دراسة امتزاز صبغة الكونغو الحمراء من محاليلها المائية على أسطح محضرة من قشور الفول السوداني

مروة فرج بالعيد الجروشي[1]، عبد الفتاح محمد الخراز[2]*، خالد مفتاح الشريف[3]

[1] قسم الكيمياء، كلية العلوم، الجامعة الاسمرية، زليتن، ليبيا
[2] قسم الكيمياء، كلية العلوم، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا
[3]الهيئة الليبية للبحث العلمي، طرابلس، ليبيا
Abdoalkherraz@sci.misuratau.edu.ly*

Submission data 20. 6.2025 Acceptance data 22. 7 .2025 Electronic publisher data: 25. 7.2025

الملخص: هدفت هذه الدراسة إلى تحليل امتزاز صبغة الكونغو الحمراء من محاليلها المائية باستخدام قشور الفول السوداني (في حالتها الجافة وفي صورة فحم نباتي) كمادة مازة. تم تحديد تركيز الصبغة قبل وبعد عملية الامتزاز باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية. كما تم تقييم العوامل المؤثرة في كفاءة الامتزاز، مثل زمن التلامس، كمية المادة المازة، التركيز الابتدائي للصبغة، درجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH). أظهرت النتائج أن عملية الامتزاز على سطح الفحم كانت سريعة، حيث وصلت إلى حالة التوازن في غضون 10 min أو أقل. كما لوحظ أن سعة الامتزاز تتناقص مع زيادة كمية المادة المازة (من 0.1 g إلى 2 g)، بينما تزداد نسبة إزالة الصبغة مع زيادة كمية المادة المازة. بالإضافة إلى ذلك، ارتبطت زيادة التركيز الابتدائي للصبغة بالزيادة في سعة الامتزاز. اتّبعت بيانات الامتزاز نموذج أيزوثيرم Freundlich، مع ملاحظة أن منحنى الأيزوثيرم يأخذ شكل S وفق تصنيف Gils. من الناحية الديناميكية الحرارية، أشارت القيم السالبة لطاقة جيبس الحرة ($\Delta G°$) إلى أن العملية تلقائية على كلا السطحين. كما كشفت الدراسة أن الامتزاز على القشور الجافة كان طاردًا للحرارة، في حين كان ماصًا للحرارة على فحم القشور. أما بالنسبة لتأثير درجة الحموضة، فقد زادت كفاءة الامتزاز باستخدام القشور الجافة مع ارتفاع pH من الوسط الحمضي الضعيف حتى الوصول إلى 9.5، بينما انخفضت السعة الامتزازية لفحم القشور مع زيادة pH من 5 إلى 11. أخيرًا، أكدت دراسة الحركية أن آلية الامتزاز تتبع نموذج الرتبة الثانية الكاذبة.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز، صبغة الكونغو الحمراء، قشور الفول السوداني، الآيزوثيرم، الحركية، الثيرموديناميكية.

المقدمة

يُشكِّل التلوث البيئي أحد أبرز التحديات التي تواجه البشرية في العصر الحديث، خاصةً مع التوسع الصناعي والأنشطة البشرية المكثفة. يتجلى هذا التلوث في أشكال متعددة، منها تلوث المياه الناجم عن وجود المركبات العضوية وغير العضوية الضارة، أو التغير في التركيب الطبيعي للموارد المائية بسبب الملوثات الناتجة عن الأنشطة الصناعية أو الظواهر الطبيعية. ويُعد تصريف المياه العادمة المحتوية على تركيزات عالية من المركبات العضوية -مثل الأصباغ- في المسطحات المائية من أخطر الممارسات بسبب آثاره السلبية على النظم الإيكولوجية وصحة الإنسان [1،2].

في ظل ندرة الموارد المائية العالمية، أصبحت معالجة المياه الملوثة وإعادة استخدامها ضرورةً حتمية [3]، لا سيما بعد التخلص من الملوثات العضوية وغير العضوية [4]. وتَحظى الأصباغ باهتمام خاص نظراً لانتشارها الواسع في مياه الصرف الصناعي، حيث تُعد من أخطر الملوثات بسبب ثباتها الكيميائي وسميتها العالية حتى عند التراكيز المنخفضة، فضلاً عن تأثيرها البصري الملوث للمياه [5،6]. وتزداد خطورتها مع استخدامها المكثف في صناعات النسيج والورق والبلاستيك والطباعة [5،6]، حيث تُسبب التركيزات الضئيلة منها تغيراً ملحوظاً في خصائص المياه، مما يؤثر سلباً على الكائنات المائية ويُهدد السلسلة الغذائية [7].

للتغلب على هذه المشكلة، تم تطوير تقنيات معالجة متعددة تشمل: الترسيب، الأكسدة الكيميائية، المعالجة الكهروكيميائية، العمليات البيولوجية، التخثر، والامتزاز [8- 11]. ومن بين هذه التقنيات، يبرز الامتزاز كأحد أكثر الطرق كفاءةً نظراً لتكلفته التشغيلية المنخفضة وقدرته على إزالة الملوثات العضوية حتى عند التراكيز المنخفضة [12،13]. وتعتمد هذه الظاهرة -التي تُعرف بتراكم الجزيئات أو الأيونات على سطح المادة المازة [13،14]- على خصائص المادة المازة المستخدمة.

في العقود الأخيرة، اتجهت الأبحاث نحو استخدام مواد مازة منخفضة التكلفة مُشتقة من النفايات الزراعية، مثل: الخشب والسليلوز [14]، مخلفات القمح [15]، قشور الجوز [16]، ألياف النخيل [17]، وقشور البازلاء الخضراء وفحمها [18]. كما تم تحسين كفاءة هذه المواد عبر معالجتها كيميائياً باستخدام حمض الفوسفوريك [19]، حمض الكبريتيك [20]، حمض النيتريك [21]، أو هيدروكسيد الصوديوم [22].

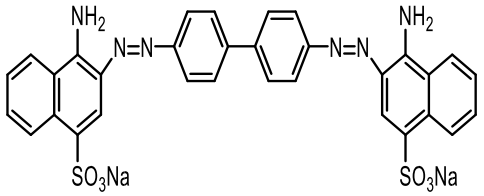
تستهدف هذه الدراسة تقييم أداء قشور الفول السوداني (في حالتها الجافة وفي صورة فحم نباتي) كمادة مازة لصبغة الكونغو الحمراء، مع تحليل آليات الامتزاز من خلال دراسة خصائص الأيزوثيرم (الامتزازي)، العوامل الديناميكية الحرارية، الحركية الكيميائية للعملية. كما سيتم دراسة العوامل التجريبية المؤثرة على عملية الامتزاز.

الجزء العملي

الكواشف المستخدمة:

تم استخدام صبغة الكونغو الحمراء ذات الصيغة الكيميائية $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$ [23] والصيغة التركيبية الموضحة بالشكل 1، وهي تمتاز بمقاومتها للحوامض والقواعد والغسل والضوء والهواء [24]، وتمتاز أيضا بالاستقرارية والثبات، وسريعة التفاعل مع الايونات الفلزية، فضلا عن حساسيتها وانتقائيتها العاليتين [25]، وتستخدم صبغة الكونغو الحمراء في العديد من الصناعات مثل المنسوجات والورق والمطاط والبلاستيك وغيرها من الصناعات، وتعد صبغة الكونغو اول صبغه استعملت في صبغ القطن، وهي من الصبغات ذات السمية العالية وتودي الي الإصابة بمرض السرطان [26].

تم تحضير محلول منها بتركيز 1000 mg/l بإذابة 1.0 g من الصبغة في 1 L من الماء المقطر. تم تحضير جميع محاليل الدراسة عن طريق تخفيف هذا المحلول بالماء المقطر إلى التراكيز المطلوبة. تم ضبط الرقم الهيدروجيني للمحاليل باستخدام محلول حمض الهيدروكلوريك ومحلول هيدروكسيد الصوديوم.



شكل 1. الصيغة التركيبية لصبغة الكونغو الحمراء [24]

تحضير المادة المازة:

تم جمع المادة المازة (قشور الفول السوداني) من مدينة زليتن. تم تنظيفها وغسلها بالماء المقطر وتجفيفها في الشمس، ثم عند درجة حرارة 70ºC لمدة 24 ساعات في الفرن. طحنت ونخلت باستخدام غرابيل ذات أحجام مختلفة وحفظ كل حجم على حده إلى حين استخدامه. أما فحم قشور الفول السوداني فتم تحضيره عن طريق حرق المادة الجافة في فرن عند درجة حرارة 550ºC لمدة ساعتين تم نخلت للحصول على حجم الحبيبات المطلوب.

