



وقائع مؤتمرات جامعة سبها
Sebha University Conference Proceedings

Conference Proceeding homepage: <http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS>



دراسة إدمصاص صبغة البلورة البنفسجية من الماء باستخدام الفحم الحيوي المستمد من شجرة الزيتون

*محمد عمر سليمان¹، علي الطاهر العريفي²

¹ قسم هندسة وعلوم البيئة، الأكاديمية الليبية، مصراتة

² قسم هندسة وعلوم البيئة، الأكاديمية الليبية، طرابلس

الكلمات المفتاحية:

الأصباغ
الادمصاص
الفحم الحيوي
البلورة البنفسجية
سعة الادمصاص

الملخص

يعتبر نظام الادمصاص من أكثر الطرق الكيميائية استخداماً في التخلص من الملوثات الذائبة في الماء مثل الأصباغ. حيث يتميز هذا النظام بالفعالية العالية والتكلفة المنخفضة. بالإضافة إلى سعة ادمصاص عالية للمواد المازة. في هذه الدراسة، تم استخدام الفحم الحيوي المحلي المستمد من حطب الزيتون كمادة ادمصاص لجزيئات البلورة البنفسجية (crystal violet) من المحاليل المائية. تم إجراء دراسة توصيف المادة المازة باستخدام التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (FTIR)، والتحليل بالمجهر الإلكتروني الضوئي (SEM). تم تقييم بعض العوامل التي تؤثر على نظام الادمصاص، مثل زمن الرج، والتراكيز الأولية للصبغة، كمية الفحم الحيوي ودرجة الأس الهيدروجيني. تم تحليل تركيزات الصبغة المتبقية في المحلول بعد الادمصاص بواسطة مقياس الطيف الضوئي المرئي للأشعة فوق البنفسجية (UV-visible). تشير النتائج المتحصل عليها إلى أن، أفضل ظروف الادمصاص كانت عند زمن رج 60 دقيقة، تركيز الأولي للصبغة 50 ملجم/ لتر، كمية الفحم 0.3 جرام، عند سرعة رج ثابتة قدرها 250 دورة في الدقيقة باستخدام حجم المحلول الكلي 50 مل. تم الحصول على سعة ادمصاص عظمي لإزالة الصبغة بواسطة الفحم الحيوي وقدرها 8.93 ملجم/جرام.

A Study of adsorption of crystal violet dye from water using biochar derived from olive tree

*Mohamed Sulyman¹, Ali Alareefi²

¹ Department of Environmental Science and Engineering, The Libyan Academy, Misrata, Libya

² Department of Environmental Science and Engineering, The Libyan Academy, Tripoli, Libya

Keywords:

Dyes
Adsorption
Biochar
Crystal Violet
Adsorption Capacity

ABSTRACT

Adsorption system is one of the most widely used chemical methods for removing dissolved pollutants from water, such as dyes. This system is characterized by its high efficiency and low cost, in addition high adsorption capacity of the adsorbent. In this study, local biochar derived from olive waste cake was used as an adsorbent for the removal of crystal violet from aqueous solutions. The adsorbent characterization study was performed using four-transform infrared (FTIR) spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). Some factors affecting the adsorption rate were evaluated, such as contact time, initial dye concentrations, amount of biochar, and pH. The remaining dye concentrations in the solution after adsorption were analyzed using an ultraviolet-visible (UV-visible) spectrophotometer. The results obtained indicate that the best adsorption conditions were achieved at a contact time of 60 min, an initial dye concentration of 50 mg/L, a charcoal content of 0.3 g. The maximum adsorption capacity for dye removal by biochar was found to be 8.93 mg/g.

1. المقدمة

للمياه [1]. هناك أكثر من عشرة آلاف حالة وفاة يوميا حول العالم مرتبطة بمسألة تلوث المياه كما أوضحتها الدراسة البحثية [2]. لازالت نسبة المياه المعالجة نتيجة التلوث ضئيلة حيث أشارت احدي الأبحاث العلمية بأنه تم معالجة 20% من المياه الملوثة علي مستوي العالم. في حين أن الدول النامية

بشكل عام وفي هذا العصر، تعتبر مشكلة تلوث المياه واحدة من التحديات التي تواجه العالم، وبشكل خاص في تلك الدول التي لا تستخدم أساليب المعالجة عالمياً، تشير الأبحاث العلمية إلى أن هناك ملايين الأطنان من المخلفات الناتجة عن عمليات التصنيع تقذف يوميا إلى المصدر الرئيسي

*Corresponding author:

E-mail addresses: mohsuly.2020@gmail.com, (A. Alareefi) ali.ta.libya@gmail.com

Article History : Received 20 February 2025 - Received in revised form 01 September 2025 - Accepted 07 October 2025

الخضراوات نباتات مثل الخيار، والخس، والبطيخ، والبطاطس، والكوسا، والطماطم. وعادةً ما يكون محتوى الرطوبة (على أساس الرطوبة) لهذه المخلفات أكبر من 90%. تشمل مخلفات محاصيل المشاتل بقايا التقليم والقصاصات المأخوذة من النباتات أثناء نموها وتجهيزها للتسويق. هناك أكثر من 30 نوعًا مختلفًا من محاصيل المشاتل (مثل الزهور والنباتات الداخلية، إلخ) المزروعة. يعتمد محتوى الرطوبة في هذه المخلفات عادةً على نوع المحصول المزروع. حيث يولد قطاع الزراعة كميات هائلة من النفايات، علي سبيل المثال، كمية مخلفات المحاصيل المتوفرة في الهند وحدها تقدر بحوالي 620 مليون طن. وتشمل هذه المخلفات الأرز والقمح والذرة والقطن وبذور الزيت وقصب السكر حيث يتم التخلص من نصف هذه الكمية بطريقة الحرق في الموقع. نفايات الخضراوات من قشور البطاطس هي أيضًا نفايات ذات قيمة اقتصادية صفرية حيث تتراكم حول مصانع معالجة البطاطس [9]. يقدر أكثر من 20 مليون طن كوزن جاف من ساق القطن تتولد سنويًا كمخلفات صلبة طبيعية في الصين [10]، هذه المخلفات تم استخدامها في ادمصاص صبغة المثلين الأزرق من الماء [11].

