Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 1 - Issue 2 - 2025 - Pages 53-65

Adsorption of Acetic Acid onto Activated Carbon from Barley Husks, Eggshells, and Silica Gel: Isotherm and Thermodynamic Analysis

Rim Ahmed Salem [1*], Hana Alazoumi Abdulsalam [2], Tebra Mosbah Eldrhubi [3], Saad Mousa Aoun Al-Farjani [4]
[1] Chemistry Department, Faculty of Science, Azzaytuna University, Libya
[2] Chemistry Department, Faculty of Education, Gharyan University, Libya
[3] Chemistry Department, Faculty of Education, Azzaytuna University, Libya
[4] Student, Faculty of Science, Azzaytuna University, Libya
***Email (for reference researcher):** reemdaw9@gmail.com

دراسة امتزاز حمض الخليك على الكربون المنشط من قشور الشعير وقشور البيض والسيلكا جل: تحليل الأيزوثيرم والديناميكا الحرارية

ريم إحميد سالم [1*]، هناء العزومي عبد السلام [2]، تبرة مصباح الدرهوبي [3]، سعد موسى عون الفرجاني [4]
[1] قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة الزيتونة، ليبيا
[2] قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة غريان، ليبيا
[3] قسم الكيمياء، كلية التربية، جامعة الزيتونة، ليبيا
[4] طالب، كلية العلوم، جامعة الزيتونة، ليبيا

Received: 22-10-2025; Accepted: 08-12-2025; Published: 24-12-2025

Abstract:
This study investigated the efficiency of three distinct low-cost adsorbents—activated carbon prepared from barley husks (ACB), eggshell powder (ESP), and commercial silica gel (SG)—for the removal of acetic acid from aqueous solutions. The research included optimizing the preparation conditions (e.g., carbonization temperature for ACB) and evaluating key operational parameters such as adsorbent dosage, contact time, initial acid concentration, and solution temperature. Experimental findings demonstrated that eggshell powder (ESP) exhibited the highest adsorption efficiency and capacity among the materials tested. The equilibrium contact time was consistently reached in approximately 30 minutes for all adsorbents. Kinetic analysis indicated that the adsorption data fit well with the Pseudo-Second-Order model. Thermodynamic analysis revealed that the process on ACB was endothermic (favorable at high temperatures), while it was exothermic (favorable at low temperatures) for both ESP and SG. Furthermore, the equilibrium data were successfully modeled using both the Langmuir and Freundlich isotherm models.

Keywords: Adsorption, Acetic Acid, Activated Carbon, Barley Husks, Eggshell Powder, Silica Gel, Langmuir Isotherm, Freundlich Isotherm, Thermodynamics.

الملخص
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة ومقارنة أداء ثلاث مواد مازّة مختلفة ومنخفضة التكلفة في إزالة حمض الخليك من المحاليل المائية، وهي: الكربون المنشط المحضّر من قشور الشعير، ومسحوق قشور البيض، والسيلكا جل التجاري. شمل البحث دراسة تحسين ظروف تحضير المواد (مثل تحديد درجة التفحيم المثلى)، وتقييم تأثير العوامل التشغيلية الرئيسية على عملية الامتزاز، وهي: وزن المادة المازّة، زمن التماس، التركيز الابتدائي لحمض الخليك، ودرجة الحرارة. أظهرت النتائج التجريبية أن مسحوق قشور البيض يتمتع بأعلى سعة امتزاز وكفاءة بين المواد المختبرة، وتم الوصول إلى زمن الاتزان لجميع المواد في غضون 30 دقيقة تقريباً. أشارت دراسة الكينتيكا إلى أن بيانات الامتزاز تتوافق بشكل جيد مع نموذج الرتبة الثانية الزائفة (Pseudo-Second-Order). وكشفت الدراسة الديناميكية الحرارية أن عملية الامتزاز كانت ماصّة للحرارة

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

في حالة الكربون المنشط، بينما كانت باعثة للحرارة في حالة مسحوق قشور البيض والسيلكا جل. وأكدت نمذجة بيانات الاتزان توافقها الجيد مع نماذج أيزوثرم لانجمير وفريندلش.

الكلمات المفتاحية :امتزاز، حمض الخليك، كربون منشط، قشور الشعير، مسحوق قشور البيض، سيلكا جل، نماذج أيزوثرم، ديناميكا حرارية.

المقدمة

تُعد عمليات الامتزاز من أهم الوسائل المستخدمة في معالجة المياه وإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية، وذلك لما تتميز به من كفاءة مرتفعة وقابلية تشغيلية بسيطة مقارنة بالعمليات الكيميائية الأخرى. يعتمد نجاح عملية الامتزاز على عدة عوامل أبرزها طبيعة السطح **المازّ**، المساحة السطحية، حجم المسام، التركيب الكيميائي، والقطبية السطحية.

حمض الخليك من الأحماض العضوية الواسعة الانتشار، ويُستخدم في الصناعات الغذائية والدوائية والتحويلية، وقد يطرح إلى البيئة عبر مياه الصرف الصناعي. لذلك فإن إيجاد طرق فعّالة ومنخفضة التكلفة لإزالته يمثل أهمية بيئية وصناعية.

تسعى الدراسات الحديثة إلى استخدام مواد طبيعية أو مخلفات زراعية كممتزات فعالة وصديقة للبيئة، مثل الكربون المنشط المحضر من المخلفات النباتية، وقشور البيض، بالإضافة إلى السيلكا جل المتوفرة تجاريًا.

يهدف هذا البحث إلى تقييم فعالية ثلاث مواد مازة مختلفة في امتزاز حمض الخليك، ودراسة تأثير مجموعة من المتغيرات التشغيلية على كفاءة الامتزاز.

الدراسات السابقة:

شهدت تقنيات الامتزاز اهتمامًا متزايدًا في العقود الأخيرة كوسيلة فعالة لإزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من المياه، نظرًا لبساطتها، وانخفاض تكلفتها، وفعاليتها العالية مقارنة بالطرق الكيميائية أو البيولوجية التقليدية.

الكربون المنشط من مصادر نباتية:

أظهرت العديد من الدراسات أن الكربون المنشط المحضر من المخلفات الزراعية مثل قشور الشعير، قشور الأرز، ونوى التمر يتمتع بخصائص **امتزازية** متميزة نتيجة لمساحته السطحية العالية وبنيته المسامية. على سبيل المثال، أشار Foo and Hameed (2010) إلى أن الكربون المنشط من مصادر نباتية يمكن أن يحقق كفاءة إزالة تتجاوز 80% لبعض المركبات العضوية، مع توافق جيد مع نماذج لانجماير وفريندلش.