تجارب الامتزاز:

تم قياس تركيز الصبغة قبل وبعد الامتزاز باستخدام جهاز قياس طيف امتصاص الأشعة المرئية من شركة JENWAY عند الطول الموجي الأعظم للصبغة (λ_{max}= 500nm)، حيث تم تحديد الطول الموجي الأعظم للصبغة من دراسة التغير في امتصاص تركيز ثابت للصبغة مقابل الطول الموجي، أما المنحني القياسي للصبغة فقد تم الحصول عليه من خلال رسم العلاقة بين امتصاص تراكيز قياسية للصبغة (1, 5, 10, 20 and 30 ppm) مقابل تركيز تلك المحاليل القياسية.

تم دراسة امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المازة المستخدمة في هذه الدراسة باستخدام طريقة الامتزاز بالدفعة. فمثلاً عند دراسة تأثير كمية المادة المازة على امتزاز الصبغة، تم استخدام 5 كؤوس تحتوي على 30ml من محلول الصبغة ذو التركيز 40ppm، ووضعت جميعها في الحمام المائي المزود بهزاز عند درجة حرارة 25ºC لفترة زمنية كافية، تم أضيف لكل كأس وزن مختلف من مسحوق المادة المازة 2 g, 1g, 0.5g, 0.3g, 0.1gعلى التوالي لتكون في تماس مع محلول الصبغة (حجم مسحوق حبيبات المادة المازة ما بين 250 و 200µm)، تم رشحت المحاليل بعد مرور الفترة الزمنية اللازمة للامتزاز (زمن الاتزان الذي تم تحديده سابقا)، ثم تم قياس الامتصاص لمحلول الصبغة، وباستخدام المنحنى القياسي حسب تركيز الصبغة المتبقي (C_e)، ثم حسبت سعة الامتزاز (Q_e)، أوالنسبة المئوية للامتزاز (R%)، ومن خلا رسم العلاقة بين سعة الامتزاز مقابل كمية المادة المازة، تم تحديد الكمية المناسبة للامتزاز. حيث تم حساب نسبة الامتزاز (R%) من المعادلة (1) [27]:

$$\% R = \frac{C_o - C_e}{C_o} x\ 100 \qquad (1)$$

كما تم أيضا حساب سعة الامتزاز (Q_e) من المعادلة (2) التالية [27]:

$$Q_e = \frac{C_o - C_e}{M} x\ V \qquad (2)$$

حيث (V): تمثل حجم المحلول باللتر، (M): كتلة المادة المازة بالجرام، (C_o): تمثل التركيز الابتدائي المستخدم للصبغة.

في حالة دراسة تأثير الزمن تم استخدام 0.1g من المادة المازة، و 30ml من محلول الصبغة بتركيز 40ppm، كما تم ضبط الرقم الهيدروجيني. كانت الفترة الزمنية المدروسة في هذه الدراسة من 0 إلى 100min. من خلال رسم العلاقة بين سعة الامتزاز (Q_e) مقابل الزمن حدد زمن الاتزان المناسب للامتزاز.

من أجل دراسة تأثير التركيز على عملية الامتزاز، تم استخدام مدى تراكيز من 1ppm الى 200ppm، باستخدام نفس كمية المادة المازة، الرقم الهيدروجيني، حجم المحلول وزمن الرج كما في التجارب السابقة، وبرسم العلاقة بين سعة الامتزاز (Q_e) مقابل تركيز الصبغة المتبقي (C_e)، ورسم العلاقة بين سعة الامتزاز $\log Q_e$ مقابل $\log C_e$ (المعادلة الخطية لفرندلش)، ورسم العلاقة بين (C_e/Q_e) مقابل C_e (معادلة لانجماير الخطية)، يتم تحديد ايزوثيرم الامتزاز.

كذلك عند دراسة تأثير الرقم الهيدروجيني، تم باستخدام نفس كمية المادة المازة، حجم المحلول وزمن الرج كما في التجارب السابقة، أما الرقم الهيدروجيني فقد تمت دراسته في المدى من 5.08 إلى 11.07. حيث تم ضبط الرقم الهيدروجيني لمحلول الصبغة باستخدام جهاز قياس الرقم الهيدروجيني، وذلك بإضافة محلول حمض الهيدروكلوريك أو محلول هيدروكسيد الصوديوم حسب الحاجة. ولمعرفة تأثيره رسمت العلاقة بين سعة الامتزاز مقابل الرقم الهيدروجيني.

في دراسة تأثير درجة الحرارة، كان المدى المستخدم من درجات من 25°C إلى 50°C، بينما المتغيرات الأخرى فكانت بناء على التجارب السابقة. حساب K_D ومنها حسب $\ln K_D$، ورسمت العلاقة بين $\ln K_D$ مقابل 1/T (T: درجة الحرارة بالكلفن) وفقا لمعادلة فانت هوف [28،29]:

$$Ln\ K_D = ln\frac{Qe}{Ce} \qquad (3)$$

$$Ln\ K_D = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \qquad (4)$$

من خلال معادلة المستقيم المتحصل عليها وقيمة ثابت الغازات (R)، والمعادلة (5)، تم إيجاد الدوال الثرموديناميكية ($\Delta H^\circ, \Delta S^\circ, \Delta G^\circ$).

$$\Delta G^o = \Delta H^o - T\Delta S^o \qquad (5)$$

أخيرا في دراسة حركية تفاعل الامتزاز، استخدامت النتائج التي تم الحصول عليها عند دراسة تأثير الزمن، وتم اختيار اثنان من النماذج الحركية، وهما الرتبة الأولى والرتبة الثانية، من أجل دراسة ملاءمتها للأنظمة المدروسة. حيث استخدمت المعادلة (6) للرتبة الأولى، المقترحة من Lagergren [30]،

$$Log\ (Q_e - Q_t) = \log Qe - \frac{k_1}{2.303}\ t \qquad (6)$$

حيث Q_e و Q_t هما سعة الامتزاز عند الاتزان و عند الزمن t على التوالي. k_1 ثابت معدل للرتبة الأولى لعملية الامتزاز.

بالنسبة لمعادلة الرتبة الثانية والتي استخدمت لتحليل حركية الامتزاز للأنظمة المدروسة استخدمت المعادلة (7) [31]:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e}\ t \qquad (7)$$

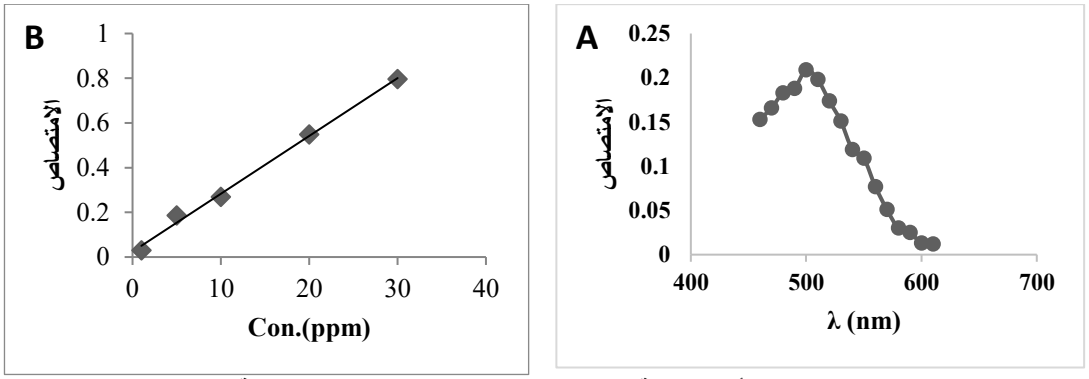
حيث k_2 ثابت معدل الرتبة الثانية للامتزاز (g/mg.min).

النتائج والمناقشة

تحديد الطول الموجي الأعظم والمنحنى القياسي للصبغة

لتعيين الطول الموجي الأمثل (λ_{max}) لقياس تركيز صبغة الكونغو الحمراء - وهو الطول الموجي الذي يحقق أقصى امتصاصية ضوئية - تم إجراء مسح طيفي للأطوال الموجية باستخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية-المرئية *UV-Vis Spectrophotometer*) لعينة قياسية ذات تركيز معروف. وكما يبين الشكل (A*2*)، فقد أظهر طيف الامتصاص للصبغة في المدى المرئي قمة امتصاص واضحة عند الطول الموجي 500 nm، والذي اعتمد فيما بعد كطول موجي مرجعي في جميع تجارب الامتزاز اللاحقة.

أما الشكل (*B2*) فيعرض منحنى التعيير القياسي الخاص بالصبغة، حيث تم تحضير سلسلة من المحاليل القياسية بتراكيز تتراوح بين 1 ppm و 30 ppm وقياس امتصاصيتها عند الطول الموجي المحدد سابقاً (500nm). أسفرت النتائج عن علاقة خطية طردية بين الامتصاصية والتركيز، تم التعبير عنها بالمعادلة الرياضية التالية: $y = 0.0259x + 0.0243$ حيث y تمثل الامتصاصية وx التركيز)، مع معامل ارتباط R^2 بلغ 0.9955، مما يشير إلى دقة عالية في القياسات. وقد استخدمت هذه المعادلة الخطية لاستقراء تراكيز المحاليل المجهولة بناءً على قيم امتصاصيتها.