علاوة على ما سبق، يمكن القول بان مصدر المخلفات الزراعية ومخلفات صانعة الأغذية يمكن ان تلعب دورا مهماً في إنتاج الفحم الحيوي كبديل متجدد لغرض استخدامه في معالجة المياه. من ناحية أخرى، تولد عمليات تقليم شجرة الزيتون الكثير من الأغصان والأفرع من وقت إلى آخر. هذه الكميات الهائلة المتولدة نتيجة تحسين شجرة الزيتون ليس لها قيمة تكنولوجية حيث يتم تحويل تلك الحطب إلى فحم نباتي عن طريق استخدام طريقة التقطير التلافي للخشب. هذه الطريقة تتم بواسطة المزارعين باستخدام ما يسمى (بالمردومة). بشكل عام، تعتبر عملية الكرنبة من أقدم العمليات التي عرفها الإنسان بحيث سمحت له بتحويل الأشجار والنباتات إلى مواد حيوية متفحمة، حيث قام القدماء بجمع أغصان الأشجار والنباتات على هيئة أكوام هرمية وتغطيتها بالتراب مع جعل فتحة مركزية أعلى الكومة الهرمية. عند حرق المحتوى الداخلي بشكل بطيء، يتم تحرير كمية من المحتوى المائي والمواد المتطايرة والخروج من تلك الفتحة المركزية [12]. من وقت طويل تم استخدام الفحم الحيوي في عدد من التطبيقات من أهمها استخداماته كمواد مازة تعمل على إزالة الملوثات الضارة مثل الملوثات غير العضوية والعضوية وآلية امتصاصها من الماء [13].

3.1. المواد وطريقة العمل

في هذه الدراسة تم تجميع الفحم الحيوي المستمد من شجرة الزيتون باحدي المزارع بمدينة زليتن ومن ثم نقلت إلي مكان الدراسة ليتم غربلتها للحصول علي حجم حبيبات مناسب ذات مقاس 0.1 الي 0.250 ملم وتنشيطها بمحلول هيدوكسيد الصوديوم ومن ثم استخدامها كمادة ادمصاص لصبغة البلورة البنفسجية ودراسة تأثير الظروف التشغيلية علي معدل ادمصاص مثل التركيز الأولي للصبغة وكمية الفحم المضافة والأس الهيدروجيني. بالإضافة إلي تقييم كفاءة ادمصاص للبلورة البنفسجية بواسطة الفحم الحيوي. تم أيضا مقارنة نتائج هذه الدراسة مع الدراسات السابقة ذات العلاقة بطبيعة الدراسة.

4.1. الأجهزة والأدوات والمواد المستخدمة

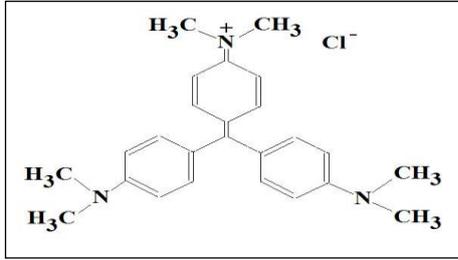
في هذه الدراسة، تم استخدام عدد من الأجهزة والأدوات نذكر منها علي:

1. جهاز مطياف الأشعة تحت الحمراء (Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy)، لغرض التعرف علي المجموعات الوظيفية المتواجدة

يتم فيها التخلص من النفايات الصناعية السائلة بنسبة 70% بطرق غير صحيحة [3]. تعتبر الأصباغ العضوية من أهم الملوثات الناتجة عن الأنشطة الصناعية نظرا للدور الذي تلعبه تلك المواد في عمليات التلوين حيث تساهم بشكل كبير في الصناعات النسيجية، المستحضرات التجميلية، الورق، دباغة الجلود، الطلاء، وأيضا كمضاف إلي الصناعات البتر وكيميائية [1]. حيث يقدر استهلاك الأصباغ الصناعية في صناعة الغزل والنسيج حول العالم الي 100000 طن سنوياً، وانه 10-15% من هذه الأصباغ يتم تصريفها مباشرة كنفايات سائلة خلال عمليات الدباغة [4]. من ناحية أخرى، يتم استهلاك حوالي من 70 الي 150 لترًا من الماء لغرض تلوين كيلوغرام واحد من القطن بواسطة الأصباغ الفعالة [5]. من الناحية الكيميائية، تعتبر الملوثات الناتجة بفعل الصناعة وخاصة صناعة النسيج ضارة للحياة البشرية والبيئة المائية لاحتوائها علي مواد سامة وضارة وأيضا غير قابلة للتحلل الحيوي وبالتالي تتراكم مسببة أضراراً صحية بالغة [6]. في السنوات الأخيرة ازداد الاهتمام والتركيز علي الأبحاث والدراسات العلمية المهتمة بقضايا المياه والبيئة ومحاولة استخدام تقنيات متعددة للتخلص من الملوثات الذائبة في الماء. من أهم تلك التقنيات هي، الترسيب الكيميائي، التبادل الأيوني، استخدام الأغشية، التحلل الكهربائي، الأكسدة الكيميائية، التبخير [7]. نظرا للتكلفة العالية وكذلك المخلفات الناتجة من تصنيع وتطبيق تلك التقنيات، أصبحت تقنية ادمصاص من أفضل تلك الطرق في المعالجة. حيث تتميز ببساطة التصميم وسهولة التطبيق وانخفاض التكلفة. إن أكثر المواد استخداما في عمليات معالجة المياه الملوثة بواسطة تقنية ادمصاص هو الكربون المنشط التجاري، لأنه يتمتع بكفاءة ادمصاص ومساحة سطحية عالية. ولكن من عيوب الكربون المنشط التجاري هي التكلفة المرتفعة [7]، والحصول عليه من مصادر غير متجددة كالنفط، والإسفلت. من أجل تقليل التكلفة المادية للمواد المازة، يتم استخدام مواد النفايات الزراعية منخفضة التكلفة بما في ذلك بقايا المحاصيل، والغابات، والعديد من المواد الغذائية لإنتاج الفحم الحيوي. في السنوات الأخيرة زاد اهتمام الباحثين بالدراسات العلمية المتعلقة بتحضير الفحم الحيوي، وأصبحت أيضا بديلا ناجحا عن المواد المازة التجاري [7, 8]، أثبتت الدراسات العلمية بأن النفايات الزراعية تعتبر مصدراً متوفراً وكميات كثيرة وليست لها قيمة اقتصادية أو تطبيقات تقنية وبالتالي فهي رخيصة التكلفة مقارنة بالكربون المنشط التجاري.