قشور البيض كمادة مازة:

قشور البيض تُعد من المخلفات المنزلية الغنية بكربونات الكالسيوم، وقد أثبتت فعاليتها في إزالة المعادن الثقيلة مثل الرصاص والكادميوم، وكذلك الأصباغ العضوية. في دراسة لـ Nakamura et al. (2009) ، تم استخدام قشور البيض لإزالة صبغة الميثيلين الأزرق، وحققت كفاءة إزالة تجاوزت 90% خلال 30 دقيقة، مما يشير إلى وجود مواقع فعالة على سطح القشور تسهم في الامتزاز.

السيلكا جل كمرجع صناعي:

تُستخدم السيلكا جل على نطاق واسع في الامتزاز الفيزيائي للرطوبة والغازات، وتُعد مرجعًا صناعيًا لمقارنة أداء المواد الطبيعية. أظهرت دراسة Bhatnagar and Sillanpää (2010) أن السيلكا جل تمتلك قدرة **امتزازية** جيدة للملوثات القطبية، ولكنها غالبًا ما تكون أقل كفاءة من المواد الحيوية المعدّلة بسبب محدودية التفاعل الكيميائي على سطحها.

امتزاز حمض الخليك:

رغم قلة الدراسات التي تناولت امتزاز حمض الخليك تحديدًا، إلا أن بعض الأبحاث مثل دراسة Kumar et al. (2015) استخدمت الكربون المنشط لإزالة الأحماض العضوية من مياه الصرف الصناعي، وبيّنت أن الامتزاز يتأثر بشكل كبير بدرجة الحرارة، ووزن المادة المازة، وزمن التماس.

الابتكار العلمي في الدراسة:

تُقدم هذه الدراسة مساهمة علمية متميزة في مجال معالجة المياه باستخدام تقنيات الامتزاز، وتتمثل أوجه الابتكار والاختلاف عن الدراسات السابقة فيما يلي:

- مقارنة تجريبية مباشرة بين ثلاث مواد مازة مختلفة المنشأ: تم تقييم كفاءة الكربون المنشط المحضر محليًا من قشور الشعير، ومسحوق قشور البيض كمخلف منزلي، والسيلكا جل التجارية، تحت نفس الظروف التشغيلية، مما يوفر أساسًا علميًا لاختيار المادة الأنسب من حيث الكفاءة والتكلفة.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- تحضير محلي للكربون المنشط من مخلفات زراعية: تضمنت الدراسة خطوات دقيقة لتحضير الكربون المنشط من قشور الشعير، مع تحديد درجة التفحيم المثلى(400°C) ، مما يعزز من إمكانية تطبيق النتائج في البيئات ذات الموارد المحدودة.
- تحليل ثيرموديناميكي متكامل: تم حساب دوال الطاقة الحرة(ΔG) ، والإنثالبي(ΔH) ، والإنتروبي (ΔS) لتحديد طبيعة العملية (تلقائية، ماصة أو باعثة للحرارة)، وهو ما يُعد إضافة نوعية لفهم آلية الامتزاز على المستوى الجزيئي.
- تطبيق نماذج **أيزوثرمات** متعددة: أظهرت البيانات توافقًا جيدًا مع نماذج لانجماير وفريندلش، مما أتاح توصيفًا دقيقًا لآلية الامتزاز (أحادي الطبقة أو متعدد الطبقات، متجانس أو غير متجانس).
- التركيز على حمض الخليك كمادة ملوثة نموذجية: رغم شيوع الدراسات حول امتزاز الأصباغ والمعادن الثقيلة، فإن التركيز على حمض الخليك باستخدام مواد طبيعية منخفضة التكلفة يُعد توجهًا جديدًا نسبيًا، ويعزز من أهمية الدراسة في معالجة مياه الصرف الصناعي في قطاعات الأغذية والدواء.

أولاً: المواد المستخدمة:

- حمض الخليك :(Acetic Acid) استُخدم حمض الخليك كمادة **ملوثة** نموذجية نظرًا لانتشاره الواسع في الصناعات الغذائية والدوائية والبتروكيميائية. ويتميز بكونه حمضًا عضويًاweak organic acid ، سهل الذوبان في الماء، مما يجعله مناسبًا لتقييم كفاءة المواد المازة في إزالة المركبات العضوية القابلة للذوبان.
- هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) بتركيز N: 0.1استخدم في عمليات المعايرة لتحديد تركيز حمض الخليك قبل وبعد الامتزاز، ويسهم في معرفة السعة الامتزازية بدقة عالية من خلال مقارنة التراكيز الابتدائية والنهائية.
- حمض الهيدروكلوريك (HCl) بتركيز N: 0.1استُخدم في تعديل الوسط وتعيير المحاليل عند الحاجة، إضافة إلى دوره في تنظيف المواد الخام وإزالة الشوائب القابلة للذوبان قبل عملية التفحيم أو الطحن، خصوصًا في تحضير الكربون المنشط من قشور الشعير.
- قشور الشعير: تُعد من المخلفات الزراعية المتوفرة محليًا، وتمتاز بتركيب ليفي غني بالسليلوز والهيميسليلوز واللجنين. هذه المكونات تجعلها مناسبة للتحويل إلى كربون منشط بعد المعالجة الحرارية، إذ يكوّن التفحيم مسامات دقيقة ويزيد من المساحة السطحية، مما يحسّن قدرتها على الامتزاز. كما تمتاز بانخفاض تكلفتها وسهولة الحصول عليها، مما يعزز جدوى استخدامها كبديل للمواد التقليدية.
- قشور البيض: تحتوي على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) إضافة إلى البروتينات والغشاء الداخلي الذي يمنح السطح مواقع فعالة للارتباط بالجزيئات. وتمتلك القشور طبيعة مسامية جيدة بعد الطحن، وتُعد خيارًا صديقًا للبيئة لإعادة تدوير المخلفات المنزلية. كما أظهرت العديد من الدراسات أن قشور البيض فعّالة في إزالة الأصباغ والأيونات والمعادن الثقيلة، مما يجعلها مادة مازة واعدة لامتزاز المركبات العضوية مثل حمض الخليك.
- السيلكا جل :(Silica Gel) تُستخدم على نطاق واسع لخصائصها المميزة مثل المساحة السطحية الكبيرة والقدرة على الامتزاز الطبيعي للرطوبة والجزيئات القطبية. وهي مادة مستقرة كيميائيًا وغير متفاعلة، مما يجعلها مناسبة لدراسة الامتزاز الفيزيائي. كما توفر مقارنة مهمة بين المواد الطبيعية (قشور البيض وقشور الشعير) والمادة التجارية الصناعية.

