن الامتزاز كان نتيجة لقوى الجذب الكهروستاتيكية بين الصبغة والأفلام الحيوية الماصة.

تُعتبر الأفلام الحيوية الماصة (أو البيولوجية) جزءاً أساسياً من عمليات معالجة المياه، هذه العملية تعتمد على استخدام المخلفات العضوية لتحليل المواد العضوية والملوثات الأخرى في المياه مما يساعد في تحسين جودة المياه وتنقيتها، باختصار تلعب الأفلام الحيوية الماصة دوراً مهماً في معالجة المياه عن طريق تحسين جودتها وتنقيتها بشكل طبيعي وفعال، مما يساهم في الحفاظ على البيئة وصحة الإنسان.

مراجع الفصل الرابع

- [1] A. Thongmeepech, T. Koda, and A. Nishioka, "Effect of shear and heat milling of starch on the properties of tapioca starch/cellulose nanofiber composites," *Carbohydrate Polymers*, vol. 306, p. 120618, 2023.
- [2] M. S. Tizo, L. A. V. Blanco, A. C. Q. Cagas, B. R. B. D. Cruz, J. C. Encoy, J. V. Gunting, *et al.*, "Efficiency of calcium carbonate from eggshells as an adsorbent for cadmium removal in aqueous solution," *Sustainable Environment Research*, vol. 28, pp. 326-332, 2018.
- [3] A. El Nemr, R. M. Aboughaly, A. El Sikaily, S. Ragab, M. S. Masoud, and M. S. Ramadan, "Microporous nano-activated carbon type I derived from orange peel and its application for Cr (VI) removal from aquatic environment," *Biomass Conversion and Biorefinery*, pp. 1-19, 2020.
- [4] I. C. Afolabi, S. I. Popoola, and O. S. Bello, "Modeling pseudo-second-order kinetics of orange peel-paracetamol adsorption process using artificial neural network," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 203, p. 104053, 2020.
- [5] J. A. Manthey, "Fourier transform infrared spectroscopic analysis of the polymethoxylated flavone content of orange oil residues," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 54, pp. 3215-3218, 2006.
- [6] S. Schiewer and S. B. Patil, "Pectin-rich fruit wastes as biosorbents for heavy metal removal: Equilibrium and kinetics," *Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 1896-1903, 2008.
- [7] R. Khiari, M. Mhenni, M. Belgacem, and E. Mauret, "Valorisation of vegetal wastes as a source of cellulose and cellulose derivatives," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 19, pp. 80-89, 2011.
- [8] O. A. Hussain, E. A. A. Rahim, A. N. Badr, A. S. Hathout, M. M. Rashed, and A. S. Fouzy, "Total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity of agricultural wastes, and their ability to remove some pesticide residues," *Toxicology Reports*, vol. 9, pp. 628-635, 2022.
- [9] S. C. Onwubu, A. Vahed, S. Singh, and K. M. Kanny, "Physicochemical characterization of a dental eggshell powder abrasive material," *Journal of applied biomaterials & functional materials*, vol. 15, pp. e341-e346, 2017.
- [10] B. A. Alimi and T. S. Workneh, "Structural and physicochemical properties of heat moisture treated and citric acid modified acha and iburu starches," *Food Hydrocolloids*, vol. 81, pp. 449-455, 2018.
- [11] J. M. Vonnie, K. Rovina, N. M. N. 'Aqilah, and X. W. L. Felicia, "Development and Characterization of Biosorbent Film from Eggshell/Orange Waste Enriched with Banana Starch," *Polymers*, vol. 15, p. 2414, 2023.
- [12] J. M. Vonnie, C. S. Li, K. H. Erna, K. W. Yin, W. X. L. Felicia, M. N. N. Aqilah, *et al.*, "Development of Eggshell-Based Orange Peel Activated Carbon Film for Synergetic Adsorption of Cadmium (II) Ion," *Nanomaterials*, vol. 12, p. 2750, 2022.
- [13] H. F. Chhatariya, S. Srinivasan, P. M. Choudhary, and S. S. Begum, "Corn starch

- biofilm reinforced with orange peel powder: Characterization of physicochemical and mechanical properties," *Materials Today: Proceedings*, vol. 59, pp. 884-892, 2022.
- [14] G. V. Sree and P. Nagaraaj, "Enhancement of PVA packaging properties using calcined eggshell waste as filler and nanonutrient," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 291, p. 126611, 2022.

الله

تُعد النفايات العضوية مشكلة بيئية متنامية في جميع أنحاء العالم، حيث تُشكل ما يقارب 40% من النفايات الصلبة البلدية، بينما تُسبب هذه النفايات مخاطر بيئية وصحية كبيرة، إلا أنها تُقدم أيضًا فرصة فريدة لتحويلها إلى مواد ذات قيمة مضافة، حيث تُساهم إعادة استخدام النفايات العضوية كمتصّات حيوية في تقليل كمية النفايات المُرسلة إلى مكبات النفايات مما يُقلل من الانبعاثات الضارة والتلوث البيئي.

غالبًا ما تكون النفايات العضوية متاحة بتكلفة منخفضة أو مجانية، مما يجعلها خيارًا اقتصاديًا جذابًا لمعالجة المياه والهواء، حيث أظهرت الدراسات أن النفايات العضوية يمكن أن تكون فعالة للغاية في امتصاص مجموعة واسعة من الملوثات، بما في ذلك المعادن الثقيلة والملوثات العضوية المتطايرة، يمكن استخدام النفايات العضوية كمتصّات في مجموعة متنوعة من التطبيقات، بما في ذلك معالجة المياه والهواء، وإزالة السموم، والزراعة.