2.1. المخلفات الزراعية (كنموذج للكتلة الحيوية)

يمكن تصنيف المخلفات الزراعية إلى محاصيل حقلية وبذرية، ومحاصيل فاكهة ومكسرات، ومحاصيل خضروات، ومحاصيل مشاتل. مخلفات المحاصيل الحقلية والبذرية هي المواد المتبقية فوق سطح الأرض بعد الحصاد، بما في ذلك قش الشعير والفاصوليا والشوفان والأرز والقمح، وسيقان الذرة والقطن وفول الصويا والبرسيم. يتراوح محتوى الرطوبة لهذه المخلفات بين 8% و 80%. في حين تشمل مخلفات محاصيل الفاكهة والمكسرات وتقليمات البساتين والأغصان. حيث تشمل أنواع محاصيل الفاكهة والمكسرات اللوز، والتفاح، والمشمش، والأفوكادو، والكرز، والتمر، والتين، والعنب، والليمون، والليمون الحامض، والزيتون، والبرتقال، والخوخ، والإجاص، والجوز. تتراوح نسبة الرطوبة لهذه المخلفات بين 35% و 55%. من ناحية أخرى، تتكون مخلفات محاصيل الخضراوات في الغالب من الكروم والأوراق التي تبقى على الأرض بعد الحصاد. وتشمل أنواع محاصيل



شكل 1: يوضح الصبغة البنائية لصبغة البلورة البنفسجية [11].
6.1. التجارب المعملية

أجريت تجارب الادمصاص وفق الطريقة المشار إليها الباحث شعيب 2023م. حيث تمت في درجة حرارة الغرفة باستخدام النظام الديناميكي بواسطة الدفعة الواحدة. تم إجراء التجربة المعملية كلاني: خليط من 0.1 جرام من الفحم المحضر بحجم حبيبات 0.1 ملم و 50 مل من محلول الصبغة باستخدام دوارق قياسية سعة 250 مل، بمعدل رج 250 دورة في الدقيقة، التركيز الأولي للصبغة قدره 70 ملجم/لتر، لمدة 30 دقيقة. تم إجراء كل تجربة ثلاث مرات تحت نفس الظروف واعتماد القيمة المتوسطة لها. بعد إنهاء كل تجربة من تجارب الادمصاص، تم تحديد التركيز المتبقي للصبغة في كل عينة بواسطة التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية بعد استخدام وحدة الترشيح بواسطة ورق الترشيح. تم حساب سعة الادمصاص عند التوازن (q_e (mg/g) من خلال ايزوترم الامتزاز والمتمثل بالمعادلة (2) [8]. في حين يتم حساب كفاءة الفحم عن طريق حساب النسبة المئوية لإزالة جزيئات الصبغة من خلال المعادلة (3) [8]. يمكن وصف عملية الامتزاز باستخدام ايزوترم الامتزاز والذي يمثل العلاقة بين كمية المادة الممتزة على سطح المادة المازة وتركيز المادة الممتزة في المحلول عند الاتزان. حيث يتم الحصول على تلك العلاقة (المنحني) من التجارب المعملية التي تجري في ظروف معينة. وان قيمة التركيز النهائي عند الاتزان يحسب من خلال منحي المعايرة بالاعتماد على لامتنصابية.

$$q_e = (C_0 - C_e) \times (V / W) \quad (2)$$

حيث C_0 و C_e هما التركيز الأولي والنهائي للصبغة على التوالي بوحدة (mg/l)، V هو حجم المحلول (L) و W هي كمية الفحم الجافة المستخدمة (g). أيضا يتم حساب النسبة المئوية للإزالة R (%) باستخدام المعادلة التالية:

$$R (\%) = ((C_0 - C_e) / C_0) \times 100 \quad (3)$$

7.1. تقييم ظروف عملية الادمصاص

1.7.1. تأثير كمية الفحم الحيوي

يلعب تأثير كمية الفحم على معدل الادمصاص دور بارزا ويؤثر بشكل مباشر على نسبة الإزالة للملوثات من المحلول السائل لأن من خلالها يتم تقدير كفاءة المادة المازة ومدى قدرتها على الادمصاص [14]. في هذه الدراسة تم تقييم هذا العامل عن طريق وزن كميات مختلفة من الفحم الحيوي في المدى (0.1 - 0.5) جرام وإضافتها إلى 50 مل من محلول الصبغة بتركيز 70 (mg/l) عند سرعة رج قدرها 250 دورة/دقيقة ولفترة زمنية قدرها 30 دقيقة.

2.7.1. تأثير تركيز المادة الممتزة

يعد تركيز الصبغة الأولي أحد المتغيرات المهمة التي تؤثر على حركية الامتزاز [7]. تم تقييم تأثير التركيز الأولي للصبغة بواسطة رج 0.3 جرام من الفحم المحضر في محلول 50 مل من تراكيز مختلفة من صبغة البلورة تتراوح من 10 إلى 80 ملجم/لتر عند درجة حرارة الغرفة وسرعة رج ثابتة قدرها 250 دورة

على سطح المادة المازة (الفحم الحيوي)، موديل (TENSOR-27) ومُصنَع بألمانيا من قبل شركة (BRUKER).

2. مطياف الأشعة فوق البنفسجية/المرئي (UV / VIS spectrophotometer) لغرض قياس تركيز صبغة البلورة البنفسجية (CV) عند طول موجي (λ_{max}) يقدر بحوالي 584 نانومتر.

3. جهاز قياس درجة الأس الهيدروجيني (pH) من نوع (Inolab 740). وذلك لغرض قياس درجة الأس الهيدروجيني للمحاليل المستعملة.

4 جهاز هزاز من نوع (GFL 3005 model, Germany) لاستعماله في تقنية الادمصاص.

5. ميزان حساس من نوع (Sartorius competence CP224S, Germany) له قراءة دقيقة.

7. مجموعة من الأدوات الزجاجية المتنوعة كالدوارق القياسية مختلفة الأحجام، دوارق مخروطية سعتها 250 مل وأنباب اختبار وأقماع وكؤوس.