ثانياً: تحضير الأسطح المازة:

1- **تحضير الكربون المنشط من قشور الشعير:**

يُعد الكربون المنشط واحدًا من أكثر المواد المازة استخدامًا نظرًا لمساحته السطحية الواسعة وتركيبته المسامية الدقيقة. ولتحضيره من قشور الشعير، اتُّبعت عدة مراحل أساسية:

- الغسيل الأولي بالماء المقطر: تم غسل قشور الشعير جيدًا لإزالة الأتربة، والمواد العضوية السطحية، والشوائب العالقة. ويُعد هذا الإجراء مهمًا لمنع تداخل المواد **الملوثة** مع عملية الامتزاز لاحقًا أو مع خطوات التفحيم.
- النقع في حمض الهيدروكلوريك :(HCl) أُجريت هذه الخطوة لإزالة الأملاح المعدنية والمواد القابلة للذوبان، إذ يعمل الحمض على تفكيك المركبات غير العضوية التي قد تُعيق تكوين المسامات أثناء التفحيم. كما يساهم في تنشيط السطح الأولي وتهيئته لامتصاص الحرارة بشكل متجانس.
- التجفيف: جُففت القشور عند درجات حرارة معتدلة لإزالة الرطوبة. ومن الضروري إزالة الماء قبل التفحيم لأن وجوده يعيق تكوين البنية المسامية ويؤثر في توزع الحرارة داخل المادة.
- التفحيم الحراري :(Carbonization) تمت عملية التفحيم ضمن مدى درجات حرارة بين (200–600°C) وبمعدل تسخين ثابت، وتم تحديد (400°C) كدرجة مثلى.

ويؤدي التفحيم إلى:

- تفكيك المركبات العضوية الموجودة في القشور.
- تكوين شبكة مسامية عبر إزالة المواد المتطايرة.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- زيادة عدد المواقع الفعالة على السطح .إن الوصول إلى درجة الحرارة المثلى أمر حاسم، إذ إن الدرجة المنخفضة تُبقي المادة غنية بالرطوبة والمواد غير المتطايرة، بينما تؤدي الدرجة العالية جدًا إلى انهيار البنية المسامية.
- الطحن والغربلة: بعد التفحيم، طُحنت المادة للحصول على حجم جسيمات أصغر مما يزيد من مساحة السطح المتاحة للامتزاز. كما تمت غربلتها للحصول على تجانس في الحجم، وهو عامل يؤثر في سرعة الاتزان وفعالية الامتزاز.

الشكل (1) المادة الخام (قشور الشعير) قبل عملية المعالجة.

الشكل (2) الكربون النشط الناتج من عملية المعالجة.

جدول (1) تأثير درجة حرارة التفحيم على قابلية امتزاز حمض الخليك على الكربون المنشط المحضر من قشور الشعير عند درجة حرارة الغرفة 25 ^{o}C.

درجة التفحيم(C^0)	التركيز عند الاتزان(C_e (N	كفاءة الإمتزاز R%
200	0.175	12.5
300	0.170	15
400	0.152	24
500	0.162	19
600	0.158	21

2. تحضير قشور البيض

قشور البيض مادة طبيعية ذات تركيبة غنية بـ **كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)** والبروتينات والغشاء الداخلي، مما يمنحها خصائص امتصاص ممتازة.

- **إزالة المحتوى الداخلي وغسل القشور:**

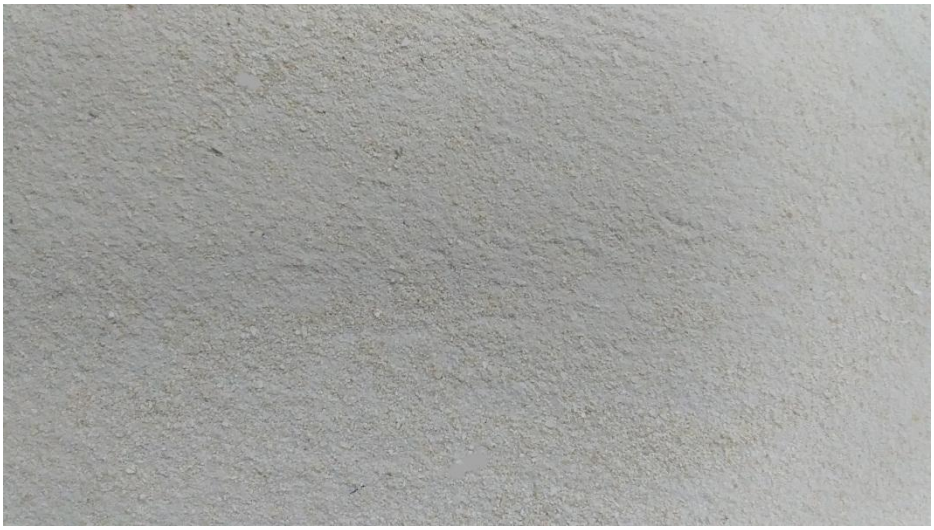
تم غسل القشور بالماء المقطر لإزالة بقايا البياض والصفار، فهذه المواد قد تتعفن وتؤثر في ثبات السطح أو تلوث المحاليل.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **التجفيف الحراري:**
جُففت القشور عند **105°C**، وهي درجة تكفي لإزالة الرطوبة دون التأثير على التركيب البلوري لكربونات الكالسيوم.
إزالة الرطوبة ضرورية لمنع التكتل أثناء الطحن ولضمان الحصول على بنية مسامية أكثر اتساقًا.

- **الطحن للحصول على مسحوق ناعم:**
عملية الطحن تزيد من عدد مواقع الارتباط المتاحة للامتزاز، كما تُسهم في تعزيز التفاعل بين السطح والجزيئات العضوية الموجودة في المحلول.

- **حجم الجسيمات:**
كلما صغر حجم الجسيمات، زادت مساحة السطح المتاحة للامتصاص، وتسارعت عملية الوصول إلى الاتزان.



الشكل (3) السطح الماز (قشور البيض) الناتج من عملية المعالجة.

3. تحضير السيلكا جل :

السيلكا جل مادة صناعية جاهزة ذات بنية مسامية مستقرة ومساحة سطحية عالية، إلا أن تحضيرها للدراسة يتطلب خطوات أساسية:

- **التجفيف لإزالة الرطوبة:**
تجفف السيلكا جل قبل الاستخدام لأن سطحها يميل لامتصاص الرطوبة من الهواء.
وجود الماء على السطح قد يعيق ارتباط حمض الخليك، لأن جزيئات الماء تُشكل طبقة حامية تمنع الجزيئات العضوية من الوصول إلى المواقع الفعالة.

- **الطحن عند الحاجة:**
إذا كانت الجزيئات كبيرة الحجم، تُجرى عملية الطحن لضمان تجانس حجم الجسيمات وتحسين سرعة الامتزاز.

- **الحفظ في أوعية محكمة الإغلاق:**
تُخزن السليكا جل بعيدًا عن الهواء والرطوبة للحفاظ على خواصها الامتزازية.

