

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

Received	2026/05/05	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2026/05/26	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2026/05/27	تم نشر الورقة العلمية في

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

كريمة رمضان السويح

كلية التربية - قصر بن غشير - جامعة طرابلس - ليبيا

الملخص

في هذه الدراسة، تم تقييم كفاءة مادة الامتزاز المكونة من مطحون بقايا البن المستهلك بعد تحويلها باستخدام وسط قاعدي مكون من هيدروكسيد الصوديوم، وذلك لغرض إزالة صبغة المثلين الأزرق من محلوله المائي عبر عملية امتزاز بنمط الدفعة الواحدة. في هذه الدراسة تم اختبار تأثير مجموعة من المتغيرات الفيزيائية مثل: التراكيز الأولية للصبغة، كتلة المادة المازة، وزمن التلامس على عملية الامتزاز عند مجموعة من العوامل الفيزيائية الثابتة مثل درجة حرارة الغرفة (26 ± 2)^oم، درجة اس هيدروجيني (pH) تعادل 6.5، معدل اهتزاز وقدره 200 لفة/دقيقة، وأخيراً حجم محلول وقدره 50 مل. أظهرت النتائج أن عملية الامتزاز لإزالة صبغة المثلين الأزرق كانت مرضية جداً عند: تراكيز أولية من الصبغة وقدرها 110 ملجم/لتر، كتلة مادة مازة وقدرها 0.25 جم، وزمن التماس قدره 20 دقيقة.

إضافةً إلى ذلك، تم إيجاد ارتباط واضح بين التراكيز الأولية للصبغة وما ينشأ عنها من ارتفاع في سعة الامتزاز، وذلك من خلال قيمة معامل الارتباط ($R^2 = 0.982$) والذي يوضح أن نتائج قيمة سعة الامتزاز القصوى المتحصل عليها معملياً في توافق مع النتائج المتحصل عليها حسابياً فيما يتعلق بنموذج لونغموير لخط نقاط تعادل الحرارة. في هذا النموذج تم التوصل فيه إلى أن قيمة سعة الامتزاز القصوى الذي كان من نوع إمتزاز

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

متناسق أحادي الطبقة من نموذج تعادل حرارة لانجموير لمطحون بقايا البن المستهلك كانت حسابياً بقيمة قدرها 43.48 ملجم/جم لامتماز الصبغة. الكلمات المفتاحية: امتزاز، صبغة الميثيلين الأزرق، نمط الدفعة الواحدة، مطحون بقايا البن المستهلك، تعادل الحرارة

Evaluation of Chemically Modified Consumed Coffee Ground Residue Efficiency for the of Methylene Blue Adsorption from its Aqueous Solution: Isotherm Study

Karema R. Al-Swayah

College of Education, Tripoli University – Qaser Ben Ghasheer

Corresponding author: K.alsyah@uot.edu.ly

Abstract:

In this study, the efficiency of an adsorbent composed of consumed coffee grounds residue (CCGR), modified using a basic medium of sodium hydroxide (NaOH), was evaluated for the removal of Methylene Blue dye (MB) from its aqueous solution via a batch adsorption process. The effects of various physical variables, such as initial dye concentration, adsorbent mass, and contact time, were tested on the adsorption process under constant physical conditions, including a room temperature of (26 ± 2) °C, a pH of (6.5), a shaking speed of 200 rpm, and a solution volume of 50 ml. The results showed that the adsorption process for removing (MB) was highly satisfactory under the following conditions: an initial dye concentration of 110 mg/l, an adsorbent mass of 0.25 g, and a contact time of 20 minutes.

Furthermore, a clear correlation was found between the initial dye concentrations (C_i) and the resulting increase in adsorption capacity (q), indicated by a correlation coefficient (R^2) = 0.982. This demonstrates that the maximum adsorption capacity (q_{max}) values obtained experimentally are in good agreement with the calculated values regarding the linear form of the Langmuir isotherm model.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محلوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

Based on this model, it was concluded that the (q_{max}) (representing a monolayer homogeneous adsorption) of the modified spent coffee grounds was calculated to be 43.48 mg/g for dye adsorption.

Keywords: Adsorption, Methylene Blue Dye, Batch Mode Adsorption, Isotherm

المقدمة

يعد الماء إحدى مقومات الحياة الأساسية يرتكز عليها بقاء كل كائن حي مصداقاً لقوله تعالى ﴿وجعلنا من الماء كل شيء حي﴾ [سورة الأنبياء، الآية الكريمة (40)]، وهو يساهم في تطور وازدهار الحضارات، حيث يصاحبه نمو اقتصادي واجتماعي. بالرغم من أهميتها وحيث أن المياه السطحية كالأنهار والبحيرات والمياه الجوفية تعد مصادر مائية أساسية في كثير من مناطق الدول الجافة وشبه الجافة، إلا أنها تتعرض إلى التلوث عادةً بفعل النشاطات البشرية (إضافة إلى العوامل الطبيعية) [1]. من مظاهر التلوث بفعل النشاطات البشرية ما يحدث جراء الصرف المستمر للمياه العادمة المليئة بالملوثات كالأصبغ Dyes من مصادر توفرها. إن أهم المصادر المسؤولة عن إنتاج كميات عادمة مخلوطة بمواد عضوية خطيرة كالأصبغ هي: مصانع الطباعة الورقية، المخصبات الزراعية، الطلاءات، صناعة البلاستيك، وصناعة دباغة الجلود والمنسوجات [2]. تعد الأخيرة من أهم الصناعات التي تسهم في إنتاج كميات هائلة جداً من المياه الملوثة التي تصرف عادة في المسطحات المائية، المساحات والفضاءات الواسعة لتصل بطريقة أو بأخرى إلى المياه الجوفية.

من التحديات التي تواجه مرافق التصنيع وهو إمكانية تنفيذ عمليات معالجة فعالة لمياه الصرف الخاصة بها الحاوية على بقايا عمليات التصنيع من اصباغ قبل تصريفها إلى الأوساط المائية. حيث يعتبر وجود الأصباغ الصناعية مخلوطة مع المياه سامة جداً للحياة المائية [3، 4]. بالتالي يعد مجال التحكم في التلوث وإدارته في السنوات الأخيرة أولوية قصوى داخل المصانع، ويبقى توفير المياه النظيفة للعديد من النشاطات من أعظم الغايات التي يسعى إليها الباحثون في جميع أرجاء العالم. في هذا الصدد، تم ابتكار عدد من التقنيات مثل: الانحلال الضوئي Photo-Degradation [5]، أغشية التبادل

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثيلين الأزرق من محلوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

الكاتيوني Membrane Cation Exchange [6]، الانحلال البيولوجي Biological Degradation [7]، التبادل الأيوني Ion Exchange [8]، الاسموزية المعاكسة Reverse Osmosis [9]، التخثر Coagulation [10]، الامتزاز Adsorption [11]، [12]. تعتبر هذه الأخيرة الأفضل نظراً لكونها سهلة التشغيل والتعامل مع، بسيطة في التصميم، ورخيصة في التكلفة. يمكن لعملية الامتزاز أن تزيل أو تقلل تراكيز العديد من الملوثات الكيميائية العضوية وغير العضوية [13]. بالتالي فهي تمتلك تطبيقات واسعة في مجال التحكم في الملوثات.

في محاولة للبحث عن الجدوى الاقتصادية، لجأ الباحثون للبحث عن مواد مازة أرخص من تلك المسماة بالكربون المنشط ولها وفرة في الطبيعة وسهلة المنال تكون مصادرها من بقايا المنتجات الزراعية والغذائية. من أمثلة تلك المواد: تبن محصول الشعير [11]، أوراق أشجار الصنوبر [14]، أوراق الشاي المستهلكة [15]، قشور البرتقال [16]، أنوية الزيتون [17]، أنوية التمر [18]. تعتمد عملية الاختيار للمواد المازة على عدد من المعايير وهي الوفرة في الطبيعة وسهولة الحصول عليها، الرخص في التكلفة، وجودة مواصفاتها الفيزيائية كارتفاع سعتها الأمتزازية [19].