5.1. تجهيز المادة المازة والمادة الممتزة

أولا بالنسبة للمادة المازة: تم تجميع الفحم الحيوي المستمد من شجرة الزيتون من احدي المزارع بمدينة زليتن ووضع حوالي 2 كيلوجرام من الفحم في حاوية بلاستيكية ونقل الي مكان إجراء العمل. وبعد ذلك تمت عملية الغسيل والطحن. بعد ذلك تم تجفيف الفحم بوضعها في مكان جاف ومعرضة إلي أشعة الشمس لمدة لا تقل عن أسبوع ومن ثم جففت باستعمال فرن التجفيف عند درجة حرارة 100 درجة مئوية لمدة ثلاثة أيام. بعد عملية التجفيف تمت عملية الغريلة باستخدام منظومة الغريال والحصول علي قطر حبيبي للفحم 0.1 ملم – 0.250 ملم. يلي ذلك تم وضع حوالي 200 جرام من مسحوق الفحم ولف بواسطة ورق الألومنيوم الحراري ووضع في الفرن عند درجة حرارة 750 درجة مئوية لمدة 60 دقيقة. تم بعد ذلك، يترك الفحم حتى يبرد وتم تخزينه حتي الحاجة إليه في عملية الادمصاص. كما تم دراسة بعض الخصائص الفيزيائية للمادة المازة وتشمل: التحليل الحراري (thermogravimetric analysis). جهاز مطياف فورير للأشعة تحت الحمراء للتعرف علي المجموعات الوظيفية علي سطح المادة المازة.

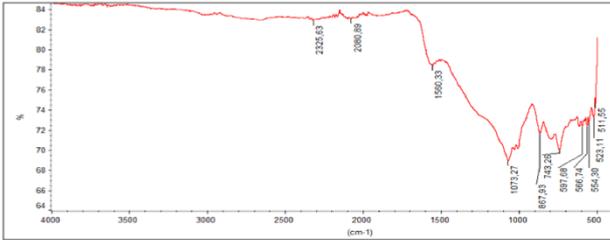
ثانياً: تحضير المادة الممتزة: في هذه الدراسة، تم استعمال صبغة البلورة البنفسجية كنموذج للمادة الممتزة والتي تم الحصول عليها تجارياً من الشركة الانجليزية المحدودة.

تعتبر صبغة البلورة البنفسجية (CV) مركب عضوي كاتيوني ثلاثي ميثيل الفينيل (Tri-phenyl methyl carbon) وله تركيبة كيميائية ($C_{22}H_{30}N_3Cl$)، طول موجي ($\lambda_{max} = 584$ نانومتر). تم تحضير المحلول القياسي من الصبغة بإذابة 1000 مليجرام من الصبغة الصلبة في واحد لتر. ومنه تم تحضير التراكيز المختلفة بالاعتماد على صبغة التخفيف الموضحة بالعلاقة (1). في حين أن الصبغة البنائية لصبغة البلورة لنبفسجية موضحة بالشكل (1).

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (1)$$

حيث: C_1 و C_2 هما التركيز الابتدائي (قبل التخفيف) والتركيز لنهاي (بعد التخفيف) للصبغة بوحدهات مليجرام/لتر، V_1 و V_2 الحجم بوحدة مل.

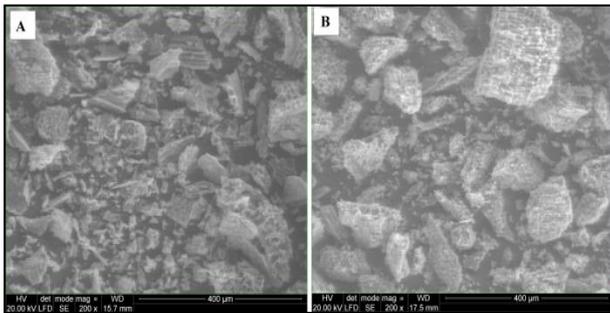
النباتي المختصة بعملية الامتزاز لصبغة البلورة البنفسجية (CV) عند نطاق طيفي من 500 سم⁻¹ إلى 4000 سم⁻¹. وكما هو موضح في الشكل (2) فإن عينة المادة المازة تعرض حافة اهتزاز عند 1560 سم⁻¹ والتي غالباً ما تنسب إلى حافة الاهتزاز التمديدي Extensive vibration peak لمجموعة الهيدروكسيل الترابطية (OH-) للكحوليات [17]. في حين، الحافة عند المنطقة ما بين 837-1458 سم⁻¹ تشير إلى وجود مجموعات وظيفية لكل من الاستيرات (Esters) والايثيرات (Ethers) [18]. إن وجود هذه المجموعات الوظيفية غالباً ما تكون مسنولة على عمليات الترابط الامتزازي بين المادة المازة والمادة الممتزة. نتائج جهاز (FTIR) موضحة بالشكل 2.



شكل 2: يوضح نتائج جهاز (FTIR).

التحليل بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM)

يُعد المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) تقنية مفيدة لتوصيف مورفولوجيا سطح المادة المازة [9]. يُعرض الشكل (3) صور مورفولوجية للفحم الحيوي المستمد من الزيتون بعد وقبل التعرض الي التنشيط الحراري عند درجة 750 درجة مئوية لمدة 60 دقيقة. في البداية كان سطح المادة (الفحم) غير منتظم وخشن (الشكل 3-a). في حين أظهرت صور المجهر الإلكتروني الماسح بعض المسام على سطح المادة المازة وهي الفحم بعد تعرضه للتسخين عند درجة حرارة عالية كما موضح بالشكل (3-b). وفرت هذه الظروف سطحاً جيداً لإزالة جزيئات البلورة من الماء. هناك نتائج مشابهة بالدراسات السابقة منها [8, 19].



شكل 3: يوضح نتائج جهاز SEM

3.1.2. تقييم عملية الادمصاص

في هذه الدراسة تم اعتماد اربعة متغيرات ذات اهمية مباشرة علي معدل الادمصاص وتشمل التركيز الاولي لصبغة البلورة البنفسجية، كمية الفحم الحيوي المستمد من شجرة الزيتون وزمن الرج والاس الهيدروجيني. وبالتالي فان مصفوفة تقييم التجارب العملية كانت كما هو موضح بالجدول (1).

جدول 1: يوضح مصفوفة تقييم التجارب العملية

المتغير	الوحدة	قيم المتغيرات
التركيز الأولي للبلورة البنفسجية	مليجرام/لتر	80-10
كمية الفحم الحيوي	جرام	1.0-0.1
زمن الرج	دقيقة	90
الأس الهيدروجيني	---	10.4

4.1.2. تقييم كمية المادة المازة علي معدل الادمصاص

في الدقيقة، و محلول الأس الهيدروجيني (4 - 10.0) لمدة زمنية قدرها 30 دقيقة.