ثالثاً: تجارب الامتزاز

أُجريت التجارب لدراسة العوامل التالية:

- **درجة حرارة التفحيم** (200–600°C)للكربون المنشط.
- **زمن الاتزان** (10–60) دقيقة.
- **وزن السطح الماز** (0.1–1) غم.
- **التركيز الابتدائي لحمض الخليك** (0.04–0.2N).

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **درجة الحرارة** (283–333K).

رابعاً: إجراء تجارب الامتزاز:

تم إجراء سلسلة من التجارب المنظمة لدراسة العوامل المختلفة المؤثرة على كفاءة عملية امتزاز حمض الخليك.

- **تحديد درجة حرارة التفحيم المثلى للكربون المنشط:**
  - **الهدف :**معرفة درجة الحرارة التي تنتج كربوناً منشطاً بأعلى قدرة امتزازيه.
  - **الطريقة :**أخذت عينات من الكربون المنشط المحضر عند كل درجة حرارة (200-600 °م). ثم أضيف 0.3 غرام من كل عينة إلى 25 مل من محلول حمض الخليك بتركيز 0.2 عياري. رجت العينات لمدة 20 دقيقة ثم رشحت وتم تقدير التركيز المتبقي للحمض. وجد أن درجة الحرارة المثلى هي 400 °م.
- **دراسة تأثير زمن التماس (الاتزان):**
  - **الهدف :**تحديد الوقت اللازم لوصول النظام إلى حالة الاتزان، أي الوقت الذي تصبح فيه سرعة امتزاز الجزيئات على السطح مساوية لسرعة انزياحها عنه.
  - **الطريقة :**أخذت أوزان متساوية (0.3 غرام) من كل مادة مازة وأضيفت إلى محاليل حمض الخليك. ثم رجت العينات لفترات زمنية مختلفة (10، 20، 30، 40، 50، 60 دقيقة). بعد كل فترة، رشحت المحاليل وحُللت لمعرفة التركيز المتبقي. أظهرت النتائج أن زمن الاتزان هو 30 دقيقة لجميع المواد.
  - **الاستنتاج:** تؤكد نتائج الدراسة وجود علاقة واضحة بين زمن التماس وكفاءة عملية الامتزاز، حيث يتضح أن زمن 30 دقيقة يمثل نقطة الاتزان المثلى لجميع المواد المازة المدروسة. فقد لوحظ تطور ملحوظ في الكفاءة الامتزازية خلال الفترة من 10 إلى 30 دقيقة، حيث ارتفعت كفاءة الامتزاز لقشور البيض من 85.5% إلى 91.5%، والكربون المنشط من 21.0% إلى 28.0%، والسليكا جل من 16.0% إلى 20.0%.

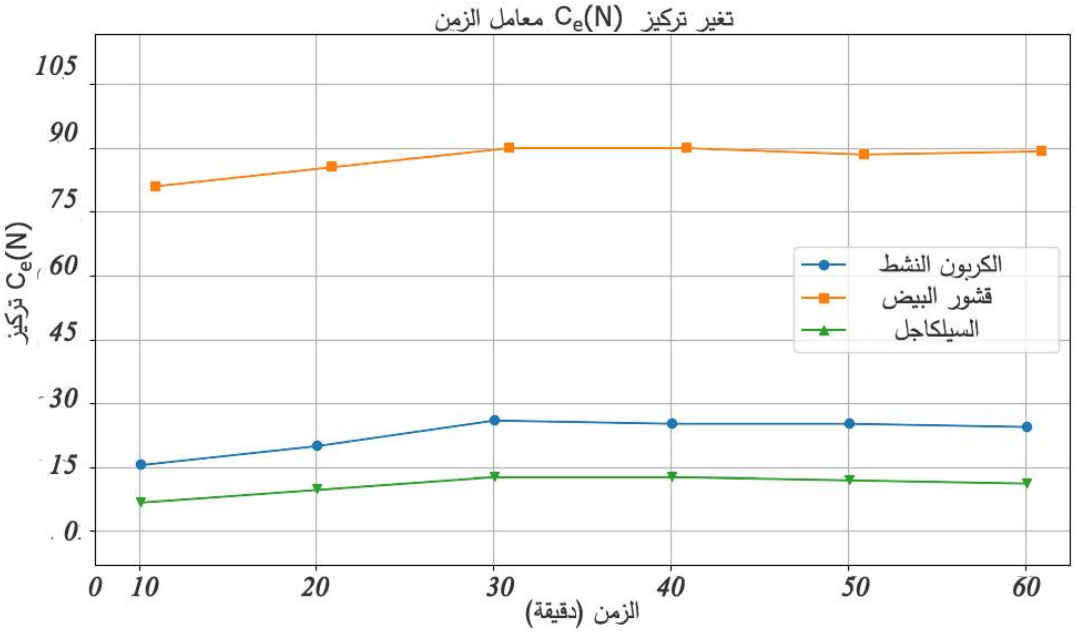
أما بعد 30 دقيقة، فقد سجلت القيم استقراراً ملحوظاً أو انخفاضاً طفيفاً في الكفاءة، مما يشير إلى وصول النظام إلى حالة التشبع واكتمال عملية الامتزاز. وتُعزى هذه النتائج إلى توفر المواقع النشطة بكثرة في المراحل الأولى من العملية، تباطؤ في معدل الامتزاز مع اقتراب السطح من حالة التشبع.

جدول (2) تأثير زمن الاتزان على امتزاز حمض الخليك.

الزمن (دقيقة)	الكربون النشط		قشور البيض		السيلكاجل	
	C_e (N)	R%	C_e(N)	R%	C_e (N)	R%
10	0.158	21.0	0.029	85.5	0.168	16.0
20	0.152	24.0	0.023	88.5	0.164	18.0
30	0.144	28.0	0.017	91.5	0.160	20.0
40	0.145	27.5	0.017	91.5	0.160	20.0
50	0.145	27.5	0.019	90.5	0.161	19.5
60	0.146	27.0	0.018	91.0	0.162	19.0

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 1 - Issue 2 - 2025 - Pages 53-65



رسم بياني رقم (1) يوضح تأثير زمن الاتزان على امتزاز حمض الخليك.