من المعلوم إن الامتزاز يعد تقنية أسطح Surface Technique وهي تتطلب تراكم ذرات، جزيئات، أو أيونات تكون خاصة بالطور الصلب؛ انها عملية نقل كتلة تقود إلى امتصاص الغازات أو المذابات بواسطة أسطح صلبة أو سائلة [20]. وأن نجاح المادة المازة يعتمد أساساً على كيمياء سطحها [21]. يمكن زيادة سعة الامتزاز للمواد المازة عن طريق تحويل تراكيبها الكيميائية لتحسين تفاعلها مع المادة الممتزة. يتضمن ذلك عدة طرق أهمها (1) تغيير المجموعات الوظيفية على سطح المادة المازة لإدخال مجموعات وظيفية جديدة؛ على سبيل المثال، يمكن إضافة مجموعات قادرة على تكوين روابط هيدروجينية أو تفاعلات أيونية مع المادة الممتزة، أو (2) تعديل بنية المسامات والتحكم في أحجامها وتوزيعها لتحسين وصول المادة الممتزة إلى المواقع النشطة؛ المواد المازة ذات المسامات الدقيقة ذات الحجم المناسب لجزيئات المادة الممتزة تُظهر سعة امتزاز أعلى، أو (3) تحويل باستخدام مواد كيميائية أخرى واقحام مجموعات وظيفية مثل المجموعات المؤكسدة

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

لتحسين سعة امتزازها. بالإضافة إلى ذلك، يعد التقليل من إمكانية ارتفاع الطلب على الأكسجين الكيميائي Chemical-Oxygen Demand والبيولوجي Biological-Oxygen Demand في الأوساط المائية من مزايا التحوير الكيميائي للمواد المازة ذات الأصل النباتي [22].

تعد التحويرات الكيميائية بواسطة المواد القلوية واحدة من عديد آليات التحوير المتضمنة إضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH، هيدروكسيد البوتاسيوم KOH، هيدروكسيد الليثيوم LiOH، سيليكات الصوديوم Na₂SiO₃، أو كربونات الصوديوم Na₂CO₃ للمادة المازة المعنية بالعملية [23]. كما يتم في حالات أخرى التحوير القلوي بمعالجة أسطح المواد المازة بفعل العوامل المختزلة، وبالتالي ينتج عنها زيادة في الطبيعة اللاقطبية Non-polar nature لسطح المادة المازة [24]. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للتحوير القلوي إدخال شحنة موجبة على سطح المادة المازة لزيادة أمتزاز المواد الممتزة ذوات الشحنة السالبة [25]. مع زيادة التراكيز القلوية، يتم أيضاً زيادة المساحة السطحية specific surface area وحجم الثقوب [26].

في هذا الصدد، تعتبر مخلفات المنتجات الزراعية مواد مازة مهمة للعديد من الملوثات كالأصباغ، نظراً لتوافقها وملائمتها مع تلك الطرق من التحويرات الكيميائية [22]. بالتالي سيكون الهدف الرئيسي من هذه الدراسة وهو تقييم كفاءة هذا النوع من التحوير الكيميائي المتضمن المعالجة بمحلول قاعدي مكون من هيدروكسيد الصوديوم NaOH للمادة المازة المكونة من مطحون البن المستهلك CCG واستخدامها لغرض إزالة جزيئات صبغة الميثيلين الأزرق MB من محلولها المائي. سيتم ذلك بواسطة تجارب معملية من نمط الامتزاز بالدفع الواحدة. يتم دراسة مجموعة من المتغيرات الفيزيائية مثل: تراكيز أولية لصبغة الميثيلين الأزرق MB وقدرها (10، 30، 50، 70، 90، 110، 150) ملجم/لتر، كتلة المادة المازة المكونة من مطحون البن المستهلك وقدرها (0.05، 0.10، 0.15، 0.20، 0.25، 0.30)، وزمن التلامس وقدره (5، 10، 15، 20، 25، 30، 45، 60) دقيقة على سعة الامتزاز للمادة المازة عند عوامل فيزيائية ثابتة مثل درجة حرارة الغرفة (26±2) °م، درجة اس هيدروجيني (pH) وقدرها 6.5، معدل اهتزاز وقدره 200

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوزترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

لقة/دقيقة، وأخيراً حجم محلول الامتزاز وقدره 50 مل. بالإضافة إلى ذلك، يتم دراسة نماذج من حالات التوازن المستخدمة لمعاينة مدى توافقها مع البيانات المتحصل عليها.

الجانب العملي، المواد والأجهزة، وطرق القياس والدراسة المواد الكيميائية والمحاليل

كل المواد الكيميائية والمحاليل قيد الدراسة كانت من صنف درجة نقاوة تحليلية Analytical grade reagents، وتم استعمالهم خلال هذه الدراسة بدون أي معالجات إضافية. كانت المادة الكيميائية الرئيسية في الدراسة المكونة من صبغة الميثيلين الأزرق MB بدرجة تحاليل نقاوة $\geq 93,0\%$ ومؤشر تلوين C.I. رقم 52015؛ تم الحصول عليها تجارياً من شركة B.D.H. المحدودة للكيمياويات بإنجلترا، واستخدمت لتحضير المحلول الرئيسي وباقي المحاليل القياسية ذات التراكيز المختلفة من صبغة الميثيلين الأزرق MB قيد الدراسة. بينما تم الحصول على المادة المازة المكونة من مطحون البن المستهلك CCG (نوع قهوة خاصة بآلات تحضير شراب القهوة بالكافيتريات والمقاهي) من إحدى المقاهي الخاصة والمنتشرة بأحد أحياء مدينة طرابلس، وهي مستوردة من أحد دول أمريكا الجنوبية، وتم جمعها ووضعها في أكياس نظيفة من البلاستيك. تم استخدام مياه ثنائية التقطير لتحضير المحاليل المعنية بالدراسة المعملية.

الأجهزة والأدوات

في هذه الدراسة، تم استخدام عدد من الأجهزة والأدوات ومنها ما يلي: جهاز مطياف القياس بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR؛ موديل TENSOR-27 من صنع ألمانيا من قبل شركة BRUKER. تم استخدام جهاز المطياف FT-IR تحديداً للتعريف بالمجموعات الوظيفية Functional groups على سطح المادة المازة المعنية بالدراسة والمتعلقة بعملية الامتزاز لصبغة الميثيلين الأزرق MB عند نطاق طيفي ما بين (400 – 4000) سم⁻¹. تم أيضاً استخدام مطياف القياس بالأشعة فوق البنفسجية UV / VIS Spectrophotometer من نوع UV – Analytik jena؛ موديل Specord 205 لغرض قياس تراكيز صبغة

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

المثلين الأزرق MB عند طول موجي (λ) يقدر بحوالي 665 نانومتر. جهاز قياس درجة الاس الهيدروجيني pH من نوع Inolab 740؛ موديل WTW model، وباستعمال إلكتروود مزدوج موديل SenTix 20 كان أيضاً من ضمن الأجهزة المستخدمة. تم معايرة الجهاز بواسطة محلول منظم عياري Buffer solution لغرض قياس درجة الاس الهيدروجيني pH للمحاليل قيد الدراسة. ولدراسة عمليات الامتزاز بنمط الدفعة الواحدة، تم استخدام جهاز رج رقمي Digital shaker device؛ موديل GFL 3005 صنع بألمانيا. كما تم استخدام ميزان حساس من نوع Sartorius competence؛ موديل CP224S صنع بألمانيا، له قدرة قراءة عند وزن أقصى قدره 220 جرام وقراءة حد أدنى يقدر بحوالي 0.1 جرام. أخيراً تم استخدام مجموعة أدوات غريلة مصنوعة من المعدن غير قابل للصداء بأحجام ثقوب متعددة، ومجموعة من الأدوات الزجاجية المتنوعة كالدارق القياسية بسعة 1 لتر، ودارق مخروطية بسعة 250 مل وانايبب مص . . . وغيرها.