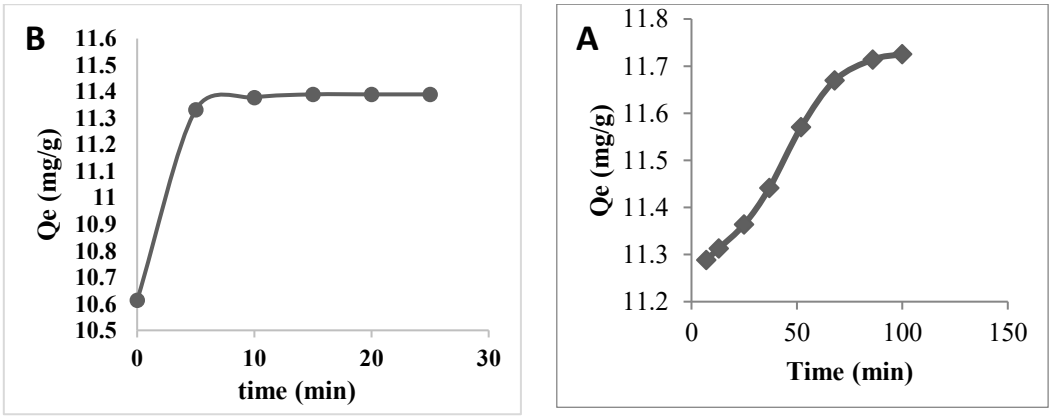
شكل 2: A) الطول الموجي الأعظم لصبغة الكونغو الحمراء ، B) المنحني القياسي لصبغة الكونغو الحمراء

تأثير الزمن على الامتزاز

يُعتبر زمن التلامس عاملاً حاسماً في تجارب الامتزاز، حيث يلعب دوراً رئيسياً في تحديد الفترة الزمنية اللازمة لوصول النظام إلى حالة التوازن. في هذه الدراسة، تمت متابعة عملية امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على سطحين مختلفين هما قشور الفول السوداني الجافة وفحمها المشتق من نفس المادة، مع التركيز على تحليل تأثير الزمن في كلا الحالتين.

يوضح الشكل (A 3) التغير في سعة الامتزاز مع الزمن للقشور الجافة، حيث تظهر النتائج أن سعة الامتزاز تشهد زيادة سريعة في المراحل الأولى بسبب توفر عدد كبير من المواقع النشطة الفارغة، ثم تبدأ بالتباطؤ تدريجياً مع اقتراب النظام من حالة الاتزان، إلى أن تصل إلى حالة الثبات الكامل عند 100 min، مما يدل على تحقيق التوازن. هذا السلوك النموذجي يعكس آلية الامتزاز السطحية المعتادة. أما في حالة الفحم (الشكل B3) ، فقد لوحظ وصول أسرع بكثير إلى حالة التوازن، حيث تحققت أقصى سعة امتزاز خلال 10 دقائق فقط. يعزى هذا الفرق الكبير في السلوك إلى التحسينات الهيكلية التي تطرأ على المادة بعد عملية التفحيم، والتي تشمل زيادة المساحة السطحية، تحسين خصائص المسامية، وتطور شبكة من القنوات الدقيقة التي تسهل وصول جزيئات الصبغة إلى مواقع الامتزاز الداخلية [32].

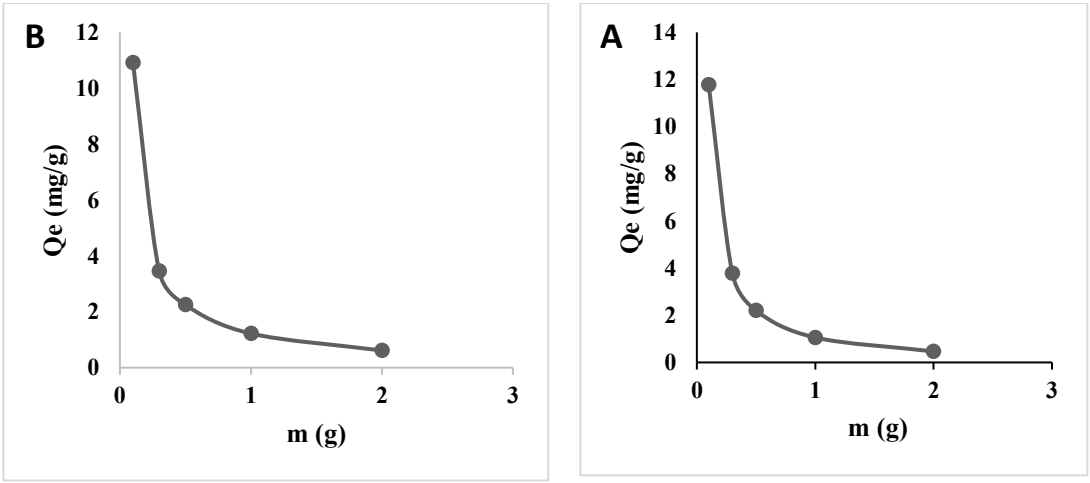
بناءً على هذه الملاحظات، تم اعتماد زمني 100 دقيقة للقشور الجافة و10 دقائق للفحم كمعايير زمنية ثابتة في جميع التجارب اللاحقة. هذا التمييز الزمني بين المادتين المازتين يبرز أهمية الخصائص الفيزيائية والكيميائية للممتزات في تحديد سلوك عملية الامتزاز، كما يؤكد الحاجة إلى دراسة كل مادة مازة على حدة لتحديد ظروفها المثلى.



شكل 3. تأثير الزمن على عملية امتزاز صبغة الكونغو الحمراء باستخدام: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

تأثير كمية المادة المازة

تعتبر كمية المادة المازة عاملاً حاسماً في تحديد أداء عملية الامتزاز، حيث تؤثر بشكل مباشر على السعة الامتزازية القصوى للنظام. تظهر النتائج في الشكل (4) وجود علاقة عكسية واضحة بين كمية المادة المازة وسعة الامتزاز، حيث تنخفض قيمة Q_e (سعة الامتزاز عند التوازن) بشكل تدريجي مع زيادة كمية المادة المازة من 0.1 g إلى 2 g. وقد سجلت أعلى قيمة لسعة الامتزاز عند استخدام أقل كمية من المادة المازة (0.1 g) لكلا النوعين من المواد المازة. هذا السلوك يمكن تفسيره من خلال عدة آليات رئيسية. فعند استخدام كميات صغيرة من المادة المازة، تكون المواقع النشطة متاحة بشكل أكبر بالنسبة لعدد جزيئات الصبغة في المحلول، مما يسمح باستغلال أمثل لسطح المادة المازة. كما أن المساحة السطحية النوعية تكون في أعلى مستوياتها في هذه الحالة. بينما تؤدي زيادة كمية المادة المازة إلى حدوث ظاهرة التكتل بين الجزيئات، مما يقلل من المساحة السطحية الفعالة المتاحة للامتزاز. بالإضافة إلى ذلك، يزداد التنافس بين جزيئات الصبغة على مواقع الامتزاز مع زيادة كمية المادة المازة [33]. من الناحية التطبيقية، تم اختيار الكمية 0.1g ككمية مثالية لجميع التجارب اللاحقة، حيث توفر هذه الكمية أفضل توازن بين تحقيق أعلى سعة امتزازية ممكنة والاستخدام الكفء للمواد المازة. هذا الاختيار يأخذ في الاعتبار ليس فقط الجوانب العلمية المتعلقة بكفاءة الامتزاز، ولكن أيضاً الاعتبارات الاقتصادية والعملية المرتبطة بتطبيقات المعالجة البيئية.



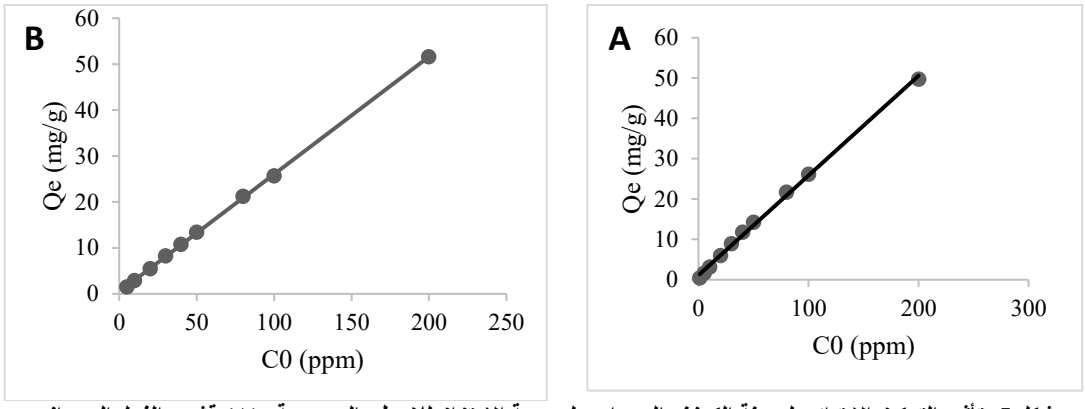
شكل 4. تأثير كمية المادة المازة على عملية امتزاز صبغة الكونغو الحمراء باستخدام: ((A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

تأثير التركيز الابتدائي على عملية الامتزاز

شملت الدراسة تقييم تأثير التركيز الابتدائي لصبغة الكونغو الحمراء على أداء الامتزاز، حيث تم اختبار عشر تراكيز مختلفة تتراوح بين 1 و200 (ppm). كما يوضح الشكل (5)، لوحظ وجود علاقة طردية واضحة بين زيادة التركيز الابتدائي للصبغة وارتفاع سعة الامتزاز (Q_e) لكلا النوعين من المواد المازة.