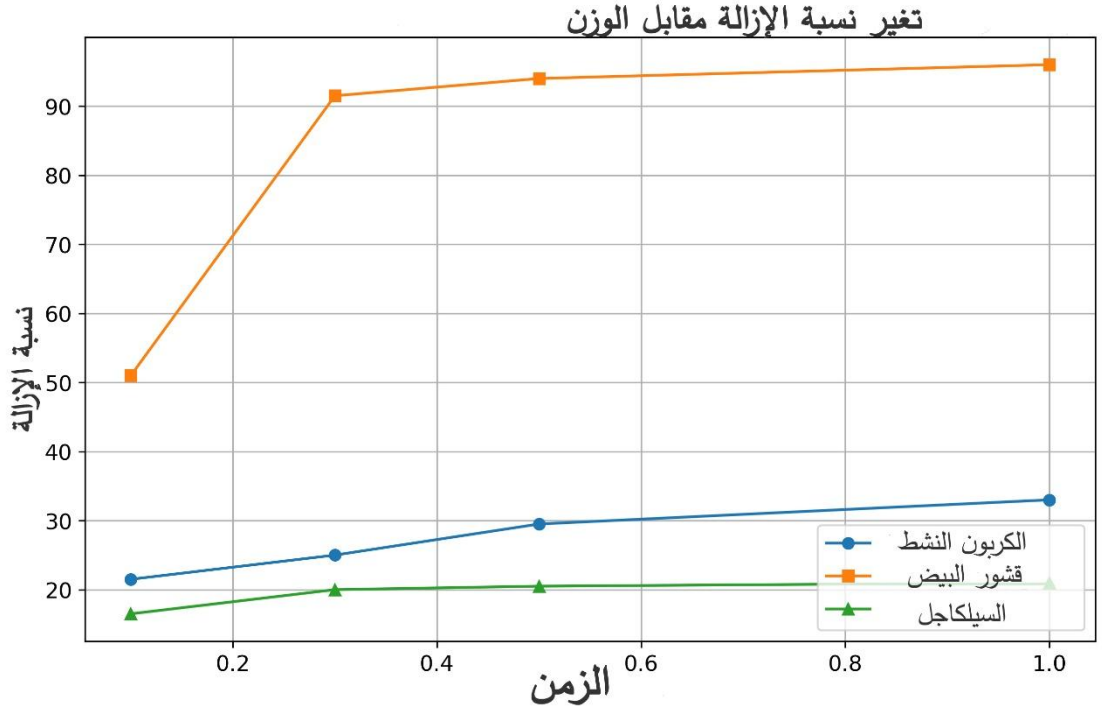
- **دراسة تأثير وزن المادة المازة:**
  - **الهدف :**فهم العلاقة بين كمية المادة المازة وكفاءة الإزالة.
  - **الطريقة :**أخذت أوزان مختلفة (0.1، 0.3، 0.5، 1 غرام) من كل مادة مازة وأضيفت إلى حجوم ثابتة (25 مل) من محلول حمض الخليك بتركيز ثابت (0.2 عياري). رجت العينات لمدة 30 دقيقة (زمن الاتزان) ثم حللت. بشكل متوقع، زادت كفاءة الامتزاز بزيادة الوزن بسبب زيادة عدد المواقع النشطة المتاحة للامتزاز.
  - **الاستنتاجات:** كلما زاد الوزن من 0.1 غم إلى 1.0 غم، زادت كفاءة الامتزاز بشكل ملحوظ، حيث تؤدي الزيادة في وزن المادة المستخدمة في الامتصاص إلى تحسين مباشر في كفاءة التنقية، وهي قاعدة تنطبق على جميع المواد الثلاث التي تم اختبارها.

جدول (3) تأثير وزن المادة المازة (كربون منشط، قشور البيض، السيلكاجل) على امتزاز حمض الخليك عند درجة حرارة 23°م

الوزن (غم)	الكربون النشط		قشور البيض		السيلكاجل	
	C_e (N)	R%	C_e (N)	R%	C_e (N)	R%
0.1	0.157	21.5	0.098	51	0.167	16.5
0.3	0.150	25	0.017	91.5	0.160	20
0.5	0.141	29.5	0.012	94	0.159	20.5
1.0	0.134	33	0.008	96	0.158	21

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 1 - Issue 2 - 2025 - Pages 53-65



رسم رقم (2) يوضح تأثير وزن المادة المازة (كربون منشط، قشور البيض، السيلكاجل) على امتزاز حمض الخليك عند درجة حرارة 23°م

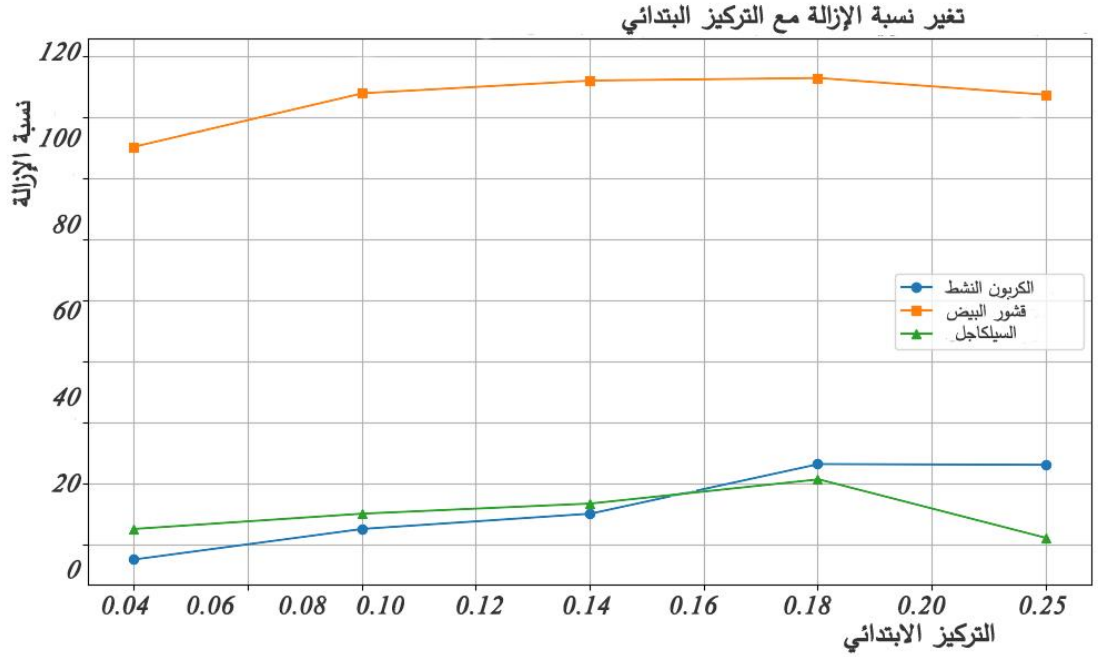
- **دراسة تأثير التركيز الابتدائي للمادة الممتزة (حمض الخليك):**
  - **الهدف :**فحص أداء المواد المازة عند تراكيز مختلفة من الملوث.
  - **الطريقة :**باستخدام الوزن الأمثل الذي تم تحديده (1 غرام)، أُجريت التجارب باستخدام محاليل لحمض الخليك بتراكيز متدرجة (0.04، 0.08، 0.12، 0.16، 0.2 عياري). بعد الرج لمدة 30 دقيقة، تم تحليل المحاليل. أظهرت النتائج أن الكفاءة تزداد مع زيادة التركيز حتى نقطة معينة (0.16 عياري) ثم تبدأ بالانخفاض بسبب تشبع المواقع النشطة على الأسطح.
  - **الاستنتاجات:**

1. قشور البيض أظهرت أعلى كفاءة امتزاز عند جميع التراكيز.
2. بلغت أعلى كفاءة امتزاز عند التركيز N0.16 لمعظم الأسطح.
3. الكربون المنشط أظهر تحسن مستمر في الكفاءة مع زيادة التركيز.
4. السيلكاجل أظهر أقل كفاءة امتزاز بين المواد المازة المدروسة.