وصف عينات مطحون البن المستهلك CCG

ينتمي مطحون البن المستهلك CCG إلى مجموعة المخلفات الزراعية الصلبة. كمادة أولية، يتم انتاج البن في عديد من الدول التي تتميز بمناخ استوائي بين مداري السرطان والجدى، وتشمل أمريكا اللاتينية، أفريقيا وآسيا وتتطلب مناخاً معتدلاً وترية خصبة وشمس. تُعد البرازيل وفيتنام وإندونيسيا من أكبر المنتجين للبن، وتتباين مستحضرات البن (شراب القهوة) في نكهاتها بالاعتماد على منطقة الزراعة. بالنسبة للبن المعني بالدراسة، فهو ينتمي لقائمة البن التي يطلق عليه بن الروبوستا Robusta Coffee (له مذاق مرير، وذلك لاحتوائه على مقدار أكبر من مادة الكافيين وحمض الكلوروجينيك، مقارنة ببن الأرابيكا Arabica Coffee ذات المذاق المعدل) والذي من خلاله يتم تحضير شراب القهوة الفورية؛ يتم انتاج هذا النوع من البن بنسبة (30-40)% من الإنتاج الكلي العالمي للبن والذي يقدر بحوالي 6 مليون طن/سنوياً [27]. يتميز مطحون البن المستهلك CCG من حيث الملمس بأنه ذو دقائق خشنة قليلاً وجافة، الامر الذي يجعلها تتميز بقابليتها العالية لامتصاص الماء. تختلف دقائق هذا المطحون

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

في حجمها تبعاً لنوع عملية الطحن المستخدمة إثناء عملية التحضير للبن، حيث يتم الإشارة إلى أن المطحون المستخدم لتحضير القهوة الفورية بالآلة يكون غالباً بذاك الملمس خلاقاً لتلك النوعية التي تنتمي لقائمة بن الأريكا ذو الملمس الناعم. تتراوح اقطار 90% من مسحوق البن المعني بالدراسة < 0.5 ملم قليلاً. إن أغلب المكونات الأولية من البن الخام (نوع بن الروبوستا) تتكون من: (1) 60% بشكل أساسي من الكربوهيدرات بما في ذلك السكريات (السكروز)، اللجنين، السليلوز، والهيمي سيليلوز، (2) الدهون بنسبة مئوية 10 - 15؛ تلعب دوراً في استقرار الرغوة وتكوين القوام، (3) البروتينات وتشكل حوالي 13%؛ تتحلل أثناء التحميص لتكوين مركبات النكهة واللون، (4) الأحماض العضوية مثل حمض الكلوروجينيك Chlorogenic acid, CGA؛ المسؤول عن المرارة ومضادات الأكسدة، وحمض الستريك والماليك، (5) القلويدات كمادة الكافيين Caffeine وهو الأكثر شهرة؛ يمنح التأثير المنشط، وتوجد مركبات أخرى مثل التريجونلين Trigonelene، (6) وأخيراً المعادن مثل البوتاسيوم والمغنيسيوم وفيتامينات تساهم في القيمة الغذائية.

وصف صبغة الميثيلين الأزرق MB

يطلق على مركب صبغة الميثيلين الأزرق MB كيميائياً بكاتيون 3، 7 (ثنائي ميثيل الأمين) المزدوج لكلوريد -5- الثايزينيم الفينيل (3, 7-bis (dimethylamino) phenothiazine -5- ium chloride cation). تكون التركيبة الكيميائية لصبغة الميثيلين الأزرق MB كما هو موضح في الشكل (1). للمركب تركيبة كيميائية مكونة من (C₁₆H₁₈N₃SCl)، وزن جزئي بقيمة 319.85 جم، وله أقصى امتصاص عند طول موجي (λ) يساوي 665 نانومتر [28]. تم استخدام هذا الصبغ في هذه الدراسة كمركب نموذج عن صنف الأصباغ القاعدية Basic dyes بشكل خاص ومركب عضوي بشكل عام.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>



شكل (1): التركيبة الكيميائية لصبغة الميثيلين الأزرق MB [29].

طرق الدراسة

تجهيز المادة المازة

تم استخدام مطحون البن المستهلك CCG كمادة مازة بعد تجهيزه معملياً، حيث تطلبت الخطوة غسل المطحون عدة مرات بالماء الساخن لإزالة العوالق غير المرغوب فيها واللون الخاص بشراب القهوة حتى درجة الاس الهيدروجيني pH تعادل 6 في بقايا الماء. تم تكرار الخطوة حتى افتراضياً تكون المادة خالية من اللون. تم تجفيف المطحون CCG أولاً في الهواء الطلق لمدة 24 ساعة ثم في الفرن عند درجة حرارة 60 °م، أيضاً لمدة 24 ساعة. يلي ذلك، تم طحنه وغربلته للحصول على مادة مازة بحجم ثقب تقدر بحوالي 325 ميكرو متر.

تحويل المادة المازة ومعالجتها تطلب أخذ كمية من المطحون الجاف وغمرها في محلول قلوي مكون من 0.5 مولاري من هيدروكسيد الصوديوم (0.5 M NaOH) لفترة 15 دقيقة مع الغليان، ثم تم غسلها بماء ثنائي التقطير حتى تصبح درجة الاس الهيدروجيني pH لمحلول الغسول تعادل 6.5 - 7.0، ثم تم تجفيفها في الفرن عند درجة حرارة 60 °م لمدة 24 ساعة. وأخيراً تم وضعها في مجفف زجاجي Desiccator لغرض حفظها من الرطوبة إلى حين استخدامها.

تحضير المحاليل القياسية لصبغة الميثيلين الأزرق MB

(1) تم تحضير المحلول الرئيسي لصبغة الميثيلين الأزرق MB بتركيز 1000 ملجم/لتر بإذابة الكمية الوزنية بشكل دقيق مع التحريك والرج للصبغة في ماء ثنائي التقطير. تم

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

نقل الكمية المذابة إلى دورق قياسي بسعة 1.0 لتر وإكمال الحجم حتى الإشارة بماء ثنائي التقطير.

(2) تم تحضير المحاليل ذات التراكيز المختلفة من صبغة المثلين الأزرق MB وهي (10، 30، 50، 70، 90، 110، 150) ملجم/لتر بتخفيف محلول الصبغة الرئيسي لإنتاج التركيز المناسب.

الامتزاز بنمط الدفعة الواحدة

تم اجراء عمليات الامتزاز بواسطة جهاز أهتزاز رقمي عند عوامل فيزيائية ثابتة مثل: معدل أهتزاز وقدره 200 دورة/دقيقة، درجة اس هيدروجيني pH وقدره 6.5، وعند درجة حرارة الغرفة (26±2) م⁰ لفترات من أزمنة تلامس مختلفة (5، 10، 15، 30، 45، 60، 90) دقيقة. وباستخدام دوارق مخروطية سعتها 250 مل، تم القيام بكل عمليات الامتزاز من خلال خلط كميات مختلفة من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR (0.30-0.05) جم مع محاليل تحتوي على تراكيز أولية من صبغة المثلين الأزرق MB (10، 30، 50، 70، 90، 110، 150) ملجم/لتر بحجم محلول ثابت وقدره 50 مل. في هذه الدراسة، تم تقييم مدى تأثير بعض المتغيرات الفيزيائية كالتراكيز الأولية للصبغة، كتلة المادة المازة المكونة من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR، وزمن التلامس، على عملية الامتزاز.