يعود هذا السلوك إلى عدة عوامل فيزيوكيميائية مؤثرة. ففي التراكيز المنخفضة، تكون عملية الامتزاز محدودة بسبب نقص القوة الدافعة للانتقال الكتلي، حيث تقل فرص التصادم بين جزيئات الصبغة ومواقع الامتزاز الفعالة. بينما تؤدي زيادة التركيز إلى تعزيز هذه القوة الدافعة بشكل ملحوظ، مما يسهل انتقال الجزيئات من المحلول إلى سطح المادة المازة ويزيد من احتمال ارتباطها بمواقع الامتزاز المتاحة [34]. من ناحية أخرى، يشير هذا السلوك إلى أن آلية الامتزاز الغالبة هي من النوع الفيزيائي، حيث أن الزيادة المستمرة في سعة الامتزاز مع ارتفاع التركيز توحي بغياب ظاهرة تشبع المواقع النشطة في المدى التركيبي المدروس. هذا النمط من الامتزاز يتوافق مع آليات الارتباط السطحي الضعيف مثل قوى فان دير فال والروابط الهيدروجينية، بدلاً من الامتزاز الكيميائي الذي يتضمن عادةً تكوين روابط تساهمية أو أيونية قوية [35].

هذه النتائج تكتسي أهمية عملية كبيرة في التطبيقات البيئية، حيث تشير إلى إمكانية استخدام هذه المواد المازة بشكل فعال في معالجة المياه الملوثة بتركيزات عالية من الأصباغ، مع الحفاظ على كفاءة مقبولة حتى عند التراكيز المرتفعة التي تصل إلى 200 ppm.

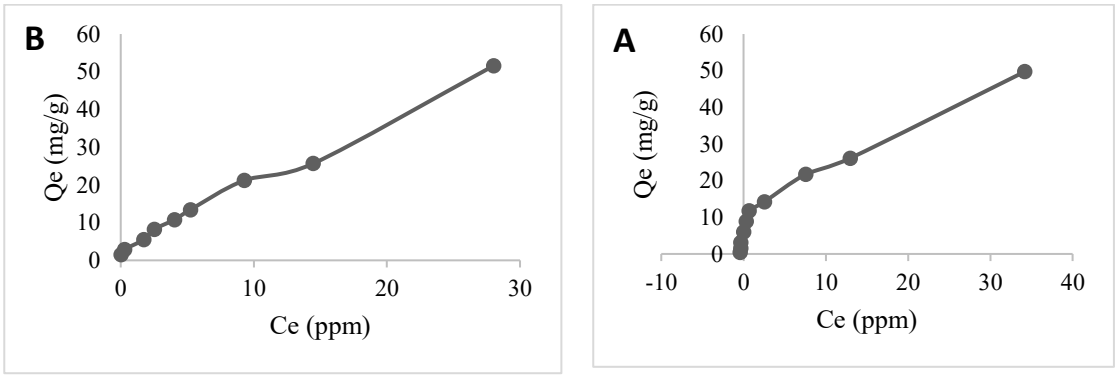


شكل 5. تأثير التركيز الابتدائي لصبغة الكونغو الحمراء على سعة الامتزاز للاسطح المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

آيزوثيرم الامتزاز

تمثل أيزوثيرمات الامتزاز أداة تحليلية أساسية لفهم التفاعلات السطحية وتحديد خصائص عملية الامتزاز. في هذه الدراسة، أظهرت أيزوثيرمات امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على قشور الفول السوداني الجافة وفحمها (كما يبين الشكل 6) سلوكاً مميزاً من النوع (S) وفق تصنيف جيلز، وهو ما يشير إلى وجود تنافس بين جزيئات الصبغة والمذيب على مواقع الامتزاز، مع تدرج في آلية الامتزاز عند زيادة التركيز. يعزز هذا النمط فرضية أن الامتزاز يتم بشكل رئيسي عبر آليات فيزيائية تعتمد على قوى فان دير فال والروابط الهيدروجينية، مع احتمال تشكل طبقات متعددة من الجزيئات الممتزة عند التركيزات العالية [36].

عند تحقيق حالة التوازن، تمثل قيمة Q_e (الكمية الممتزة عند التوازن) نقطة تشبع المواقع النشطة على السطح، حيث تصل سعة الامتزاز إلى قيمتها القصوى. هذه الملاحظات تتفق بشكل كامل مع النتائج السابقة حول تأثير التركيز، وتقدم دليلاً إضافياً على طبيعة الامتزاز الفيزيائي في هذا النظام. من الناحية التطبيقية، توفر هذه النتائج أساساً علمياً متيناً لتصميم أنظمة معالجة مياه أكثر كفاءة، مع إمكانية تطوير نماذج رياضية دقيقة تحاكي سلوك الامتزاز في ظل ظروف تشغيل مختلفة. كما تفتح الباب أمام دراسات مستقبلية لتحسين أداء المواد المازة المشتقة من المخلفات الزراعية من خلال تعديل خصائصها السطحية وبنيتها المسامية [37].



شكل 6. أيزوثيرم الامتزاز لصبغة الكونغو الحمراء على الاسطح المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

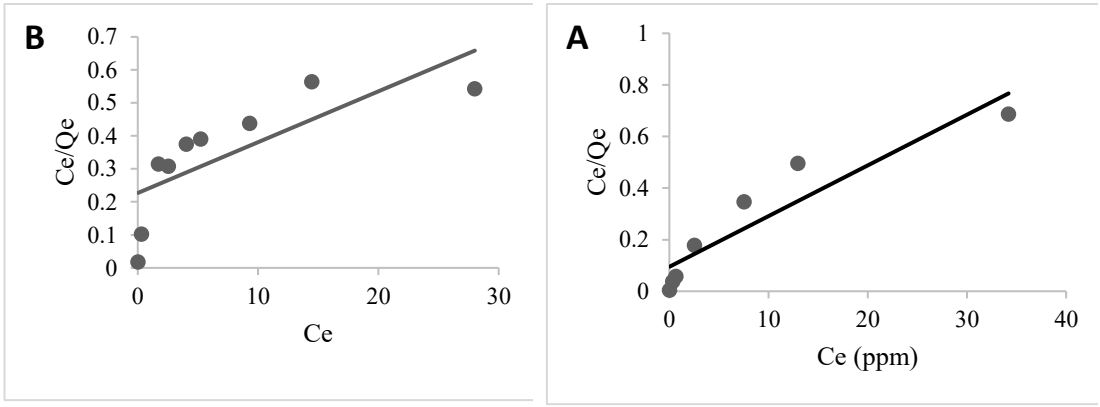
نموذج لانجماير

يفترض نموذج لانجماير للامتزاز أن العملية تتم عبر تشكل طبقة أحادية من الجزيئات الممتزة على سطح متجانس يحتوي على عدد محدود من المواقع النشطة المتكافئة. وفقاً لهذا النموذج، فإن كل موقع امتزاز يمكنه استيعاب جزيء واحد فقط، وعند اكتمال احتلال جميع المواقع يصبح السطح مشبعاً، مما يعني الوصول إلى أقصى سعة امتزازية ممكنة للنظام. يمكن التعبير عن هذا النموذج رياضياً بالمعادلة الخطية التالية [30،29]:

$$\frac{Ce}{Qe} = \frac{1}{b\,Q_m} + \frac{Ce}{Q_m} \qquad (8)$$

حيث: b: ثابت لانجماير ($L.mg^{-1}$) والذي يعكس طاقة عملية الامتزاز، Qm: السعة الامتزازية القصوى النظرية (mg/g)، Q_e: السعة الامتزازية عند التوازن (mg/g)، C_e: التركيز المتبقي للصبغة في المحلول عند التوازن (mg/L).