3.7.1. تأثير زمن الرج

تعد الفترة الزمنية الكافية لعملية الادمصاص أيضاً عاملاً مؤثراً للاهتمام لدراسة التصميم الاقتصادي لمعالجة المياه الملوثة. تم وزن 0.3 جرام من مسحوق الفحم وإضافته إلى ستة قوارير مخروطية مختلفة تحتوي على 50 مل من محلول الصبغة لأفضل تركيز أولي والتي تم اختيارها من الخطوة السابقة. يتم تحريك العينات عند سرعة رج ثابتة 250 دورة في الدقيقة لزمن ادمصاص من 5 إلى 90 دقيقة عند درجة حرارة الغرفة. ثم تمت تصفية محتوى كل عينة باستخدام الترشيح البسيط بواسطة ورق الترشيح وتم تحليل السائل المرشح بواسطة التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية/المرئية. أخيراً، تم استنتاج الظروف المثلى لعملية الادمصاص.

4.7.1. تأثير درجة الأس الهيدروجيني

من أهم المتغيرات التي تؤثر بشكل كبير علي معدل الادمصاص هو درجة الأس الهيدروجيني. حيث تم تقييم ذلك بواسطة استخدام درجة أس هيدروجيني متغيرة (4-10).

8.1. نماذج الادمصاص

نموذج لنقمر Langmuir model

اشارت النظرية لهذا النموذج علي انه يحدث الامتزاز علي عدد ثابت ومتشابه من المواقع حيث لها القدرة علي امتزاز جزئ واحد فقط وتشكيل طبقة أحادية من الامتزاز والتي تمثل القيمة العظمي للامتزاز، وانه لا توجد حركة جانبية للجزيئات علي السطح وان سطح الامتزاز متجانس ولا يوجد أي تفاعل بين الجزيئات أو الايونات الممتزة. المعادة الخطية للنموذج موضحة بالصيغة التالية [15]:

$$C_e/q_e = (1/b q_{max}) + (1/q_{max}) \times C_e \quad (4)$$

حيث: q_e كمية المادة الممتزة بالمليجرام لكل جرام من المادة المازة عند الاتزان. q_{max} تمثل القيمة القصوى للادمصاص بوحدات مليجرام من مادة الادمصاص لكل جرام من المادة المدمصة والتي يمكن إيجادها من خلال الميل الواقع علي الرسم البياني لنموذج لنقمر. b تمثل ثابت الاتزان لنموذج لنقمر بوحدات (L/mg) وتحسب من خلال الامتداد علي الرسم البياني. C_e تمثل تركيز المادة الممتزة عند حالة لاتزان بوحدات المليجرام/لتر.

نموذج فرندلج Freundlich model

يستخدم هذا النموذج علي نطاق واسع لوصف الامتزاز علي السطوح الصلبة غير المتجانسة وكذلك ادمصاص متعدد الطبقات. يعرف نموذج فرندلج بالمعادة التالية [16]:

$$\ln q_e = \ln K_f + (1/n) \ln C_e \quad (5)$$

حيث: K_f تمثل قيمة ثابت فرندلج ويتم تقديرها من الرسم البياني. $1/n$ يعبر عن معامل عدم التجانس وان قيمة n ترمز إلي شدة الامتزاز ويكون الامتزاز جيداً في حالة وقوع القيمة في المدى بين (2-10)

2. النتائج والمناقشة

1.2. توصيف المادة المازة

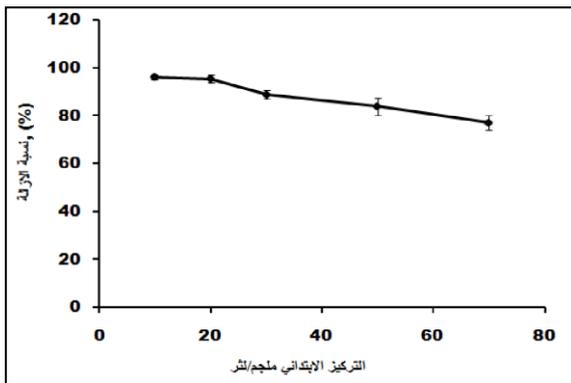
1.1.2. التعرف علي المجموعات الوظيفية علي سطح الفحم.

تم استخدام مطياف القياس بالأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه (FT-IR) لغرض دراسة المعالجة الحرارية لتركيبية الفحم النباتي، بالإضافة للتعريف بالمجموعات الوظيفية على أسطح المادة المازة المكونة من الفحم

تم تقييم العلاقة بين تراكيز مختلفة من صبغة البلورة البنفسجية تشمل (10، 20، 30، 50، 70) ملجم/لتر وكفاءة الامصاص عند درجة حرارة الغرفة، سرعة رج ثابتة قدرها 250 دورة/دقيقة، وفترة زمنية 30 دقيقة ودرجة الأس الهيدروجيني للمحلول كانت (7.5) في حجم محلول كلي ثابت قدره 50 مل. من خلال الشكل البياني (5) يمكن الملاحظة بان نسبة الإزالة لجزيئات الصبغة كانت مرتفعة على نحو شبه ثابت عند بداية عملية الامتزاز (عند تراكيز منخفضة) حتى تراكيز أولية من محلول الصبغة قدره 30 ملجم/لتر. يلي ذلك، يحدث انخفاض في نسبة الإزالة لجزيئات الصبغة في المحلول بزيادة تركيز الصبغة من حتى تركيز 70 ملجم/لتر. على خلاف ذلك، ارتفعت كمية الصبغة الممتزة لكل وحدة كتلة من الفحم الحيوي (qe) مع الزيادة في تركيز الصبغة حيث زادت قيمتها من 1.6 إلى 8 مليجرام لكل جرام. يمكن أن ينسب الارتفاع في نسبة الإزالة عند التراكيز المنخفضة لجزيئات الصبغة إلى أن جميع جزيئات الصبغة المتواجدة في المحلول عند التراكيز اقل من 30 مليجرام/لتر تتداخل مع المواقع النشطة الموجودة على سطح المادة المازة. وعلى خلاف ذلك، عند التراكيز العالية من الصبغة في نفس الحجم من المحلول وكذلك نفس الكمية من المادة المازة، كانت كل المواقع النشطة على سطح المادة المازة قد تشبعت بجزيئات المادة الممتزة والوصول إلى حالة التشبع. وبالتالي فان زيادة التركيز الابتدائي للصبغة في المحلول يصاحبه زيادة في التركيز المتبقي في المحلول [24، 21]. إن الارتفاع الملحوظ في السعة الإمتزازية لجزيئات المادة الممتزة على سطح المادة المازة إلى حقيقة أن التراكيز الأولية من المادة الممتزة تعمل على تزويد قوى دافعة تساهم في التغلب على مقاومة انتقال الكتلة لجزيئات المادة الممتزة بين الطور السائل والطور الصلب.

جدول 3: يوضح تأثير التراكيز الأولية لصبغة البلورة البنفسجية على معدل الامتصاص.