اختبار تأثير تركيز المادة الممتزة

تم دراسة تأثير هذا المتغير من خلال وزن كمية ثابتة من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR (في خطوة تمهيدية تم اختيار كمية وقدرها 0.20 جم لتكون الأنسب) وإضافتها إلى 50 مل محلول الصبغة المستهدفة للدراسة في عدة مناسبات بتركيز مختلف في كل مرة (10، 30، 50، 70، 90، 110، 150) ملجم/لتر عند معدل رج قدره 200 دورة/دقيقة، لفترة 20 دقيقة (في خطوة تمهيدية تم اختيارها ليكون الزمن الأنسب) عند درجة حرارة الغرفة (26±2) م⁰ ودرجة اس هيدروجيني pH قدرها 6.5.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوتروم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

اختبار تأثير كتلة المادة المازة

في حين تم دراسة تأثير هذا المتغير من خلال إضافة 50 من محلول الصبغة المستهدفة للدراسة وبتركيز قدره 110 ملجم/لتر (في خطوة تحاليل سابقة تم اختيارها لتكون الأنسب) إلى كميات مختلفة (0.05-0.30) جم من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR عند معدل رج قدره 200 دورة/دقيقة، لفترة 20 دقيقة عند درجة حرارة الغرفة (26±2) °م ودرجة أس هيدروجيني قدره 6.5.

اختبار تأثير زمن التلامس

من ناحية أخرى، تم دراسة تأثير زمن التلامس كمتغير فيزيائي عند (5، 10، 15، 20، 25، 30، 45، 60) دقيقة من خلال وزن كمية ثابتة من مطحون البن المستهلك CCG المحورة كيميائياً وهي 0.20 جم؛ تمثل أفضل الكميات التي تم اختبارها في فترة تحاليل سابقة، وإضافتها إلى 50 مل من محلول الصبغة المستهدفة وبأفضل التراكيز التي تم اختبارها في الفترة السابقة وهي 110 ملجم/لتر، عند معدل اهتزاز قدره 200 دورة/دقيقة، عند درجة حرارة الغرفة (26±2) °م ودرجة أس هيدروجيني قدرها 6.5.

طريقة القياس

بعد الانتهاء من عمليات الامتزاز، تم ترشيح كل محتوى دورق مخروطي بواسطة عملية الترشيح وإبعاد وفصل المادة المازة لكل دورق باستخدام ورقة ترشيح من نوع Whatman filter paper. تم تقدير التراكيز المتبقية من صبغة المثلين الأزرق MB في كل دورق مخروطي معني بالدراسة بواسطة جهاز مطياف القياس بالأشعة فوق البنفسجية / UV VIS Spectrophotometer.

تم تقدير كمية الامتزاز عند حالة التوازن (q_{eq}) المقدره بوحدة ملجم/جم كما يلي [28]:

$$q_{eq} = (C_0 - C_e) \times v/w \quad \dots \dots \dots (1)$$

حيث أن: (C_0) و (C_e) (ملجم/لتر) يعبران عن تراكيز صبغة المثلين الأزرق MB عند البدء والنهائية من عملية الامتزاز على التوالي، وأن (v) يعبر عن الحجم الخاص بمحلول

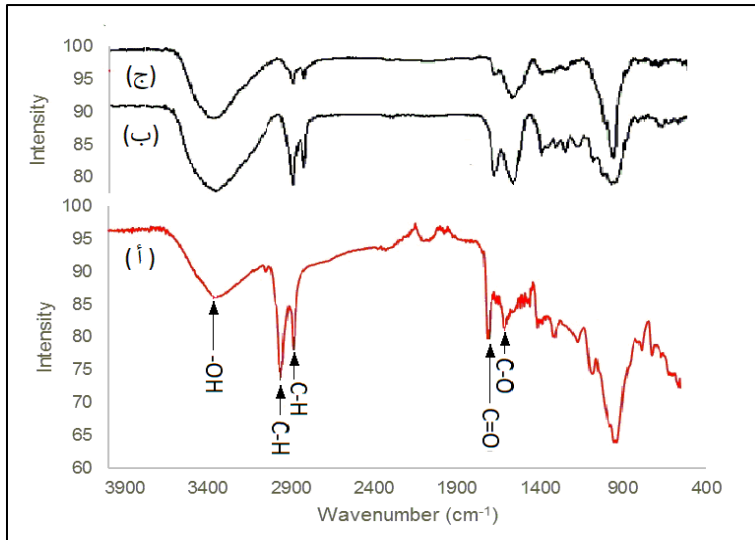
تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

الصبغة ويقاس باللتر، في حين (w) يعبر عن كتلة المادة المازة المستخدمة في عملية الامتزاز ويقدر بالجرام.
بينما تم تقدير نسبة الامتزاز (%) كما يلي [28]:

$$\% \text{ Adsorption} = [(C_0 - C_e) / C_0] \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

النتائج والمناقشة



شكل (2): مطياف (FT-IR) للمادة المازة المكونة من (أ) مطحون بقايا البن المستهلك الخام، (ب) مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً قبل عملية الامتزاز، (ج) مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً بعد عملية.

الشكل (2) يوضح مطياف الاهتزاز بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FT-IR) لثلاث عينات من مطحون البن المستهلك CCG: كمادة خام أولية (أ)، مطحون البن المستهلك المحور كيميائياً قبل عملية الامتزاز (ب)، وأخيراً مطحون البن المستهلك المحور كيميائياً بعد عملية الامتزاز (ج).

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله
المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

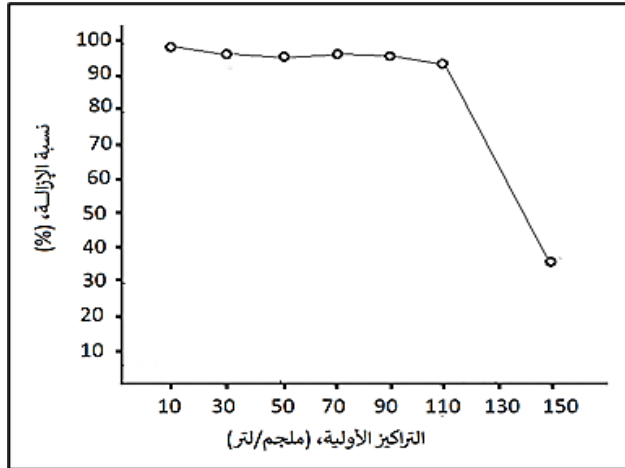
<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

من خلال الشكل (2، أ) يمكن ملاحظة وجود حواف لأهم المجموعات الوظيفية: حافة عريضة عند طول موجي 3200 سم⁻¹ إلى 3600 سم⁻¹ وهي تصف نوع الاهتزاز التمديدي Stretching vibration لمجموعة الهيدروكسيل -OH (من الكحوليات، الفينولات، أو الكربوكسيلات) والماء الممتز على سطح السيليلوز الليفي. كما أن هنالك حافتين حادتين Sharp peaks عند نطاق طول موجي 2856 - 2925 سم⁻¹، إشارة إلى مجموعات C-H غير المتماثلة Asymmetric والمتماثلة Symmetric لمجموعات الألكيلات التمديدية -CH₂- ومجموعة الميثيل -CH₃ [30، 31]. هنالك أيضاً حافة عند طول موجي قدره 2850 سم⁻¹ يشير إلى C-H الأليفاتية التمديدية Aliphatic Stretching من العمود الفقري للسيليلوز [30]. إضافة إلى ذلك، هنالك حافتين عند طول موجي 1740 سم⁻¹ وطول موجي 1650 سم⁻¹ إشارة إلى وجود مجموعة الكربونيل C=O ومجموعة الألكينات C=C والتي بدورها يشيران إلى التأكيد على احتواء العينة على مركبات الكربوهيدرات، الدهون، الكافيين، وحمض الكلوروجينيك (CQA-5). هنالك إشارة إلى أن شدة الامتصاص للحافة C=O يمكن أن يعزى إلى حقيقة أن البن عند تعرضه للحرارة (إثناء التحميص أو الغليان عند اعداد شراب القهوة) تتخفف شدة الحافة، في حين يمكن ملاحظة اتساع الحافة عند 3457 سم⁻¹ إشارة إلى ذرات الهيدروجين - المرتبطة بمجموعات الهيدروكسيل (-OH) من السيليلوز، اللجنين، والماء. بالنسبة لمطحون البن المستهلك الخام، يشار إلى أن الطول الموجي 1450 سم⁻¹ قد تأثر بوجود الاهتزازات الانحنائية Bending vibrations الخاصة بمجموعة الميثيلين -CH₂- ومجموعة الميثيل -CH₃ و / أو الحافة الانحنائية لمجموعة الهيدروكسيل -OH كنتيجة لوجود الفينول على سطح حبيبات مطحون البن المستهلك [31، 32]. مجموعة حواف متواجدة عند نطاق طول موجي ما بين (1100 - 1300) سم⁻¹ إشارة لوجود مجموعة C-C الاهتزازية للسيليلوز [33]. بعد عملية التحوير والامتزاز (شكل 2 ب، شكل 2 ج)، يمكن ملاحظة حدوث ضعف في جميع الحواف وظهور حافة عند حوالي 1000 سم⁻¹ كإشارة إلى احتمالية حدوث الأمتزاز لجزيئات المثلين الأزرق MB لا سيما أن الحافة دلالة على وجود -C-N- الاهتزازية الانحنائية [34].