جدول (4) تأثير التركيز الابتدائي لحمض الخليك على قابلية امتزازه على الأسطح المدروسة.

السيلكاجل		قشور البيض		الكربون النشط		التركيز الابتدائي(N)
R%	C_e (N)	R%	C_e (N)	R%	C_e (N)	
22.5	0.031	87.5	0.005	17.5	0.033	**0.04**
25	0.060	96.25	0.003	22.5	0.062	**0.08**
26.66	0.088	98.33	0.002	25	0.090	**0.12**
30.62	0.111	98.75	0.002	33.125	0.107	**0.16**
21	0.158	96	0.008	33	0.134	**0.20**

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



رسم بياني رقم (3) يوضح تأثير التركيز الابتدائي لحمض الخليك على قابلية امتزازه على الأسطح المدروسة.

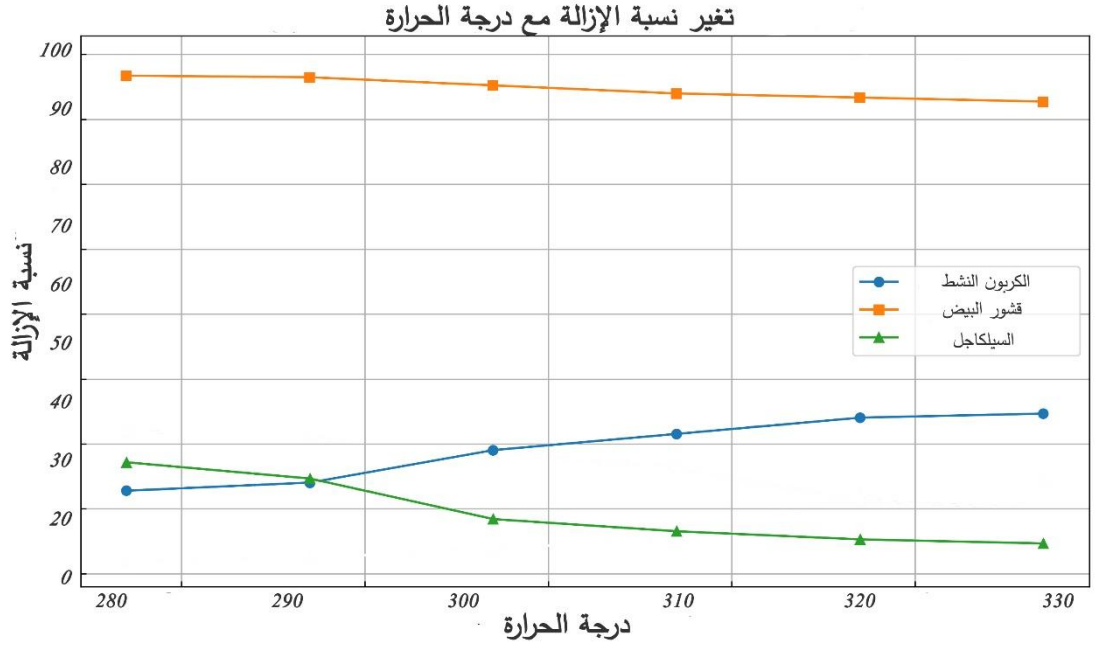
- **دراسة تأثير درجة الحرارة:**
  - **الهدف :**تحديد الطبيعة الحرارية لعملية الامتزاز (هل هي ماصة أم باسطة للحرارة) وحساب الدوال الثيرموديناميكية.
  - **الطريقة :**أُجريت التجارب باستخدام الظروف المثلى السابقة (الوزن 1 غرام، التركيز 0.16 عياري، الزمن 30 دقيقة) ولكن عند درجات حرارة مختلفة (10، 20، 30، 40، 50، 60 °م أو 283، 293، 303، 313، 323، 333 كلفن) باستخدام حمام مائي مسيطر عليه حرارياً. ساعدت هذه الدراسة في حساب طاقة وانتظامية عملية الامتزاز.
  - **الاستنتاجات**

1. **الكربون المنشط** :تزداد كفاءة الامتزاز مع زيادة درجة الحرارة (عملية ماصة للحرارة).
2. **قشور البيض** :تقل كفاءة الامتزاز مع زيادة درجة الحرارة (عملية باعثة للحرارة).
3. **السيلكاجل** :تقل كفاءة الامتزاز مع زيادة درجة الحرارة (عملية باعثة للحرارة).
4. كانت **قشور البيض** الأكثر كفاءة في الامتزاز عند جميع درجات الحرارة.

جدول (5) تأثير درجة الحرارة على قابلية امتزاز حمض الخليك على الأسطح المدروسة.

درجة الحرارة(K)	الكربون النشط		قشور البيض		السيلكاجل	
	C_e (N)	R%	C_e (N)	R%	C_e (N)	R%
283	0.112	30.00	0.0015	99.00	0.105	34.375
293	0.110	31.25	0.0020	98.75	0.109	31.870
303	0.102	36.25	0.0040	97.50	0.119	25.625
313	0.098	38.75	0.0060	96.25	0.122	23.750
323	0.094	41.25	0.0060	95.625	0.124	22.500
333	0.093	41.875	0.0080	95.00	0.125	21.875

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



رسم بياني رقم (4) تأثير درجة الحرارة على قابلية امتزاز حمض الخليك على الأسطح المدروسة.

خامساً: التحليل والحسابات:

- **تقدير الكفاءة :**حسبت النسبة المئوية للإزالة (R%) باستخدام المعادلة:
  - $R\% = [(C_0 - C_e) / C_0] \times 100$
  - حيث C_0 هو التركيز الابتدائي و C_e هو التركيز عند الاتزان.
- **تقدير سعة الامتزاز :**حسبت كمية المادة الممتزة لكل جرام من المادة المازة (Q_e) بالملليغرام/غرام باستخدام المعادلة:
  - $Q_e = [(C_0 - C_e) \times V] / M$
  - حيث V هو حجم المحلول باللتر و Mهو وزن المادة المازة بالغرام.