تم استغلال العديد من المخلفات العضوية في هذه الدراسة منها: قشور البيض، البرتقال، الموز، الليمون والمانجو، لإنتاج أفلام حيوية ماصة، وتم توصيفها وتحليل بعض خصائصها، إضافة إلى تطبيقاتها في إزالة الصبغة من المياه (أزرق الميثيلين، روز بنغال)، حيث أعطت الأفلام المحضرة خصائص جيدة وفعالية ممتازة في إزالة الصبغة.

تثبتت هذه النتائج أن هناك حاجة إلى المزيد من الأبحاث لتحديد أفضل طرق معالجة النفايات العضوية وتحويلها إلى مواد ممتصة فعالة، حيث يجب:

- ✚ وضع معايير لضمان جودة المواد الممتصة المصنوعة من النفايات العضوية.
- ✚ زيادة الوعي بفوائد استخدام النفايات العضوية كمتصّات حيوية بين أفراد المجتمعات.
- ✚ يمكن تقديم حوافز اقتصادية لتشجيع الشركات على استخدام النفايات العضوية كمتصّات حيوية.

حيث يتوقع أن يشهد استغلال النفايات العضوية كمتصّات حيوية نموًا كبيرًا في السنوات القادمة، مدفوعًا بالعوامل البيئية والاقتصادية، مع استمرار تطوير تقنيات معالجة النفايات العضوية وتحسينها من المتوقع أن تصبح هذه المواد الممتصة بديلاً أكثر شيوعًا للمواد الممتصة التقليدية، ويُقدم استغلال النفايات العضوية كمتصّات حيوية حلولاً مستدامة وفعالة للعديد من التحديات البيئية، مع استمرار تطوير هذه التكنولوجيا من المتوقع أن تلعب دورًا هامًا في حماية البيئة وتحسين الصحة العامة.

يعتبر تحويل النفايات إلى منتجات قيمة بديلاً واعداً للتخفيف من مشكل إدارة النفايات الصلبة ويمكن أن يكون مفيداً للبيئة والبشر، تركز هذه الدراسة على استغلال قشر البيض وقشر البرتقال، الموز، الرمان والليمون الممزوجة بالنشاء لصنع أغشية حيوية مختلفة باستخدام تقنية الصب، و يتم تمييز الأفلام المطورة بعد ذلك باستخدام طيف الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، كما تم تحديد الخصائص الفيزيائية للأغشية، بما في ذلك الكثافة والمسامية ومحتوى الرطوبة وقابلية ذوبان الماء وامتصاص الماء، وتم تحليل كفاءة إزالة صبغة أزرق الميثيلين وروز بنغال، أشارت نتائج تحليل FTIR إلى أن الأغشية تحتوي على مجموعات وظيفية مختلفة، مثل الألكان (C-H) والهيدروكسيل (-OH) والكربونيل (C=O) والكربونات (CO_3^{2-}) وحمض الكربوكسيل ($COOH^-$) والتي يمكن أن تعمل كمواد امتصاص حيوية، وفقاً للنتائج تظهر الأفلام المطورة تحسناً ملحوظاً في خصائص حاجز الماء، مما يؤدي إلى تحسين قدرة الامتصاص، و أظهرت التجارب أن الأفلام المحضرة يمكنها إزالة الصبغة خلال 120 دقيقة بالنسبة لروز بنغال بنسبة فاقت 95%، أما أزرق الميثيلين تراوحت نسبة الإزالة (80-90%) في المحاليل المائية، توفر هذه النتيجة فرصاً محتملة لتطبيق هذه الأفلام في صناعة الأغذية كمادة ماصة ومواد تغليف على حد سواء، و يمكن أن يؤدي هذا الاستخدام إلى تحسين جودة المنتجات الغذائية بشكل عام بشكل كبير.

الكلمات المفتاحية: المخلفات العضوية، أفلام حيوية، الامتصاص الحيوي.

Abstract:

Converting waste into valuable products is considered a promising alternative to mitigate the problem of solid waste management and can be beneficial for both the environment and humans. This study focuses on utilizing eggshell and peels of orange, banana, pomegranate, and lemon blended with starch to manufacture different biofilms using the casting technique. The developed films are then characterized using Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The physical properties of the films, including density, porosity, moisture content, water solubility, and water absorption, were determined. The efficiency of removing methylene blue and rose bengal dyes was analyzed. The FTIR analysis results indicated that the films contain various functional groups, such as alkane (C-H), hydroxyl (-OH), carbonyl (C=O), carbonate (CO_3^{2-}), and carboxyl (-COOH), which can act as bioabsorbent materials. According to the results, the developed films showed a significant improvement in water barrier properties, leading to enhanced absorption capacity. The experiments showed that the prepared films could remove the dye within 120 minutes for rose bengal with a removal percentage exceeding 95%, while for methylene blue, the removal percentage ranged (80- 90%) in aqueous solutions. These results provide potential opportunities for applying these films in the food industry as both absorbent materials and packaging materials. This usage could significantly enhance the overall quality of food products.

Keywords: organic waste, biofilms, biosorbents.