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

دراسة تأثير بعض المتغيرات الفيزيائية على نسبة الإزالة وسعة الامتزاز القصوى عند حالة التوازن
أولاً: تأثير التراكيز الأولية لصبغة المثلين الأزرق MB.



شكل (3): تأثير تراكيز المادة الممتزة من صبغة المثلين الأزرق (MB) على النسبة المئوية للإزالة (%).
للإمتزاز.

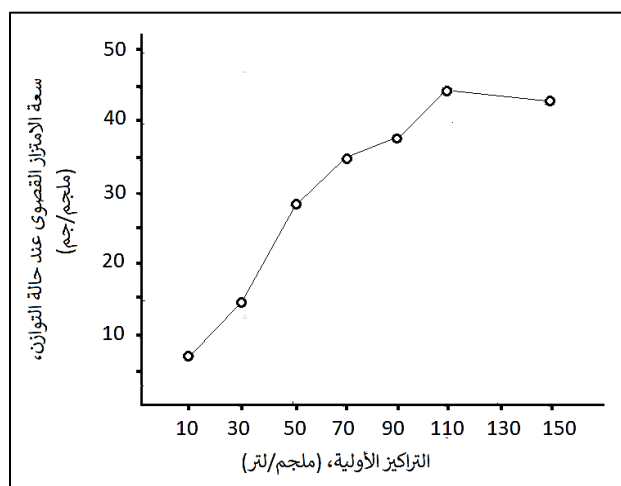
يوضح الشكل (3)، العلاقة بين تأثير التراكيز الأولية لصبغة المثلين الأزرق MB ونسبة الإزالة (%). لجزئيات الصبغة من محلولها المائي وفيها يشير إلى أن نسبة الإزالة لجزئيات الصبغة كانت مرتفعة لتصل قيمة قدرها 96.87% منذ البداية وبقائها على نحو شبه ثابت حتى تراكيز أولية من محلول الصبغة قدرها 110 ملجم/لتر. عند محاولة اختبار زيادة التراكيز إلى ما بعد 110 ملجم/لتر وحتى 150 ملجم/لتر، أدى ذلك إلى انخفاض نسبة الإزالة (%) بشكل ملحوظ لجزئيات الصبغة من محلولها المائي من بعد تلك التراكيز ما يقارب من 96.00% إلى 34.64%.

وفق ما جاء في بعض التقارير العلمية المنشورة، فإن ذلك الارتفاع في نسبة الإزالة (%) عند التراكيز المنخفضة للصبغة ينسب إلى حقيقة أن جميع جزئيات الصبغة المتواجدة في المحلول تتشابه بشكل حر تماماً مع الأماكن النشطة Active sites المتوفرة للإمتزاز.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

على خلاف ذلك، عند تراكيز اعلى، كانت الأماكن النشطة الخاصة بالامتزاز مشبعة بجزئيات الصبغة المتواجدة بمحلول الامتزاز، والوصول إلى حالة تشبع Saturation، الامر الذي أدى إلى انخفاض في نسبة الازالة (%) [35].



شكل (4): تأثير تراكيز الميثيلين الأزرق (MB) على سعة امتزاز (q_{eq}) المادة المازة.

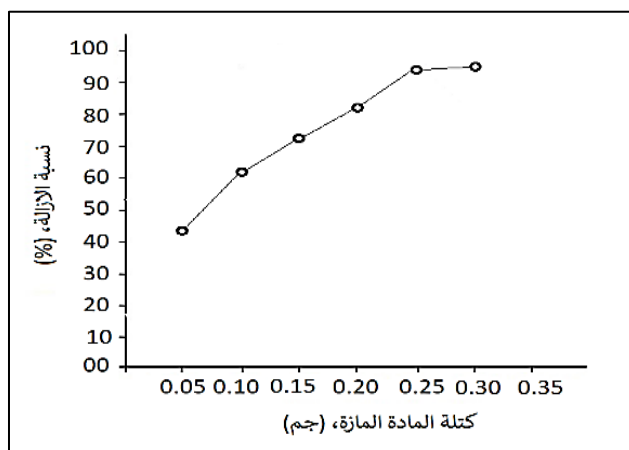
على خلاف ذلك، ارتفعت كمية الصبغة الممتزة لكل وحدة كتلة من المادة المازة (q_{eq}) من قيمة قدرها (6.41 - 46.38) ملجم/جم (شكل 4)، مع زيادة التراكيز الأولية من (10 - 110) ملجم/لتر.

تنسب بعض الدراسات العلمية المنشورة الأخرى الارتفاع الملحوظ في سعة الامتزاز القصوى عند حالة التوازن (q_{max}) للمادة المازة المكونة من مطحون البن المستهلك CCG إلى حقيقة أن التراكيز الأولية من المادة الممتزة تعمل على تزويد قوى دافعة Driving force مهمة جداً للتغلب على مقاومة الكتلة المتقلة Mass transfer resistance لجزئيات الصبغة بين المحلول المائي والطور الصلب [36، 37] إن الاختلاف في سعة الامتزاز بين مختلف المواد المازة الصلبة يعتمد على الاختلاف في الخصائص السطحية والتركيب الكيميائية لتلك المواد المازة [39].

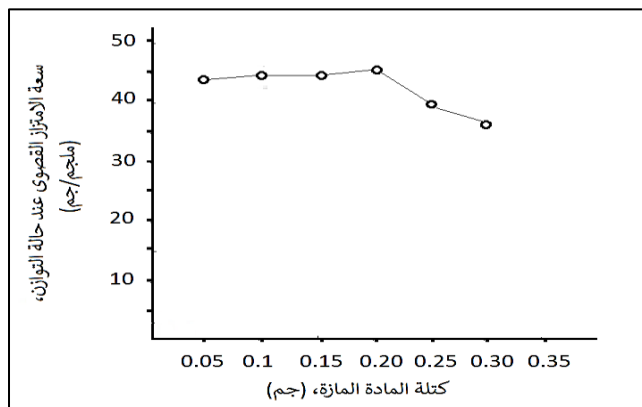
تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محلوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

• تأثير كتلة المادة المازة من مطحون البن المستهلك CCG



شكل (5): تأثير كتلة المادة المازة على نسبة الإزالة لـ MB في المحلول المائي



شكل (6): تأثير كتلة المادة المازة على سعة امتزازها لتراكيز من جزيئات MB.

يوضح الشكل (5) علاقة تأثير عدد من الكتل المختلفة من المادة المازة المكونة من مطحون بقايا البن المستهلك CCG التي قدرت ما بين (0.05-0.30) جم ونسبة الإزالة لجزيئات صبغة الميثيلين الأزرق MB من محلولها المائي. في حين الشكل (6) يوضح علاقة تأثير الكتل المختلفة من المادة المازة من المطحون ذاتها والسعة الامتزازية

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

القصى (q_{eq}) عند حالة التوازن للمادة المازة عند امتزازها لجزئيات الصبغة من محولها المائي.