- **نمذجة البيانات :**لدراسة آلية الامتزاز، تم تطبيق النتائج على نماذج رياضية مثل:
  - **أيزوثيرم لانجماير :**يفترض امتزازاً أحادي الطبقة على سطح متجانس.
  - **أيزوثيرم فريندليش :**يفترض امتزازاً متعدد الطبقات على سطح غير متجانس.
  - تم رسم العلاقات البيانية المناسبة لكل نموذج واستخراج الثوابت التي (تصف عملية الامتزاز) مثل أقصى سعة امتزاز Q_{max} وثابت الطاقة b في نموذج لانجماير.
- **الدراسة الثيرموديناميكية :**باستخدام قيم ثابت الاتزان (K_e) عند درجات حرارة مختلفة، تم حساب:
  - **التغير في طاقة جيبس الحرة :(ΔG)** لمعرفة إذا كانت العملية تلقائية أم لا.
  - **التغير في الإنثالبي :(ΔH)** لتحديد إذا كانت العملية ماصة أو باسطة للحرارة.
  - **التغير في الإنتروبي :(ΔS)** لقياس درجة العشوائية أو الانتظام أثناء عملية الامتزاز.

الخلاصة
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة ثلاثة أنواع من المواد المازة ذات المنشأ الطبيعي أو منخفضة التكلفة، وهي الكربون المنشط المحضر من قشور الشعير، ومسحوق قشور البيض، والسليكا جل، في إزالة حمض الخليك من محاليله المائية. تم تنفيذ سلسلة منهجية من التجارب المخبرية لدراسة العوامل المؤثرة على عملية الامتزاز، والتي شملت درجة حرارة التفحيم، وزمن الاتزان، ووزن المادة المازة، والتركيز الابتدائي للمادة الممتزة، ودرجة حرارة الوسط.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

أظهرت النتائج أن الظروف المثلى لتحقيق أعلى كفاءة امتزاز كانت عند درجة حرارة تفحيم 400°م للكربون المنشط، وزمن اتصال قدره 30 دقيقة، ووزن مثالي للمادة المازة بلغ 1 غرام. كما سجل التركيز الابتدائي 0.16 عياري لحمض الخليك أعلى قيمة لكفاءة الإزالة. ومن أبرز النتائج التي تم التوصل إليها التفوق الواضح لقشور البيض، حيث حققت كفاءة امتزازيه عالية جداً تتراوح بين 96% إلى 99%، متفوقةً بذلك على أداء الكربون المنشط (33% - 41.87%) والسيلكاجل (21%-34.37%).

تمت نمذجة البيانات وفقاً لنظريتي لانجماير وفريندليش، حيث أظهرت النتائج توافقاً جيداً مع كلا النموذجين. كما كشفت الدراسة عن الخصائص التيرموديناميكية المميزة لكل مادة مازة؛ فبينما كان امتزاز حمض الخليك على الكربون المنشط عملية ماصة للحرارة وغير تلقائية، كانت العملية على قشور البيض والسيلكاجل باسطة للحرارة.

تُبرز هذه الدراسة الإمكانات الواعدة لاستخدام المخلفات الزراعية والطبيعية، ولا سيما قشور البيض، كمواد مازة فعالة ومنخفضة التكلفة وصديقة للبيئة في معالجة الملوثات العضوية من المياه. تُشجع هذه النتائج على تبني استراتيجيات الإدارة المستدامة للمخلفات وتطوير حلول معالجة مياه لامركزية وميسورة التكلفة، مما يساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة وحماية البيئة.

النتائج والتوصيات:

أولاً: النتائج

من خلال التحليل الدقيق للبيانات والتجارب، تم التوصل إلى النتائج الرئيسية التالية:

1. **الظروف المثلى للامتزاز:**
   - **درجة حرارة التفحيم :**كانت ° **400م** هي درجة الحرارة المثلى لتحضير الكربون المنشط من قشور الشعير، حيث سجلت أعلى كفاءة امتزاز 24%.
   - **زمن الاتزان :**كان **30دقيقة** هو الزمن اللازم لوصول جميع الأنظمة إلى حالة الاتزان، حيث استقرت بعده كفاءة الامتزاز.
   - **الوزن الأمثل :**كان **1غرام** من كل مادة مازة هو الوزن الذي حقق أعلى نسبة إزالة لحمض الخليك تحت الظروف المدروسة.
2. **أداء المواد المازة:**
   - **كفاءة الإزالة :**أظهرت المواد المازة ترتيباً واضحاً من حيث الكفاءة كان كالتالي:
     - **قشور البيض**: أعلى كفاءة **96-99%**
     - **الكربون المنشط (من قشور الشعير)33-41.87% :**
     - **السيلكاجل**: أقل كفاءة **21-34.37%**
   - **سعة الامتزاز :(Q_e)** تأكد تفوق قشور البيض أيضاً من حيث كمية الحمض المُمتَّزة لكل جرام، حيث سجلت قيم Q_eأعلى بكثير من نظيريها في معظم التراكيز ودرجات الحرارة.
3. **نمذجة الامتزاز والثوابت:**
   - **نموذج لانجماير وفريندليش :**اتسمت بيانات الامتزاز بعلاقة خطية جيدة مع كلا النموذجين، مما يشير إلى إمكانية تطبيق كلا النموذجين لوصف العملية.
   - **ثوابت فريندليش :**أشارت قيمة الثابت (n) للكربون المنشط والسيلكاجل إلى أن الامتزاز **فيزيائي** ومفضل، بينما كانت القيمة لقشور البيض غير معتادة وتستحق مزيداً من الدراسة.
   - **ثوابت لانجماير :**أكدت القيم المرتفعة للثابت (b) لقشور البيض على وجود ألفة عالية بين سطحها وجزيئات حمض الخليك.
4. **الديناميكا الحرارية للامتزاز:**
   - **الكربون المنشط :**كانت عملية الامتزاز **ماصة للحرارة** (ΔH)موجبة، **غير تلقائية** (ΔG) موجبة، وأقل عشوائية (ΔS)سالبة.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

- **قشور البيض :**كانت العملية **باعثة للحرارة** (ΔH)سالبة، **تلقائية** (ΔG)سالبة، وأكثر عشوائية(ΔS) موجبة، وهو سلوك فريد يعزى غالباً إلى تفاعلات أيونية.
- **السيلكاجل :**كانت العملية **باعثة للحرارة** (ΔH) سالبة، **غير تلقائية** موجبة(ΔG)، وأقل عشوائية(ΔS) سالبة.