تم تحديد معاملات نموذج لانجماير (Qm و b) من خلال التحليل البياني للعلاقة بين C_e/Q_e و C_e (كما يظهر في الشكل 7)، حيث تم حساب Qm من ميل الخط المستقيم بينما استخلصت قيمة b من نقطة تقاطع الخط مع المحور الصادي. تشير قيم معاملات الارتباط (R^2) الموضحة في الجدول 1 إلى أن نموذج لانجماير لا يقدم وصفاً دقيقاً لبيانات الامتزاز في هذه الدراسة، حيث أن القيم المنخفضة لـ R^2(أقل من 0.70) عادةً تدل على عدم ملاءمة هذا النموذج للنظام المدروس بالشكل الجيد. يعزى هذا التناقض إلى عدم تحقق بعض افتراضات نموذج لانجماير الأساسية في حالتنا العملية، مثل تجانس السطح وغياب التفاعلات بين الجزيئات الممتزة، مما يشير إلى أن آلية الامتزاز في هذا النظام قد تكون أكثر تعقيداً من مجرد تكوين طبقة أحادية متجانسة.



شكل 7. نموذج لانجماير الخطي لأنظمة الامتزاز المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

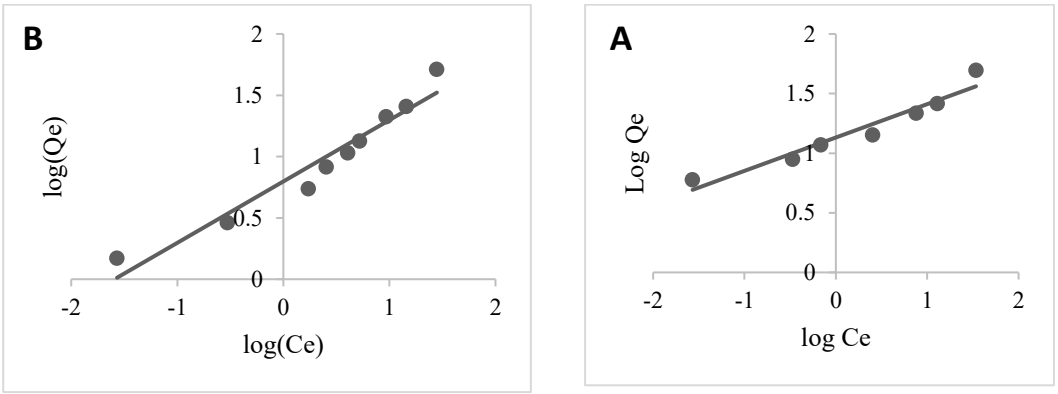
نموذج فريندلش

يُمثل نموذج فريندلش Freundlich أحد النماذج الكلاسيكية المستخدمة لوصف عمليات الامتزاز على الأسطح غير المتجانسة، حيث يفترض النموذج وجود توزع غير متجانس لطاقات الامتزاز على السطح، مع تناقص أسي لطاقة الامتزاز مع تقدم عملية التشبع. يتم التعبير عن هذا النموذج بالمعادلة الخطية التالية [30،29]:

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + \frac{1}{n}\,\text{Log} C_e \qquad (9)$$

حيث: Kf ثابت فريندلش (L/g) الذي يعكس سعة الامتزاز النسبية، $\frac{1}{n}$ معامل عدم التجانس، ويشير إلى تباين طاقة الامتزاز على السطح، n مؤشر للانحراف عن السلوك الخطي (بدون وحدة).

تم تحديد معاملات نموذج فريندلش من خلال التحليل البياني للعلاقة اللوغاريتمية بين $\log Q_e$ و $\log C_e$ (كما يظهر في الشكل 8)، حيث تم استخلاص قيمة n/1 من ميل المنحنى بينما تم حساب K_f من تقاطع الخط مع المحور الصادي. أظهرت النتائج قيماً مرتفعة لمعاملات الارتباط ($R^2 > 0.9$) كما هو موضح في الجدول 1، مما يؤكد ملاءمة هذا النموذج لوصف أنظمة الامتزاز المدروسة. تشير قيم معامل عدم التجانس (1/ n) التي تقع في المدى بين 0 و1 إلى أن عملية الامتزاز تفضل الحدوث في الظروف الحالية، كما أن قيم n الأكبر من 1 تدل على وجود تفاعلات تعاونية بين الجزيئات الممتزة أو تغير في آلية الامتزاز مع زيادة التركيز. هذه النتائج تتفق مع الطبيعة غير المتجانسة لأسطح المواد المازة المستخدمة في الدراسة [38].



شكل 8. نموذج فريندلش لأنظمة الامتزاز المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

جدول 1. ثوابت لانجماير وفريندلش لامتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المدروسة

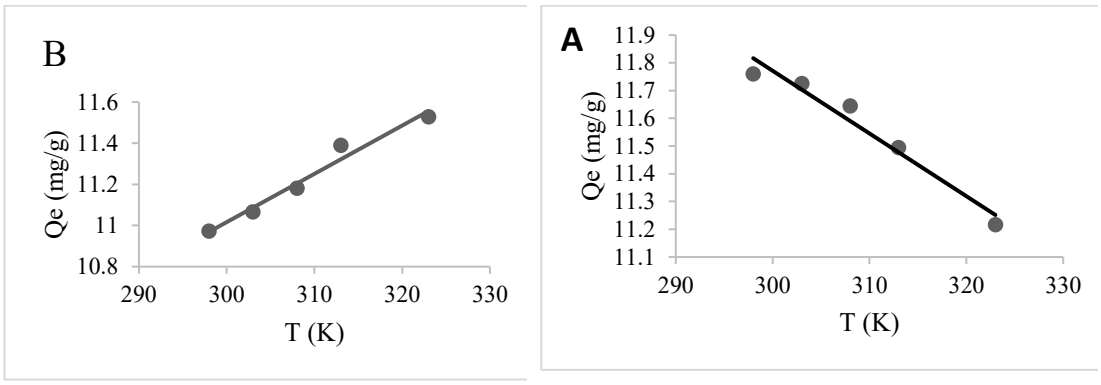
Langmuir	Q_m (mg/g)	b ($L.mg^{-1}$)	R^2
قشور الفول السوداني الجافة	50.761	0.207	0.6861
فحم قشور الفول السوداني	64.935	0.068	0.5831
Freundlich	K_f ($L.mg^{-1}$)	n (g/L)	R^2
قشور الفول السوداني الجافة	13.540	3.574	0.932
فحم قشور الفول السوداني	6.270	1.997	0.9381

تأثير درجة الحرارة وثرموديناميكية الامتزاز

أجريت دراسة تأثير درجة الحرارة على امتزاز الصبغة المدروسة على قشور الفول السوداني الجافة، وفحم قشور الفول السوداني، حيث تم تقدير سعة الامتزاز عند خمس درجات حرارة مختلفة وهي: 298، 303، 308، 313، 323 درجة مطلقة (K). يلاحظ من الشكل 9 أن سعة الامتزاز تقل مع زيادة درجة الحرارة عند استخدام قشور الفول السوداني الجافة كسطح ماز، وتزداد عند استخدام فحم القشور. من أجل وصف ثيرموديناميكية عملية الامتزاز يتم حساب الثوابت الثيرموديناميكية والمتضمنة لكل من: التغير في الطاقة الحرة (ΔG^o)، التغير في المحتوى الحراري (ΔH^o)، التغير في الإنتروبي (ΔS^o)، باستخدام المعادلات 4 و 5 [31].

يمكن حساب قيم التغير في المحتوى الحراري (ΔH^o) والتغير في الإنتروبي (ΔS^o) من خلال الميل ونقطة التقاطع للعلاقة البيانية بين $\ln K_D$ ضد 1/T (شكل 10). الدوال الثيرموديناميكية تم حسابها لعملية الامتزاز وموضحة في الجدول 2.

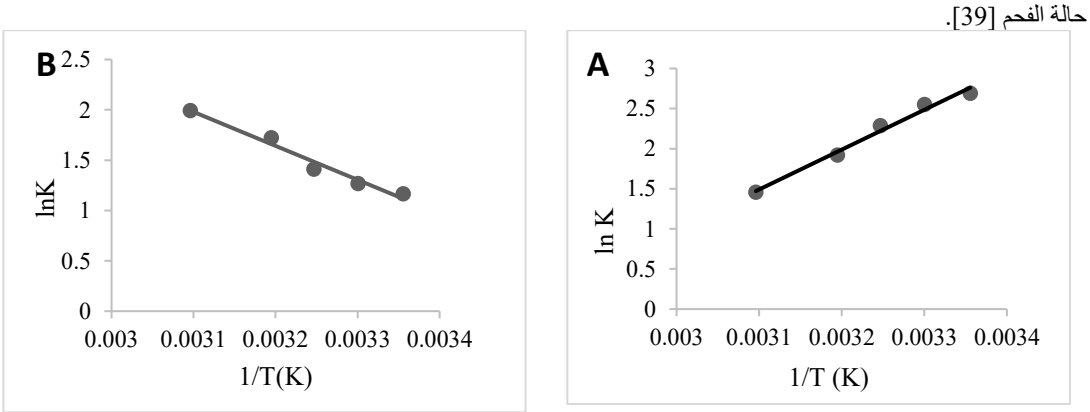
تكشف دراسة الدوال الثيرموديناميكية عن جوانب أساسية في آلية امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على السطحين المدروسين. تشير القيم السالبة لتغير الإنثالبي ($\Delta H°$) في حالة القشور الجافة إلى أن العملية طاردة للحرارة، حيث يتم إطلاق الطاقة الحرارية أثناء حدوث الامتزاز. يعكس هذا السلوك سيطرة آليات الامتزاز الفيزيائي التي تعتمد على قوى بين جزيئية ضعيفة مثل قوى فان دير فالس والروابط الهيدروجينية. في المقابل، تُظهر نتائج امتزاز الصبغة على فحم القشور قيماً موجبة لـ $\Delta H°$ مما يدل على أن العملية ماصة للحرارة، وهو ما يشير إلى احتمال وجود مكون كيميائي في آلية الامتزاز أو حاجة النظام إلى طاقة إضافية لإعادة ترتيب البنية المسامية للفحم أثناء عملية الامتزاز.