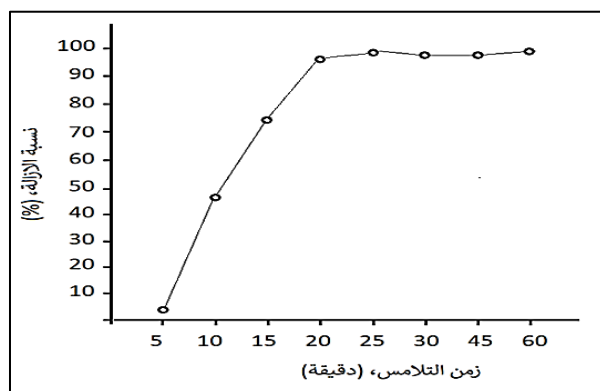
بدايةً، يتبين بوضوح من خلال الشكل (5) انخفاض تراكيز جزئيات صبغة المثلين الأزرق MB المتبقية في المحلول بالدورق المخروطي من كمية قدرها 110 ملجم/لتر إلى 4.46 ملجم/لتر عند زيادة كتلة المادة المازة من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR من قيمة قدرها 0.05 جم إلى 0.30 جم، حيث أن بارتفاع كتلة المادة المازة لمطحون بقايا البن على ذلك النحو، فقد تسبب بزيادة نسبة الإزالة (%) لجزئيات صبغة المثلين الأزرق MB من (42.46 – 95.94) %. إن الزيادة في عدد الأماكن النشطة المتوفرة ضمن حبيبات المادة المازة من المسحوق لامتزاز جزئيات الصبغة من خلال وفرة كتلة المادة المازة من حبيبات المطحون من (0.05 – 0.30) جم كانت سبباً في ارتفاع نسبة الإزالة لجزئيات الصبغة، وفق ما جاء في عدد من التقارير العلمية المنشورة [29، 35].

من ناحية أخرى، عند تقدير سعة الامتزاز (q_{max}) عند حالة التوازن للمادة المازة المكونة من مطحون بقايا البن المستهلك CCGR، فقد تم التوصل إلى أن سعة الامتزاز (q_{max}) للمطحون لامتزاز جزئيات صبغة المثلين الأزرق MB كانت بقيمة قدرها 43.72 ملجم/جم، عند استخدام 0.05 جم من كتلة المادة المازة، وقيمة قدرها 35.85 ملجم/جم عند استخدام 0.30 جم من كتلة المادة المازة ذاتها. يرجح بأن عدم وفرة الأماكن النشطة في المادة المازة أثناء عملية الامتزاز لجزئيات الصبغة كنتيجة لتشابك وتتداخل الأماكن النشطة عند زيادة كتلة المادة المازة من المطحون من (0.05 – 0.30) جم كانت سبباً ساهم في خفض المساحة السطحية للامتزاز، الأمر الذي ترتب عليه انخفاض أيضاً في كمية المادة الممتزة من جزئيات الصبغة المراد امتزازها بواسطة المادة المازة من المطحون [36، 38].

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

• تأثير زمن التلامس



شكل (7): تأثير زمن التلامس على نسبة الإزالة لجزئيات MB بواسطة مطحون بقايا البن المستهلك CCGR

تم دراسة تأثير عدة أزمنة تلامس مختلفة (5، 10، 15، 20، 25، 30، 45، 60) دقيقة على نسبة الإزالة لجزئيات صبغة المثلين الأزرق MB المقطرة بتركيز 110 ملجم/لتر، بواسطة كتلة ثابتة من المادة المازة المكونة من مطحون البن المستهلك CCG من محلولها المائي عبر إجراء عمليات امتزاز بنمط الدفعة الواحدة، وذلك لغرض تعيين الزمن اللازم للوصول لحالة التوازن Equilibrium state (شكل 7).

من خلال الشكل، يمكن ملاحظة أن نسبة الإزالة (%) للصبغة تزداد بسرعة إلى حدٍ ما بزيادة زمن التلامس حتى الدقيقة 20 دقيقة. يتبين فيما بعد، أن عملية الامتزاز تستمر بشكل بطيء حتى تدريجياً تصل العملية مرحلة التشبع Saturation state، وفي هذه الحالة فإن معظم الأماكن النشطة تم حجزها وأن العملية وصلت إلى شبه حالة التوازن عند زمن ما بعد 20 دقيقة وفق ظروف التشغيل.

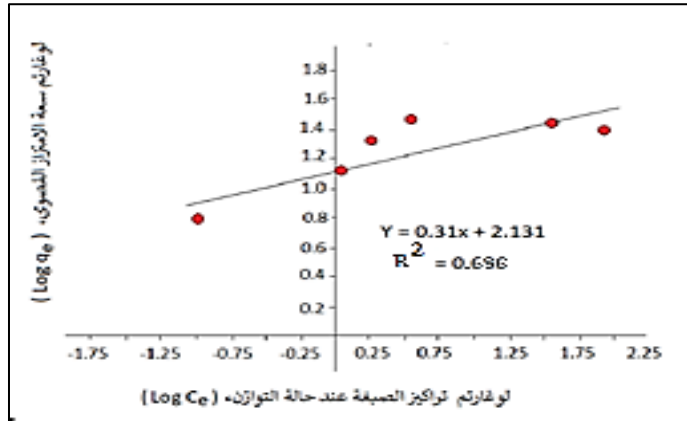
عند بداية عملية الامتزاز، تكون نسبة الامتزاز أعلى نظراً للمساحة السطحية الأعلى ولوفرة الأماكن النشطة بالمادة المازة المكونة من مطحون البن المعني بعمليات الحجز لجزئيات الصبغة [39، 40]، بالإضافة إلى ذلك، هنالك قوى محركة زُودت بفعل التراكيز الأولية

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

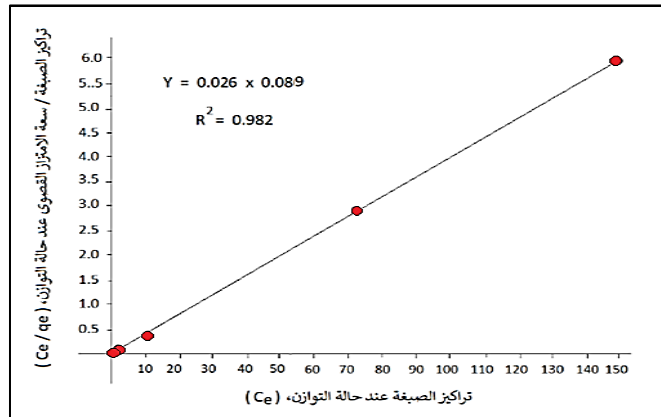
عند البداية، وإن هذه القوى تعمل على التغلب على مقاومة الكتلة الانتقالية الخاصة بالصبغة بين المحلول والطور الصلب [41].

- تحليل تعادل الحرارة Isotherm Analysis
- معادلاتي خط نقاط تعادل الحرارة: نموذج لونجموير (Langmuir) ونموذج فريندليش (Freundlich) عند إمتزاز صبغة الميثيلين الأزرق MB



شكل (8): تعادل الحرارة لنموذج فريندليش لامتزاز صبغة الميثيلين الأزرق MB بواسطة

مطحون بقايا البن المستهلك CCG



شكل (9): تعادل الحرارة لنموذج لونجموير لامتزاز صبغة الميثيلين الأزرق MB بواسطة

مطحون بقايا البن المستهلك CCG

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوزترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

من ناحية أخرى، يوضح الشكل (8) و (9) رسوم بيانية خطية لأثنين من نماذج تعادلات الحرارة Isotherm models وذلك لاختبار قدرتهما في وصف النتائج العملية المتحصل عليها. تم الحصول على النتائج من خلال العلاقة بين لوغاريثمي (q_{eq}) و (C_e) وكذلك العلاقة بين مقسوم (C_e / q_{eq}) والتراكيز عند حالة التوازن (C_{eq}) لعمليات امتزاز بنمط الدفعة الواحدة لصبغة الميثيلين الأزرق MB.

بالنسبة لمعادلتي خط نقاط تعادل الحرارة لنموذج لونجموير Langmuir ونموذج فريندليش Freundlich، قدرت قيمة معامل التحديد (R^2) لكل علاقة بحوالي (0.982) و (0.686) على التوالي. تم استخدام كل من قيمة المنحدر Slope وقيمة نقطة التقاطع Intercept من خلال العلاقة الخطية وذلك لحساب الثوابت في معادلتني خط نقاط تعادل الحرارة المذكورتين أعلاه.