سعة الامتصاص بالمليجرام/جرام	نسبة الإزالة %	التركيز النهائي بالمليجرام/لتر	التركيز الابتدائي بالجرام
1.612	96.7	0.33	10
3.183	95.5	0.9	20
4.49	89.8	3.06	30
7.08	85.2	7.4	50
8.167	77.4	21.48	70



شكل 5: تأثير التراكيز الأولية لصبغة البلورة البنفسجية على معدل الامتصاص

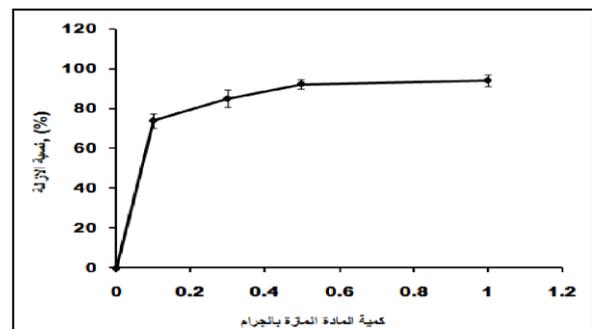
6.1.2. تأثير زمن الرج على معدل الامتصاص

النتائج التي تم الحصول عليها من تقييم زمن الرج على معدل الامتصاص موضحة في الجدول (4) والشكل (6). يمكن ملاحظة أن كفاءة الامتصاص قد ازدادت في البداية بسرعة مع الزيادة في زمن الرج من 5 إلى 30 دقيقة، ثم

بشكل عام، فإنه ترتفع نسبة إزالة المادة الملوثة على سطح المادة المازة في المحلول بزيادة كمية مادة الامتصاص وذلك نظراً لزيادة عدد المواقع النشطة على سطح مادة الامتصاص وكذلك زيادة المساحة السطحية. ولكن تؤدي الزيادة الإضافية في كتلة المادة المازة إلى انخفاض في كفاءة الإزالة. يمكن توضيح ذلك من خلال العلاقة العكسية التي تحدث بين جرعة الممتزات وقدرات وحدة الامتزاز وفقاً لمعادلة الامتصاص (3). بالإضافة إلى ذلك، فإن الزيادة المفرطة في كمية المواد المازة سوف يساهم في تجمع وتكتل المواد المازة في المحلول المائي للصبغة، مما يؤدي إلى تقليل المواقع النشطة الشاغرة. ينتج عن هذا التجميع انخفاض في إجمالي مساحة السطح المتاحة ويؤثر أيضاً على زيادة طول مسار الانتشار [20]. وفقاً للنتائج التي تم الحصول عليها من تقييم كمية الفحم الحيوي على كفاءة الامتصاص بواسطة الفحم، يمكن استنتاج أن النسبة المثوية لإزالة الصبغة تزداد بسرعة مع زيادة كمية الفحم. على سبيل المثال، ازدادت نسبة الإزالة لجزيئات صبغة البلورة لبنفسجية (CV) من 74% إلى حوالي 92% عندما تزداد كمية الفحم من 0.1 إلى 0.5 جرام. يلي ذلك يبدأ معدل الامتزاز للجزيئات بالبطء حتى كمية من المادة المازة 1.0 جرام حيث سجلت نسبة الإزالة 94.0%. يشير هذا إلى أن معدل الامتصاص قد انتهى تقريباً بعد استخدام 0.5 جرام من الفحم عند حجم محلول ثابت وكذلك تركيز ثابت من الصبغة وهما 50 مل و 50 مليجرام/لتر، على التوالي. وقد يكون أيضاً بسبب تشبع المساحات الخالية [21، 22]. في حين انخفضت سعة الامتصاص مع الزيادة في كمية الفحم حيث انخفضت من 18 مليجرام/جرام إلى 2.35 مليجرام/جرام عندما زادت كمية الفحم من 0.1 جرام إلى 1.0 جرام. يمكن تفسير هذا السلوك، نتيجة تداخل أو تجميع مواقع الامتزاز مما أدى إلى انخفاض في إجمالي مساحة سطح الامتصاص المتاحة. نفس السلوك اشارت إليه مجموعة من الدراسات السابقة، على سبيل المثال ازالة جزيئات صبغة المثلين الأزرق على مسحوق مخلفات طحن تمار الزيتون الجافة [9]، وكذلك نشارة الخشب في ادمصاص صبغة الميثيلين الأزرق [23].

جدول 2: يوضح نتائج تقييم كمية المادة المازة على معدل الامتصاص

كمية الفحم بالجرام	نسبة الإزالة %	التركيز النهائي بالمليجرام/لتر	سعة الامتصاص بالمليجرام/جرام
0.1	74	13	18.5
0.3	85	7.5	7.01
0.5	92	4.0	4.60
1.0	94	3.0	2.35



شكل 4: يوضح نتائج تقييم كمية المادة المازة على معدل الامتصاص

5.1.2. تأثير التراكيز الأولية لصبغة البلورة البنفسجية على الامتصاص

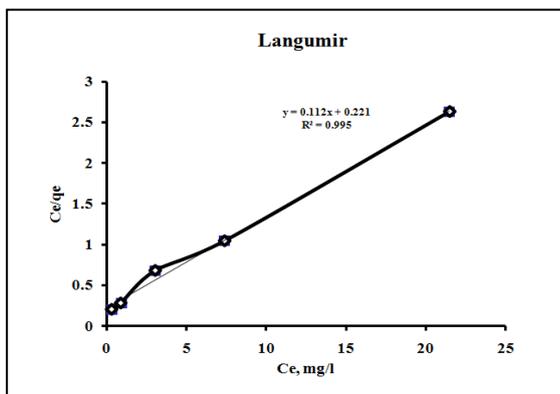
2.2. تعادل الحرارة – الايزوترم (Isotherms Studies)