شكل 9. تأثير درجة الحرارة على سعة امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

أما بالنسبة لتغير الإنتروبي (ΔS°)، فإن القيم الموجبة الصغيرة المسجلة في كلا الحالتين توحي بحدوث زيادة طفيفة في العشوائية النظامية أثناء الامتزاز. يمكن تفسير هذه الزيادة من خلال تحرر جزيئات الماء التي كانت مرتبطة بسطح المادة المازة قبل عملية الامتزاز، وكذلك من خلال اكتساب الجزيئات الممتزة درجات حرية إضافية مقارنة بحالتها في المحلول المائي. تؤكد القيم السالبة لطاقة جيبس الحرة (ΔG°) على تلقائية عملية الامتزاز في جميع الظروف التجريبية المدروسة، مع ملاحظة أن درجة التلقائية تزداد بانخفاض درجة الحرارة في حالة القشور الجافة بينما تتحسن بارتفاع درجة الحرارة في حالة الفحم [39].

تتفق هذه النتائج تماماً مع الملاحظات السابقة حول أيزوثيرمات الامتزاز وبيانات الحركة الكيميائية، حيث تؤكد الطبيعة الفيزيائية الغالبة لعملية الامتزاز على القشور الجافة مقابل وجود مكون كيميائي محتمل في حالة الفحم. من الناحية التطبيقية، توفر هذه النتائج أساساً علمياً لتحسين ظروف التشغيل حسب نوع المادة المازة المستخدمة، مع إمكانية التنبؤ بأداء النظام عند تغير درجات الحرارة وتصميم عمليات المعالجة الحرارية اللاحقة بشكل أكثر كفاءة.



شكل 10. تأثير درجة الحرارة على تابت الاتزان لامتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

جدول 2 الدوال الثيرموديناميكية لعملية امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المدروسة

السطح الماز	ΔG^o ($KJ.mol^{-1}$)	ΔH^o ($KJ.mol^{-1}$)	ΔS^o ($J.mol^{-1}\ K^{-1}$)	R^2
قشور الفول السوداني الجافة	-6.841	-41.301	0.116	0.9843
فحم قشور الفول السوداني	-2.2767	28.049	0.103	0.972

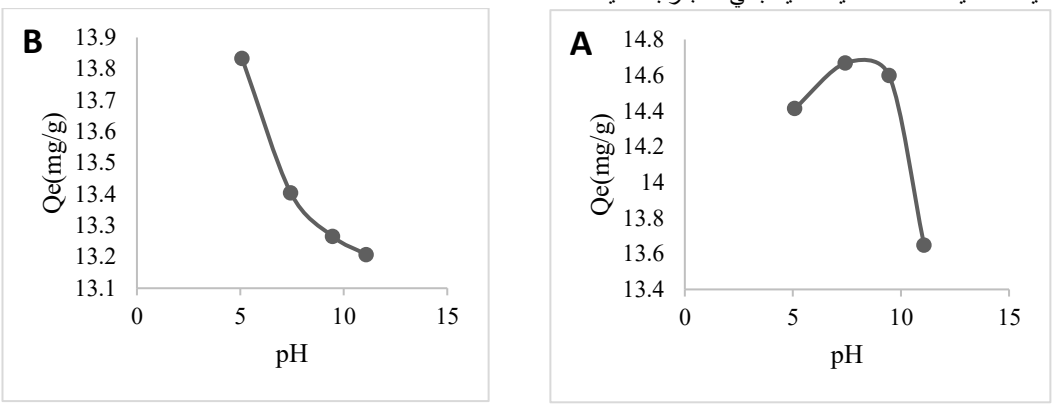
تأثير الرقم الهيدروجيني (pH)

يُظهر التحليل التفصيلي لتأثير الأس الهيدروجيني (pH) على عملية الامتزاز حساسية كبيرة في أداء المواد المازة تجاه التغيرات الحمضية والقاعدية. عند دراسة مدى pH واسع (11.07-5.08)، لوحظ أن امتزاز صبغة الكونغو الحمراء يتأثر بشكل واضح بدرجة حموضة الوسط، حيث تظهر أعلى كفاءة امتزازية في النطاق المتعادل إلى الحمضي الضعيف. هذا السلوك يعكس التغيرات في خصائص السطح الماز وتوزع الشحنات على الجزيئات الممتزة مع تغير pH.

في حالة قشور الفول السوداني الجافة، يبرز تأثير الوسط القاعدي الضعيف بشكل خاص، بينما تصل سعة الامتزاز إلى قيمها القصوى عند pH متعادل أو حمضي ضعيف. يعزى هذا

التباين إلى عدة عوامل فيزيوكيميائية تشمل تعديل شحنة السطح الماز، تغير خصائص التجمعات الجزيئية، وتأثر التوازن الأيوني للصبغة في المحلول. هذه الملاحظات تؤكد أهمية التحكم الدقيق في درجة الحموضة لتحسين كفاءة عملية الامتزاز [40].

بناء على هذه النتائج، تم اختيار الظروف المتعادلة إلى الحمضية الضعيفة كحالة مثالية لتنفيذ باقي التجارب، حيث توفر هذه الظروف التوازن الأمثل بين أداء الامتزاز واستقرار النظام. هذا الاختيار يأخذ في الاعتبار ليس فقط العوامل الكيميائية، ولكن أيضاً الجوانب العملية المتعلقة بتطبيقات المعالجة البيئية.



شكل 11. تأثير الرقم الهيدروجيني على امتزاز صبغة الكونغو الحمراء على الأسطح المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

دراسة حركية الامتزاز

من أجل دراسة حركية أنظمة الامتزاز، تم اختيار اثنان من النماذج الحركية، الرتبة الأولى والرتبة الثانية، من أجل دراسة ملاءمتها للأنظمة المدروسة. معادلة الرتبة الأولى المقترحة من لاجرجرين Lagergren [31] يمكن التعبير عنها كالتالي:

$$\frac{dQ_t}{dt} = k_1 (Q_e - Q_t) \qquad (10)$$

حيث Q_e و Q_t هما سعة الامتزاز عند الاتزان و عند الزمن t على التوالي. k_1 ثابت معدل للرتبة الأولى لعملية الامتزاز. الشكل النهائي للمعادلة (10) عند الحدود من $Q_t = 0$ إلى Q_t ، و عند $t = 0$ إلى t يصبح كالتالي:

$$Log (Q_e - Q_t) = Log\ Q_e - k_1\, t \qquad (6)$$

إذا كان نموذج الرتبة الأولى ملائما للنتائج العملية المتحصل عليها، فإن رسم العلاقة البيانية بين $\log (Q_e - Q_t)$ ضد الزمن t يعطي علاقة خطية. بمطابقة النتائج العملية المتحصل عليها مع الشكل النهائي لمعادلة الرتبة الأولى (6)، كما هو موضح بالشكل12، نلاحظ عدم ملاءمة هذا النموذج لأنظمة الامتزاز المدروسة وذلك من خلال قيم معاملات الارتباط المنخفضة (0.639 و0.7509)، والموضحة بالجدول 3.