في الجدول (1) تم عرض أليانات تم الحصول عليها من خلال معادلات خط نقاط تعادل الحرارة وهي تمثل قيم الثوابت الخاصة بمعادلتني خط نقاط تعادل الحرارة لنموذج لونجموير Langmuir ونموذج فريندليش Freundlich لعملية الامتزاز لصبغة الميثيلين الأزرق MB بنمط الدفعة الواحدة. تم الاستعانة بالمعادلات الخطية في الرسوم البيانية في شكل (8) و (9) واللتي تمثلان العلاقة بين لوغاريثمي (q_{eq}) و (C_e) وكذلك العلاقة بين مقسوم (C_e / q_{eq}) والتراكيز عند حالة التوازن (C_{eq}) لعمليات الامتزاز.

جدول (1): نتائج معادلتني خط نقاط تعادل الحرارة: نموذج لونجموير (Langmuir) ونموذج فريندليش (Freundlich) عند إمتزاز صبغة الميثيلين الأزرق MB

نموذج فريندليش			نموذج لونجموير		
R^2	n (L/mg)	K_f (l/g)	R^2	K_L (l/mg)	q_{max} (mg/g)
0.686	4.329	14.158	0.982	0.3372	43.48

فيما يتعلق بعملية امتزاز جزئيات صبغة الميثيلين الأزرق MB، يمكن ملاحظة إن ثوابت معادلة خط نقاط تعادل الحرارة لنموذج فريندليش الممثلتان لسعة الامتزاز (K_f)، وشدة الامتزاز وصلاحيتها (n) قدرتا بحوالي 14.158 لتر/مجم و 4.329 لتر/مجم على

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوزترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

التوالي. في حين، أن قيم ثوابت معادلة نقاط تعادل الحرارة الخاصة بنموذج لونجموير المتمثلة في سعة الامتزاز القصوى (q_{max}) المقدره بوحدة ملجم/جم والانجذاب الخاص بالمواقع النشطة (K_L) المقدره بوحدة اللتر/ملجم تقدران بحوالي 43.48 ملجم/جم و 0.3372 لتر/ملجم على التوالي.

تشير المعادلات الخطية في الاشكال البيانية (8) و (9) الخاصة بعملية الامتزاز لجزيئات صبغة المثلين الأزرق MB قيمة معامل الارتباط (R^2) لنموذج لونجموير (اقرب إلى الوحدة (1.0) (Unity)) كانت أعلى من تلك الخاصة بنموذج فريندليش وعليه فإن هذا التوافق مع نموذج لونجموير يقترح أن معادلة خط نقاط تعادل الحرارة يقدم نموذج جيد للنظام وأن مستوى الامتزاز الأقصى (q_{max}) يتوافق مع الامتزاز للمادة الممتزة بشكل التشبع التجانسي ذو الطبقة الواحدة (Monolayer coverage) على سطح حبيبات مطحون بقايا البن المستهلك CCGR.

الاستنتاجات

من خلال نتائج الدراسة تم التوصل إلى مجموعة استنتاجات أهمها الدور الذي تلعبه مطحون بقايا البن المستهلك CCGR في إزالة الملوثات العضوية الملونة للمياه كالأصباغ من محلولها المائي، بحيث:

- كلما كان هناك ارتفاع في كمية المادة المازة المكونة من مطحون البن، كلما أدى ذلك إلى ارتفاع في نسبة الازالة (%) لجزيئات الصبغة من محلولها المائي.
- بارتفاع التراكيز الأولية للصبغة، فإن ذلك ينعكس تأثيرها بشكل سلبي على نسبة الازالة (%) لجزيئات الصبغة من محلولها المائي.
- إن أفضل زمن التماس لعملية الامتزاز لجزيئات صبغة المثلين الأزرق MB كانت 20 دقيقة وفقاً لظروف التشغيل.
- إن قيمة معامل الارتباط (R^2) تجعل من البيانات المتحصل عليها بأن تكون أكثر توافقاً مع نموذج لونجموير لمعادلة خط نقاط تعادل الحرارة ($R^2 = 0.982$)، من تلك الخاصة بنموذج فريندليش لصبغة المثلين الأزرق ($R^2 = 0.686$).

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- من خلال معادلة لونجموير كانت سعة الامتزاز القصوى لمطحون بقايا البن المستهلك CCGR لإمتزاز صبغة الميثيلين الأزرق MB تساوي 43.48 ملجم/جم وهي قريبة من تلك المتحصل عليها معملياً (سعة الامتزاز = 46.38 ملجم/جم - شكل 4).

- وحيث أن مطحون بقايا البن المستهلك CCGR، كمخلفات زراعية صلبة، استخدمت في هذه الدراسة كمادة يمكن تحويلها كيميائياً لتحسين سعة امتزازها، ووفيرة محلياً، من المتوقع إمكانية أن تكون عملية الامتزاز عملية اقتصادية بالدرجة الأولى لمعالجة المياه.

المراجع

- [1] Lee I., Hwang H., Lee J. (2017). Modeling approach to evaluation of environmental impacts on river water quality: a case study with Galing River, Kuantan, Pahang, Malaysia. *Ecol. Model.* 353:167–173.
- [2] Mohantray, K., Naidu, J.T., Meikap, B.C., Biswas, M.N., (2006). "Removal of Crystal Violet from Wastewater by Activated Carbons Prepared from Rice Husk." *Ind. Eng. Chem. Res.* 45: 5165-5171.
- [3] Al-Zaydien, S. Atef, (2009). "Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto a Low Cost Natural Jordanian Tripoli." *Am. J. Environ. Sci.* 5: 197–208.
- [4] Ozer, D., Dursun, G., Ozer, A., (2007). "Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution by Dehydrated Peanut Hull." *J. Hazard Mater.* 144: 171-179.
- [5] Zourro A., Fidaleo M., Lavecchia R., (2013). Response Surface Methodology (RSM) Analysis of Photodegradation of Sulfonated Diazo Dye Reactive Green 19 by UV/H₂O₂ Process. *J. Environ. Manage.*, In Press, DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.03.023.
- [6] Wu JS, Liu CH, Chu KH, Suen SY (2008) Removal of Cationic Dye Methyl Violet 2B from Water by Cation Exchange Membranes. *J Membr Sci.* 309: 239–245.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- [7] Mohammad M.A., Hassan H., Bijan B., Afshin E. (2014). Environmental Pollutants Removal from Composting Leachate Using Anaerobic Biological Treatment Process.” *International Journal of Health System and Disaster Management* 2(4): 216-219.
- [8] Jadwiga Kaleta, Dorota Papciak, Alicja Puszkarewicz, (2018). “Using Ion Exchange Process in Removal of Selected Organic Pollution from Aqueous Solutions.” *Journal of Ecological Engineering*, 19(4): 136–142,
<https://doi.org/10.12911/22998993/89662>
- [9] Yifan C., Xiaolong G., Peishan Y., Mingxin Z., Hua Z., Shunlong P., (2025). “Efficient Removal of Organic Pollutants in Reverse Osmosis Concentrate by Coupling Granular Activated Carbon Adsorption with Ozone.” *Chemical Engineering Journal Advances*, 22: 100736
- [10] Xu Ren, Ximeng Xu, Yu Xiao, Weiming Chen, Kai Song, (2019). “Effective Removal by Coagulation of Contaminants in Concentrated Leachate from Municipal Solid Waste Incineration Power Plants”, *Science of The Total Environment*, 685: 392-400.
- [11] Erol, P., Turkan, A., Serife, P., (2012). “Utilization of Barley Straws as Biosorbents for Cu²⁺ and Pb²⁺ ion.” *J. Hazard. Mater.*, 164: 982-986.
- [12] Ashly, L.P., & Thirumalisamy, S., (2012). “Adsorption of Hazardous Cationic Dyes from Aqueous Solution onto *Acacia Nilotica* Leaves as an Eco Friendly Adsorbent.” *Sustain. Environ. Res.*, 22(2): 113-122.
- [13] Segun M.A., Kayode S.I., Olorunsola M.A., Tinuade A.A., (2020). “A Review on the Influence of Chemical Modification on the Performance of Adsorbents.” *Resources, Environment and Sustainability*, 1 (2020) 100001
www.elsevier.com/locate/resenv