1.2.2. معادلتى خط نقاط تعادل الحرارة

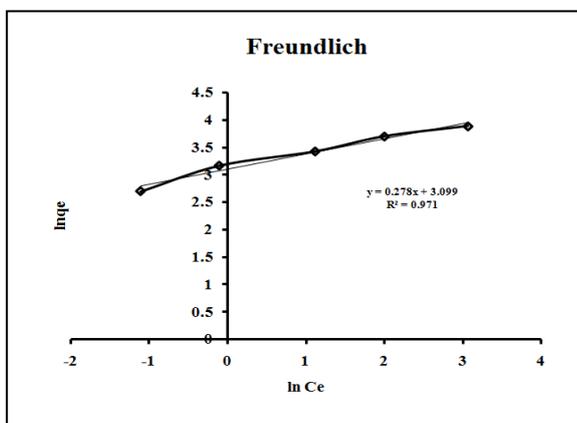
يوضح كل من الشكل (7) و (8) الرسوم البيانية الخطية التي تم الحصول عليها من خلال علاقة (C_e/q_e) مع (C_e) لنموذج لونغمير و $(\ln q_e)$ مع $(\ln C_e)$ لنموذج فرنديلج. من الرسم البياني تم الحصول على الثوابت لكل من النموذجين وكذلك سعة الامتصاص العظمي لصبغة البلورة البنفسجية بواسطة الفحم الحيوي. فيما يتعلق بنموذج لونغمير، هنالك ثابتان يمثلان سعة الامتصاص العظمي (q_{max}) بوحدة (mg/g) والانجذاب الخاص بالمواقع النشطة (b) بوحدة (L/mg) . من خلال العلاقة بين (C_e/q_e) مع (C_e) ، تم الحصول على (q_{max}) 8.93 ملجم/جم. بينما تم تقدير قيمة الانجذاب الخاص بالمواقع النشطة (b) بقيمة 0.5068 لتر/ملجم. في حين أن نموذج فرنديلج، يمكن الإشارة إلى إن قيمة الثابت (K_f) بوحدة (مليجرام/جرام) وقيمة الثابت (n) بوحدة (l/mg) يمثلان كل من سعة الامتصاص، وشدة الامتصاص على التوالي. من خلال النتائج المتحصل عليها والموضحة في الجدول (6) يمكن ملاحظة أن قيمة الثابت (n) كانت (3.597)، الأمر الذي يشير أن عملية الامتصاص تمت بشكل جيدة.

جدول 6: يعرض ثوابت نماذج تعادل الحرارة.

المادة الممتزة (صبغة البلورة البنفسجية)					
نموذج فرنديلج			نموذج لونغمير		
R^2	n (L/mg)	K_f (mg/g)	R^2	b (L/mg)	q_{max} (mg/g)
0.971	3.5971	33	0.995	0.5068	8.93



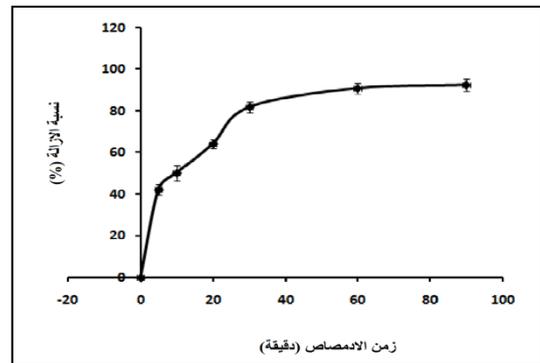
شكل 7: يوضح نتائج العلاقة الخطية لنموذج Langmuir.



شكل 8: يوضح نتائج العلاقة الخطية لنموذج Freundlich

3. الاستنتاج

استمر الامتصاص ببطء حتى وصلت إلى التشبع عند 90 دقيقة في الظروف المستخدمة لعملية الامتصاص مع نسبة إزالة 91%، في حين وُجدت سعة الامتزاز 7.6 ملجم/جم. وبالتالي، يمكن أن نعتد 90 دقيقة هو الزمن الأمثل للوصول إلى حالة الاتزان باستخدام الفحم الحيوي كمادة امتصاص لصبغة البلورة البنفسجية من الماء. هذه النتائج تتفق مع عدد من الأبحاث والدراسات العلمية [25, 26, 27]. إن سرعة الامتصاص كانت سريعة في البداية نظراً لتوفر المساحة السطحية للفحم بشكل اوفر [7] وايضا التغلب على مقاومة انتقال الكتلة المنقولة للأصبغ بين الطورين السائل والصلب. [2521].



شكل 6: تأثير زمن الرج على معدل الامتصاص.

جدول 4: يوضح نتائج تأثير زمن الرج على معدل الامتصاص (نسبة الإزالة وسعة الامتصاص).

سعة الامتصاص بالملجم/جرام	نسبة الإزالة %	التركيز النهائي بالملجم/لتر	زمن الرج بالدقيقة
3.51	42	29	5
4.20	50	25	10
5.33	64	18	20
6.83	82	9	30
7.58	91	4.5	60
7.87	92	4.05	90

7.1.2. تقييم الاس الهيدروجيني pH

يشير الجدول (5) إلى أن سعة الامتصاص للبلورة البنفسجية بواسطة الفحم الحيوي قد ازدادت بزيادة درجة الأس الهيدروجيني (pH): لدرجة الأس الهيدروجيني (pH) أكبر من 7 المتبقي من جزيئات الصبغة تنخفض مع زيادة درجة الأس الهيدروجيني (pH) من 4 إلى 7، وأن أعلى من هذه الدرجة من الاس الهيدروجيني (pH) فإن المتبقي من جزيئات الصبغة في المحلول يبقى إلى حدٍ ما ثابت. يعزى هذا الناتج إلى حقيقة أن عند درجة من الأس الهيدروجيني (4 & 6)، فإن إضافة بروتون لجزيي الصبغة للأماكن النشطة الترابطية يتم تحفيزها وبالتالي فإن عدد الأماكن النشطة تصبح في إنخفاض لإمتزاز جزيئات (CV) الملامسة، وعند زيادة درجة الأس الهيدروجيني أكثر من 7 فإن المادة المازة المكونة من الفحم النباتي بالإمكان أن تصبح مزالة البرتنة (تصبح مشحونة بشحنة سالبة) وإن العملية الالكتروستاتيكية الخاصة بالتجاذب جزيي الصبغة يصبح محفز [8].