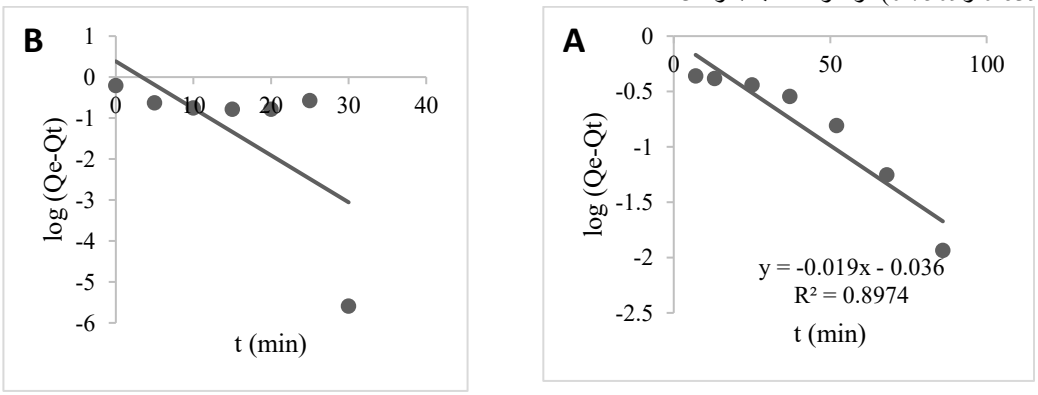
بالنسبة لمعادلة الرتبة الثانية والتي استخدمت لتحليل حركية الامتزاز للأنظمة المدروسة يمكن التعبير عنها كالتالي [28]:

$$\frac{d\,Q_t}{dt} = k_2 (Q_e - Q_t) \qquad (11)$$

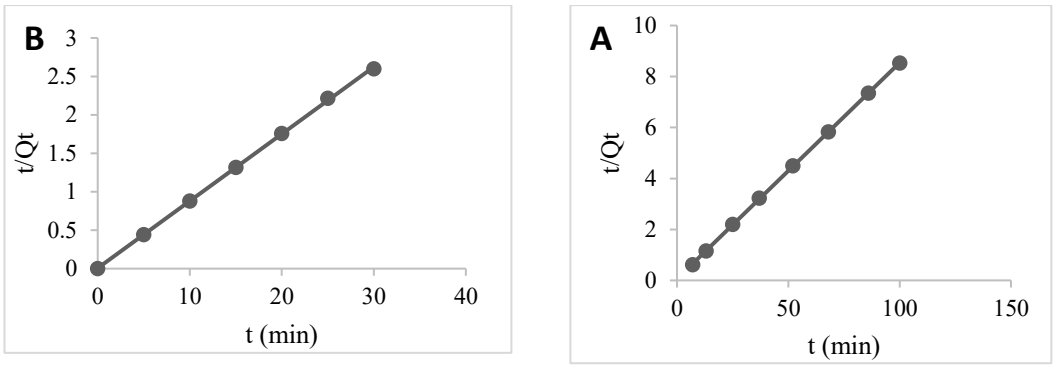
عند الحدود من $Q_t = 0$ إلى Q_t ، و عند $t = 0$ إلى t يصبح الشكل النهائي للمعادلة كالتالي:

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_2 Q_e^2} + \frac{1}{Q_e}\, t \qquad (7)$$

. (g/mg.min) ثابت معدل الرتبة الثانية للامتزاز k_2حيث إذا نموذج الرتبة الثانية ملائما للأنظمة المدروسة، فإن العلاقة البيانية بين t/Q_t ضد الزمن t يجب أن يعطي علاقة خطية، ويمكن من خلالها حساب الثوابت Q_e و k_2 عن طريق ميل الخط المستقيم ونقطة التقاطع. من الشكل 13 نلاحظ أن هذا النموذج يتطابق بدرجة كبيرة مع النتائج العملية المتحصل عليها لأنظمة الامتزاز تحت الدراسة، حيث معاملات الارتباط R^2 للعلاقات كانت 0.9999 و0.9997) للأنظمة المدروسة. قيم سعة الامتزاز عند الاتزان Q_e وثوابت المعدل للرتبة الثانية k_2 موضحة بالجدول 3.



شكل 12. نموذج الرتبة الأولى لأنظمة الامتزاز المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني



شكل 13. نموذج الرتبة الثانية لأنظمة الامتزاز المدروسة: (A) قشور الفول السوداني الجافة، (B) فحم قشور الفول السوداني

جدول 3. المعاملات الحركية للرتبة الأولى والثانية لأنظمة الامتزاز المدروسة

الرتبة الأولى	Q_e	k_1(1/min)	R^2
قشور الفول السوداني الجافة	11.725	0.044	0.8974
فحم الفول السوداني	11.552	0.264	0.4303
الرتبة الثانية	Q_e	k_2 (g/mg min)	R^2
قشور الفول السوداني الجافة	11.792	0.118	0.9999
فحم قشور الفول السوداني	11.455	1.210	0.9997

الاستنتاجات

أثبتت نتائج هذه الدراسة إمكانية استخدام قشور الفول السوداني في حالتها الجافة وبعد تحويلها إلى فحم كمادة مازة فعالة من حيث التكلفة لإزالة صبغة الكونغو الحمراء من المحاليل المائية. بينت التجارب أن كفاءة الامتزاز تعتمد بشكل رئيسي على عاملين أساسيين: كمية المادة المازة المستخدمة ودرجة حموضة الوسط (pH) ، حيث أظهرت النتائج تحقيق أعلى كفاءة امتزازية في الأوساط المتعادلة أو القريبة من التعادل. كشفت تحليلات أيزوثيرمات الامتزاز توافق البيانات مع نموذج فريندلش، مما يدل على طبيعة الامتزاز الفيزيائي على الأسطح غير المتجانسة. كما أظهرت الدراسات الثيرموديناميكية أن عملية الامتزاز تتميز بتلقائيتها، حيث سجلت قيم طاقة جيبس الحرة ($\Delta G°$) سالبة في جميع الظروف المدروسة. من الناحية الحركية، اتضح أن آلية الامتزاز تتبع نموذج الرتبة الثانية الكاذبة، مما يعكس تعقيد التفاعلات السطحية المشاركة في العملية.

المراجع

1. Hamadi, A. A., Uraz, G., Ö, H.K.a, & Osmanağaoğlu. (2017). Adsorption of Azo Dyes from Textile Wastewater by Spirulina Platensis. Eurasian Journal of Environmental Research, 1, 19–27.
2. Elsherif, K. M., El-Hashani, A., El-Dali, A., Musa, M. (2014), Ion Selectivity Across Parchment-Supported Silver Chloride Membrane in Contact with Multi-valent Electrolytes. International Journal of Analytical and Bioanalytical Chemistry, 4 (2), 58-62
3. الخراز ع. م.، عامر أ. م. & أبوشيبة ر. ع.، (2017) ، دراسة امتزاز صبغتي المثيل البرتقالي والبلورة البنفسجية على سطح قشور الفول السوداني،المؤتمر السنوي الأول حول نظريات وتطبيقات العلوم الأساسية والحيوية. 280-292
4. Elsherif, K. M., Yaghi, M. M. (2017). Studies with Model Membrane: The Effect of Temperature on Membrane Potential. Moroccan Journal of Chemistry, 5(1), 131-138
5. Shu, J., Wang, Z., Huang, Y., Huang, N., Ren, C., & Zhang, W. (2015). Adsorption removal of Congo red from aqueous solution by polyhedral Cu2O nanoparticles: kinetics, isotherms, thermodynamics and mechanism analysis. Journal of Alloys and Compounds, 633, 338–346.
6. Alkherraz, A. M., Elsherif, K. M., Madiry, A. H., Sasi, M. S. (2024). Evaluating the efficiency of red tea leaves residues in adsorption of methylene blue dye from liquid wastes: isotherms, kinetics, and thermodynamics studies. Arabian Journal of Scientific Research, 5 (1), 1-9