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة المثلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- [14] Deniz, F., & Karaman, S., (2011). "Removal of Basic Red 46 Dye from Aqueous Solution by Pine Tree Leaves." *Chem. Eng. J.*, 170: 67-74.
- [15] جمال أ. أبودية، أحلام أز سكيب، أميمة ع. عبد العزيز، (2018). " أوراق الشاي المستهلكة كمادة امتزازية رخيصة التكلفة لمعالجة المحاليل المائية الملونة بالاصباغ"، المؤتمر الأول للتلوث البحري والمياه الجوفية، 20 - 23 فبراير سنة 2018، طرابلس - ليبيا.
- [16] Xiamin, L., Yang, T., Xiuju, C., Dandan, I., Fang, I., and Wenjing, S., (2008). "Preparation and Evaluation of Orange Peel Cellulose Adsorbents for Effective Removal of Cadmium, Zinc, Cobalt, and Nickle." *Colloids and Surface A: Physiochem. Eng. Aspects*, 317: 512-521.
- [17] Amjed H. El-Sheikh, Alan P. Newman, Hafid K. Al-Daffae, Suki P., & Neil C., (2004). "Characterization of Activated Carbon Prepared from a Single Cultivar of Jordanian Olive Stones by Chemical and Physiochemical Technique." *J. Anal. App. Pyrolysis*, 71: 151-164.
- [18] Niyaz M. Mahmoodi, Bagher H., Mokhtar A.,_(2010). "Textile Dye Removal from Single and Ternary Systems Using Date Stones: Kinetic, Isotherm, and Thermodynamic Studies", *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55(11).
- [19] سعاد ع. نصر، (2018). "استغلال مخلفات البن المطحونة كمادة امتزازية في إزالة الاصباغ العضوية من الأوساط المائية" دراسة مقدمة لاستكمال متطلبات نيل درجة التخصص العالي (الماجستير) في علوم الكيمياء، الاكاديمية الليبية للدراسات العليا بجنزور، طرابلس - ليبيا.
- [20] Crawford, C.B., Quinn, B., (2017). "The Interactions of Microplastics and Chemical Pollutants." *Microplastic Pollut.* 131-157.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- [21] Abegunde, S.M., Idowu, K.S., Adejuwon, O.M., Adejolu, T.A., (2020). "A Review on the Influence of Chemical Modification on the Performance of Adsorbents", Resources, Environment and Sustainability 1 (2020) 1000001
- [22] Nurul N.R., Mimi S.M., Lee T.C., Janifal A., Suhair O., Nuramidah H., Nor H.A., Norshuhaila M.S., Roslinda A., Hasnida H. (2020). "Evolution of Adsorption Process for Manganese Removal in Water via Agricultural Waste Adsorbents." Heliyon 6(9): e05049.
doi: [10.1016/j.heliyon.2020.e05049](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05049)
- [23] Sneha Prabha Mishra, (2022). "Insights into the Recent Use of Modified Adsorbents in Removing Heavy Metal Ions from Aqueous Solution." *Bio-interface Research in Applied Chemistry*, 12(2): 1884 – 1898.
- [24] Jozefaciuk, G.; Bowanko, G. (2002). "Effect of Acid and Alkali Treatments on Surface Areas and Adsorption Energies of Selected Minerals." *Clays and clay minerals*, 50: 771 – 783.
<https://doi.org/10.1346/000986002762090308>
- [25] Rehman, A.; Park, M.; Park, S.J. (2019). "Current Progress on the Surface Chemical Modification of Carbonaceous Materials. *Coatings*, 9: 103.
- [26] Zheng, C.; Ling, Z.; Xiaobai, Z.; Zhimin, F.; An, L. (2013). "Treatment Technologies for Organic Wastewater." *Water Treat.* 11: 250–286.
- [27] Mussatto, S.I., Machado, E.M.S., Martin, S., Teixeira, J.A., (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol.* 41: 661-672.
- [28] Gouamid, G., Ouahrani, M.R., and Bensaci, M.B., (2013). "Adsorption Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics of Methylene Blue from Aqueous Solution Using Palm Leaves. *Energy Procedia* 36: 898-907.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- [29] Ramesh, S.T., Gandhimathi, R., El-Avarasti T.E., Isai T., Sowmya K., Nidheesh P.V., (2014). "Comparison of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution Using Spent Tea Dust and Raw Coir Pith." *Global NEST Journal*, 16(1): 146-159.
- [30] Mona, S., Kaushik, A. & Kaushik, C. (2013). "Prolonged Hydrogen Production by Nostoc in Photobioreactor and Multi-Stage Use of the Biological Waste for Column Biosorption of Some Dyes and Metals." *Biomass Bioenerg* 54, 27–35.
- [31] Azouaou, N., Sadaoui, Z., Djaafri, A. & Mokaddem, H. (2010). "Adsorption of Cadmium from Aqueous Solution onto Untreated Coffee Grounds: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamics." *J Hazard Mater* 184, 126–134.
- [32] Franca, A. S., Oliveira, L. S. & Ferreira, M. E. (2009). "Kinetics and Equilibrium Studies of Methylene Blue Adsorption by Spent Coffee Grounds." *Desalination* 249, 267–272.
- [33] Pavlović, M. D. *et al.* (2014). "Rapid Cationic Dye Adsorption on Polyphenol-Extracted Coffee Grounds—A Response Surface Methodology Approach." *J Taiwan Inst Chem Eng* 45, 1691–1699.
- [34] Setyono, D. & Valiyaveetil, S. (2016). "Functionalized Paper—A Readily Accessible Adsorbent for Removal of Dissolved Heavy Metal Salts and Nanoparticles from Water." *J Hazard Mater* 302, 120–128.
- [35] Hossam, S. Jahin (2010). "Adsorption of Methyl Red from Aqueous Solution Using Activated Carbon Prepared from Coffee Residue." *Inter. J. Environ.*, 3(2): 126-132
- [36] Hameed, H., Mahmoud, K., & Ahmed, I., (2008). "Sorption of Basic Dye from Aqueous Solution by Pommel Peel in a Batch System." *Colloid Surface A*. 316: 78-84.

تقييم كفاءة مطحون بقايا البن المستهلك المحور كيميائياً لإزالة الميثيلين الأزرق من محوله
المائي: دراسة تعادل الحرارة (الايزوترم)

<http://www.doi.org/10.62341/istj-vol38-2-kh27>

- [37] Satish, P., Vaijanta, D., Sameer, R., & Naseem, P., (2011). "Kinetics of Adsorption of Crystal Violet from Aqueous Solution Using Different Natural Materials." *Inter. J. Environ. Sci.*, 1(6): 1116-1134.
- [38] Gupta, V.K., (2009). "Application of Low-Cost Adsorbents for Dye Removal – A Review." *J. Environ. Mang.*, 90: 2313-2342.
- [39] Batzias, F.A., Sidras, D.K., (2004). "Dye^s Adsorption by Calcium Chloride Treated Beech Sawdust in Batch and Fixed-Bed Systems." *J. Hazard. Mater.*, B 114: 167-174.
- [40] Annadurai, G., Juang, S., & Lee, J., (2002). "Use of Cellulose-Based Wastes for Adsorption of Dyes from Aqueous Solutions." *J. Hazard. Mater.* 92: 263-274.
- [41] Ponnusami, V., Gunasekar, V., & Srivastav, N., (2009). "Kinetics of Methylene Blue Removal from Aqueous Solution Using Gulmohar (*Detonix regia*) Plant Leaf Powder: Multivariate Regression Analysis." *J. Hazard. Mater.* 169: 119-127.