ثانيًا: التوصيات

بناءً على النتائج التي تم الحصول عليها، يمكن التوصية بما يلي:

1. **التوصيات التطبيقية والبيئية:**

- **التوسع في استخدام قشور البيض :**نظراً لكفاءتها العالية وتوفرها كمخلفات مجانية، يوصى **بأولوية استخدام مسحوق قشور البيض** كبديل عملي ومنخفض التكلفة في أنظمة المعالجة الأولية للمياه الحمضية أو الملوثة بالملوثات العضوية.
- **تعزيز استخدام الكربون المحلي :**يوصى **بتشجيع تحضير الكربون المنشط من المخلفات الزراعية المحلية** (كقشور الشعير) كاستراتيجية وطنية لتقليل الاعتماد على الاستيراد وتوفير العملة الأجنبية.

2. **توصيات للبحوث المستقبلية:**

- **تحسين تحضير الكربون المنشط :**دراسة الجمع بين التنشيط الحراري والكيميائي لتحضير كربون منشط من قشور الشعير بمواصفات مسامية أعلى وكفاءة أكبر.
- **بحث آليات الامتزاز :**إجراء دراسات أكثر تعمقاً (باستخدام تقنيات مثل FTIR أو XRD) لفهم الآلية الدقيقة للامتزاز على قشور البيض وتفسير القيم غير الاعتيادية للثوابت والدوال التيرموديناميكية.
- **تطبيقات على ملوثات حقيقية :**اختبار كفاءة هذه المواد المازة، وخاصة قشور البيض، في معالجة مياه صرف صناعي حقيقية تحتوي على خليط من الملوثات وليس حمض الخليك فقط.
- **دراسات اقتصادية :**إجراء تحليل اقتصادي مفصل لمقارنة تكلفة المعالجة باستخدام هذه المواد مقارنة بالمواد التقليدية، مع الأخذ في الاعتبار تكلفة الجمع والنقل والمعالجة.

3. **توصيات تقنية:**

- **التنشيط الحراري :**نظراً لنجاحه في هذه الدراسة وبساطته النسبية، يوصى بالاعتماد على طريقة التنشيط **الحراري** لتحضير الكربون من المصادر الطبيعية عندما يكون الهدف هو التطبيقات غير المعقدة ومنخفضة التكلفة.
- **ثبات الظروف :**أكدت الدراسة أن ترتيب كفاءة المواد المازة بقي ثابتاً رغم تغير الظروف، مما يعطي مصداقية للتوصية باستخدام قشور البيض كأفضل خيار ضمن الخيارات المدروسة.

تُعد هذه الدراسة خطوة نحو تعزيز استخدام الموارد المحلية والمخلفات الزراعية في تقنيات المعالجة البيئية المستدامة، وتفتح آفاقًا لتطبيقات أوسع في مجال تنقية المياه الصناعية.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

المصادر والمراجع

أولاً: المراجع العربية

1. السجاد، ف. ع.، وكزاز، ه. ك .(2016) .تنقية المياه من صبغة الإمارات باستخدام قشور الرمان .جامعة الكوفة.
2. الهزازي، ع. ب. ع) .د.ت .(.دراسة امتزاز حمض الخليك على سطح الفحم النباتي المنشط.
3. رمضان، ن. م .(2018) .إزالة الرصاص من المحاليل المائية باستخدام أوراق اللوز والزيتون والكينا .[رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الزيتونة.
4. عبد الرحمن، ش. هـ .(2012) .دراسة ثرموديناميكية وحركية امتزاز الفينول ومعوضاته باستخدام الفحم المنشط [أطروحة دكتوراه أو رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الموصل.
5. علوان، ل. ح.، وجبر، ل. ع. ر .(2009) .تأثير طبيعة المادة المازة على البنزدين .جامعة تكريت.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

6. كاظم، ب. ج) .د.ت .(.إزالة بعض الأصباغ من محاليلها المائية باستعمال مسحوق قشور البيض .[رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة الكوفة.
7. ناصر، ط.، وفرهود، أ. ص .(2012) .تقدير الفينول على سطح الكربون المنشط المحضر من قشور الرز .مجلة جامعة بابل.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Al Aji, B., & Hadid, M. (2009). Adsorption of heavy metal ions using locally produced activated carbon. Basel Al-Assad Journal, 25, 107–128.
2. Aygun, A., Yenisoy-Karakas, S., & Duman, I. (2003). Production of activated carbon from fruit stones and shells. Microporous and Mesoporous Materials, 66, 189–195.
3. Baskaran, P. K., Venkarmen, B. R., & Saivoli, R. (2011). Adsorption of malachite green dye by acid-activated carbon. E-Journal of Chemistry, 8(1), 9–18.
4. Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment—A review. Chemical Engineering Journal, 157(2–3), 277–296.
5. Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. Chemical Engineering Journal, 156(1), 2–10.
6. Guta, U. K., Mohan, D. S., & Sharma, M. S. (2000). Separation Science and Technology, 35, 2097–2130.
7. Hameed, B. H. (2011). Preparation of activated carbon from date stones. Chemical Engineering Journal, 170, 338–341.
8. Ho, Y. S., A. (2000). Film-surface diffusion during adsorption of acid dyes. Adsorption Science and Technology, 18, 639-645.
9. Karadag, D., & Aydin, F. (1998). Removal of water-soluble cationic dyes with trisyl silicas. 22, 227–236.
10. Kumar, K. V., [Author], A. (2015). Adsorption of organic acids from aqueous solutions using activated carbon: Equilibrium and kinetic studies. Journal of Environmental Chemical Engineering, 3(1), 349–357.
11. Nakamura, T., [Author], A. (2009). Removal of Methylene Blue by Eggshell Waste: Adsorption Kinetics and Equilibrium Studies. Journal of Environmental Sciences, 21(3), 380–384.
12. Orfao, J. M., [Author], A. (2006). Adsorption of reactive dye on chemically modified activated carbons. Journal of Colloid and Interface Science, 296, 480–489.
13. Papic, S. N., Koprivanac, A. L., & Bozic, A. (2004). Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined coagulation–carbon adsorption process. Dyes and Pigments, 62, 291–298.
14. Schaffner, L., Brugger, S., Nyffenegger, R., & Walter, J. (2006). Surfactant-mediated adsorption of negatively charged latex particles to a cellulose surface. Colloids and Surface A, 286, 39–50.
15. Shaobing, W., & Huiting, I. (2007). Kinetic modeling and mechanism of dye adsorption on unburned carbon. Dyes and Pigments, 72, 308–314.
16. Tan, I., Ahmad, A. L., & Hameed, B. H. (2008). Enhancement of basic dye adsorption from aqueous solutions using modified palm shell activated carbon.
17. Zheng, Y. M., Zhao, Q. B., & Yung, H. I. (2005). Adsorption of cationic dye onto aerobic granules. Process Biochemistry, 3777–3782.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **LOUJAS** and/or the editor(s). **LOUJAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and .conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)