Journal for science and Engineering, 33, 175 – 184
16. Alshabanat, M.; Alsenani, G. & Almufarij, R., (2013), Removal of Crystal Violet Dye from Aqueous Solutions onto Date Palm Fiber by Adsorption Technique, *Journal of Chemistry*, 2013, 1- 6.
17. Elsherif K. M., Alkherraz A. M., Edwards H., Mutawia B. Y., (2024), Congo red dye adsorption on dry green pea husk: Effects of process parameters and modeling approaches, Environmental Health Engineering and Management Journal, 11(3), 273-284
18. Fierro, V., Torné-Fernández, V., & Celzard, A. (2006). Kraft lignin as a precursor for microporous activated carbons prepared by impregnation with ortho-phosphoric acid: synthesis and textural characterisation. Microporous and Mesoporous Materials, 92, 243–250.
19. Singh, C. K., Sahu, J. N.,Mahalik, K. K.,Mohanty, C. R.,Mohan, B. R., & Meikap, B. C. (2008). Studies on the removal of Pb (II) from wastewater by activated carbon developed from, Tamarind wood activated with sulphuric acid. Journal of Hazardous Materials, 153, 221–228.
20. Lopes, A. S.d. C., Carvalho, S. M. L.o.d., Brasil, D.d. S. B,. Mendes, R.d. A., & Lima, M. O. (2015). Surface modification of commercial activated carbon (CAG) for the adsorption of benzene and toluene. American Journal of Analytical Chemistry, 528–538.
21. Vu, T. M., Trinh, V. T., Doan, D. P., Van, H. T., Nguyen, T. V,. Vigneswaran, S., & Ngo, H. H. (2017). Removing ammonium from water using modified corncob-biochar. Science of the Total Environment, 579, 612–619.
22. Alam M. S., Khanom R. & Rahman M. A., (2015) Removal of Congo red Dye from Industrial Wastewater by Untreated Sawdust, American Journal of Environmental Protection; 4(5): 207-213
23. Raman C. & Kanmani D., (2018) "Decolorization Of Mono Azo Dye And Textile Wastewater Using Nano Iron Particles",. Environmental Progress & Sustainable Energy . Vol. 38 ,Issue S1.
7. Chen, Y., Lin, Y.-C., Ho, S.-H., Zhou, Y. & Ren, N.-q. (2018). Highly efficient adsorption of dyes by biochar derived from pigments-extracted macroalgae pyrolyzed at different temperature.
8. De Castro M. L., Abad, M. L.B., Sumalinog, D. A. G., Abarca, R. R. M., Paoprasert, P. & de Luna, M. D. G. (2018) Adsorption of methylene blue dye and Cu (II) ions on EDTA-modified bentonite: isotherm, kinetic and thermodynamic studies. Sustainable Environment Research.
9. Elsherif, K. M., El-Hashani., A., El-Dali, A. (2013). Effect of temperature on membrane potential and evaluation of thermodynamic parameters of parchment supported silver thiosulphate. Der Chemica Sinica, 4 (6), 13-21
10. Elsherif, K. M., El-Hashani, A., El-Dali, A., El-kailany, R.. (2014). Bi-ionic Potential Studies for Silver Thiosulphate Parchment-Supported membrane. International Journal of Advanced Scientific and Technical Research, 1(4), 638-646
11. Zhang, Y., B. Wu, H. Xu, H. Liu, M. Wang, Y. He, and B. Pan, Nanomaterials-enabled water and wastewater treatment. NanoImpact, 2016. **3**: p. 22-39.
12. Abajja S. A., Alhalib A. M., Swaiyeb K. A., Altakrouni H. J., Shkabe S. A., Alkherraz A. M. & Elsherif K. M., (2024), Utilization of Dry Erucaria Plant Residues As A Novel Adsorbent For Methylene Blue Dye: Experimental Investigation And Modeling, Journal of Basic Sciences (JBS), 37.(1), 78- 97.
13. Schaffner, L.; Brugger. S.; Nyffenegger, R.; Walter.; (2006), Surfactant mediated adsorption of negatively charged latex particles to a cellulose surface. Colloides and surfaces A *: physichem Eng, Aspects*, 286, 39-50
14. Wang , Y.; Yu- Gao, B; Wen Yue ,W. & Yan Yueg , Q ., (2007), Adsorption kinetics of nitrate from aqueous solutions onto Modified wheat residue colloids and surfaces A : *physicochem. Eng, Aspects*, 308, 1-5 .
15. Abdelrahman, B.; Fadhil, M. & Deyab, M.; (2007), Conversion of some fruit stones and shells into activated carbons, *The Arabian*

Journal of Green Chemistry, 2 (4), 380-394
33. Alkherraz, A. M., Ali, A. K., & Elsherif, K. M. (2020). Removal of Pb(II), Zn(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solutions by adsorption onto olive branches activated carbon: Equilibrium and thermodynamic studies. Chemistry International, 6(1), 11-20
34. Alkherraz, A. M., Elsherif, K. M., Blayblo, N. A. (2023). Safranin adsorption onto Acasia plant derived activated carbon: Isotherms, thermodynamics and kinetic studies. Chemistry International, 9(4), 134-145.
35. Elsherif, K. M., Ewlad-Ahmed, A. M., Treban, A. (2017). Removal of Fe (III), Cu (II), and Co (II) from Aqueous Solutions by Orange Peels Powder: Equilibrium Study. World Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 2 (6), 46-51
36. Elsherif, K. M., El-Dali, A., Ewlad-Ahmed, A. M., Treban, A. A., Alqadhi, H., Alkarewi, S. (2022). Kinetics and Isotherms Studies of Safranin Adsorption onto Two Surfaces Prepared from Orange Peels. Moroccan Journal of Chemistry, 10 (4), 639-651
37. Elsherif, K. M., Ewlad-Ahmed, A. M., Treban, A. (2017). Biosorption Studies of Fe (III), Cu (II), and Co (II) from Aqueous Solutions by Olive Leaves Powder. Applied Journal of Environmental Engineering Science, 3 (4), 341-352
38. Elsherif, K. M., Alkherraz, A. M., Madri, A. H., Eldali, A., Yaghi, M. M. (2024). Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Modeling of Methylene Blue Adsorption by Hibiscus Plant Waste Derived Biosorbents. Journal of Chemical Health Risks, 4 (4), 727
39. Farhan, A.M., Salem, N.M., Ahmad, A.L., Awwad, A.M., 2012. Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of the biosorption of heay metals by Ceratonia Siliqua Bark, American Journal of Analytical Chemistry 2(6), 335-342.
24. Chen J., Wei D., Liu L., Nai J., Liu Y., Xiong Y., Peng J., Mahmud S. & Liu H., (2021), Green Synthesis of Konjac Glucomannan Templated Palladium Nanoparticles for Catalytic Reduction of Azo Compounds and Hexavalent Chromium. Materials Chemistry and Physics, 267, 124651.
25. Sayğılı, G. A., (2015), Synthesis, Characterization and Adsorption Properties Of A Novel Biomagnetic Composite For The Removal Of Congo Red From Aqueous Medium. Journal Of Molecular Liquids, **211**: P. 515-526.
26. Elsherif K. M., El-Hashani A. & Haider I., (2018), Equilibrium and Kinetic Studies of Cu (II) Biosorption Onto Waste Tea and Coffee Powder (WTCP), Iranian Journal of Analytical Chemistry, 5 (2), 31-38
27. Alkherraz, A. M., Ali, A. K. & Elsherif, K. M. (2020). Equilibrium and thermodynamic studies of Pb(II), Zn(II), Cu(II) and Cd(II) adsorption onto mesembryanthemum activated carbon. Journal of Medicinal and Chemical Sciences, 3(1), 1-10.
28. Alkherraz, A. M., Ali, A. K., El-Dali, A. & Elsherif, K. M. (2019). Biosorption Study of Zn(II), Cu(II), Pb(II) and Cd(II) Ions by Palm Leaves Activated Carbon. To Chemistry Journal, 4, 8-17.
29. Igwegbe, C. A., Banach, A. M. & Ahmadi, S. (2018). Adsorption of Reactive Blue19 from Aqueous Environment on Magnesiumoxide Nanoparticles: Kinetic, Isotherm and Thermodynamic Studies. The Pharmaceutical and Chemical Journal, 5(5), 111-121.
30. Elsherif K. M., El-Hashani A. & Haider I., (2019), Biosorption of Co (II) ions from aqueous solution onto coffee and tea powder: Equilibrium and kinetic studies, Journal of Fundamental and Applied Sciences, 11 (1), 65-81
31. Elsherif, K. M., El-Dali, A., Alkarewi, A. A., Ewlad-Ahmed, A. M., Treban, A. (2021). Adsorption of crystal violet dye onto olive leaves powder: Equilibrium and kinetic studies. Chemistry International, 7 (2), 79-89
32. Elsherif, K.M., El-Hashani, A., Haider, I. (2018). Biosorption of Fe (III) onto coffee and tea powder: Equilibrium and kinetic study. Asian

Study the Adsorption of Congo Rad Dye from its Aqueous Solution on Surfaces Prepared from Peanut Shells

Abstract:
This study investigated the adsorption of Congo red dye from aqueous solutions using peanut shells in both raw and biochar forms as adsorbents. Dye concentration was quantified before and after adsorption using UV-Vis spectrophotometry. Key operational parameters influencing adsorption efficiency were systematically evaluated, including contact time, adsorbent dosage, initial dye concentration, temperature, and solution pH. The adsorption kinetics revealed rapid equilibrium attainment within ≤10 min for biochar adsorbent. Interestingly, adsorption capacity (Q_e) exhibited an inverse relationship with adsorbent dosage (0.1–2 g), while dye removal efficiency increased proportionally with dosage. A positive correlation was observed between initial dye concentration and Q_e values. The equilibrium data best fitted the Freundlich isotherm model ($R^2 > 0.95$), with the isotherm profile exhibiting a Type S classification according to Giles' system. Thermodynamic analysis confirmed the spontaneity of the process (negative $\Delta G°$ values) and revealed distinct thermal behaviors: exothermic adsorption on raw shells (negative $\Delta H°$) versus endothermic adsorption on biochar (positive $\Delta H°$). pH studies demonstrated optimal Congo red removal at neutral-to-weakly acidic conditions (pH ≈ 7) for raw shells, with enhanced efficiency up to pH 9.5. Conversely, biochar showed reduced adsorption capacity across the alkaline range (pH 5–11). Kinetic modeling established that the adsorption mechanism follows pseudo-second-order behavior, suggesting chemisorption characteristics. These findings demonstrate that peanut shell-derived adsorbents offer cost-effective solutions for azo dye removal, with performance tunable through material pretreatment and process optimization.

Keywords: Adsorption, Congo red dye, Peanut Shells, isotherm, kinetics, thermodynamics.