جدول 5: يوضح نتائج تقييم الأس الهيدروجيني

سعة الامتصاص بالملجم/جرام	نسبة الإزالة %	التركيز النهائي بالملجم/لتر	الاس الهيدروجيني
4,6	49,0	25,2	4
6,5	77,39	11,3	6
7,1	85,0	7,5	7
7,7	92,1	4,0	8
7,6	91,3	4,3	10

- Engineering Journal* 157 : 277–296.
Doi:10.1016/j.cej.2010.01.007.
- [6]- Abhay Prakash Rawat, Vinay Kumar, and Devendra Pratap Singh (2019) A Combined Effect of Adsorption and Reduction Potential of Biochar Derived from Mentha Plant Waste on Removal of Methylene Blue Dye from Aqueous Solution, *Separation Science and Technology*: 1–15. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1580732>
- [7]- Sulyman M., Namiesnik J., Gierak A. (2017) Low-cost Adsorbents Derived from Agricultural By-products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review, *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 26, No. 2: 479-510. Doi: 10.15244/pjoes/66769
- [8]- الزطريبي. (2021) دراسة إزالة ملوثات الماء بواسطة مخلفات عصر ثمار الزيتون المعالجة. بحث مقدم لاستكمال درجة الإجازة العليا /المجستير، قسم الكيمياء، كلية العلوم جامعة الزاوية- ليبيا.
- [9]- Singh S. and Nain L. (2014) Microorganisms in the Conversion of Agricultural Wastes to Compost, *Proc Indian Natn Sci Acad* 80(2): 473-481.
- [10]- Denga H, Lu J., Li G., Zhang G., Wang X. (2011) Adsorption of Methylene Blue on Adsorbent Materials Produced from Cotton Stalk, *Chemical Engineering Journal* 172: 326– 334. doi:10.1016/j.cej.2011.06.013.
- [11]- Fuat Guzel , Hasan Sayg , Gulbahar Akkaya Sayg, Filiz Koyuncu. (2014) Decolorisation of Aqueous Crystal Violet Solution by a New Nanoporous Carbon: Equilibrium and Kinetic Approach, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 3375-3386, 2014.
- [12]- Ronsse F, Nachenius RW, Prins W. (2015) Chapter 11 Carbonization of biomass: Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass. 293-324. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63289-0.00011-9>
- [13]- Nadarajah K., Asharp T. & Jeganathan Y. (2024) Biochar from Waste Biomass, its Fundamentals, Engineering Aspects, and Potential Applications: An Overview, *Water Science & Technology* , 89(5). Doi: 10.2166/wst.2024.051
- [14]- Aseel M. Aljeboree , Ayad F. Alkaima, Ammar H. Al-Dujaili. (2014) Adsorption Isotherm, Kinetic Modeling and Thermodynamics of Crystal Violet Dye on Coconut Husk-Based Activated Carbon, *Desalination and Water Treatment*, 1–12. Doi: 10.1080/19443994.2013.877854.
- [15]- Langmuir I. (1918) The Adsorption of Gases on Plane Surfaces of Glass, Mica and Platinum, *J. Am. Chem. Soc.* 40: 1361–1403.
- [16]- Freundlich H.M.F. (1906) Uber Die Adsorption in Losungen, *Z. Phys. Chem.* 57A: 385–470.
- [17]- El-khamsa Guechi and Oualid Hamdaoui (2011) Sorption of Malachite Green from Aqueous Solution by Potato Peel: Kinetics and Equilibrium Modeling Using non-linear Analysis Method, *Arabian Journal of Chemistry*; Doi:10.1016/j.arabjc.2011.05.011
- [18]- Laura Bulgariu, Leticia Belén Escudero, Olugbenga Solomon Bello, Munawar Iqbal, Jan Nisar, Kayode Adesina Adegoke, Fadi Alakhras, Michael Kornaros, Ioannis Anastopoulos (2019) The utilization of leaf-based adsorbents for dyes removal: A review, *Journal of Molecular Liquids* 276: 728–747. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.12.001>
- [19]- Deniz F. and Yildiz H. (2019) Bioremediation Potential of a Widespread Industrial Biowaste as Renewable and Sustainable Biosorbent for Synthetic Dye Pollution, *International Journal of Phytoremediation* 21(3): 259-267. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1524451>
- [20]- Maha A. Tony (2021) Low-cost Adsorbents for Environmental Pollution Control: A Concise Systematic Review from the Prospective of Principles, Mechanism and their Applications, *Journal of Dispersion Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/01932691.2021.1878037>
- [21]- Mohamed Sulyman and Andrzej Gierak Green Environmental Approach for Adsorption of Hazardous Dye from Water Using
- أدت البيانات والنتائج المتحصل عليها إلى استنتاجات مفادها بأن نواتج استغلال مخلفات الكتل الحيوي ذات فاعلية وكفاءة عالية في إزالة ملوثات جزيئات صبغة البلورة البنفسجية (CV) من محاليلها المائية بعد دراسة مجموعة من المؤثرات الفيزيائية منها كمية الفحم الحيوي، تراكيز المادة الممتزة، زمن الرج، درجة الأس الهيدروجيني (pH) لمحلول المادة الممتزة. بالتالي كانت الاستنتاجات توافقية مع ما أشارت إليه التقارير العلمية المنشورة والتي تشير على أن الكتل الحيوية المكربنة من الموارد الهامة جداً لإنتاج مواد ادمصاص فعالة ومتوفرة بكثرة وغير مكلفة في مجال معالجة تلوث المياه، ناهيك عن كونها مواد بديلة جيدة لمواد ادمصاص التجارية المكلفة مثل الكربون المنشط التجاري، وهذا ما توصلنا إليه من خلال هذه الدراسة، حيث أعطت معظمها نتائج واعدة. أخيراً وليس آخراً، يمكن ختام الدراسة بالإشارة إلى أن عملية ادمصاص تأثرت بعدد من المتغيرات الفيزيائية حيث أدت تلك المتغيرات إلى استنتاج الي حدا ما أفضل ظروف في إزالة جزيئات الصبغة البلورة البنفسجية (CV) من محلولها المائي. من ابرز النتائج المتحصل عليها كانت في النقاط الآتية:
3. كمية المادة المازة المكونة من الفحم الحيوي قدرت بحوالي 0.3 جم،
 4. تركيز المادة الممتزة المكونة من محلول صبغة البلورة البنفسجية قدر بحوالي 50 ملجم/لتر.
 5. درجة الأس الهيدروجيني (pH) لمحلول صبغة البلورة البنفسجية (CV) قدر 8،
 6. كانت السعة القصوى لادمصاص البلورة بواسطة الفحم (8.93) ملجم/جرام.
 7. أظهرت نتائج هذا العمل أن الفحم الحيوي المستمد من حطب الزيتون يمكن استخدامه بنجاح لامتصاص صبغة البلورة البنفسجية من المياه باستخدام تقنية الامتزاز بنظام الدفعة الواحدة.
 8. تم الوصول إلى حالة التوازن لعملية الامتزاز خلال 60 دقيقة.
- ### قائمة المراجع
- [1]- Gupta V. K., Carrott P. J. M., Carrott M. M. L. R., and Suhas (2009) Low-Cost Adsorbents: Growing Approach to Wastewater Treatment-A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39: 783-842; Doi:10.1080/10643380801977610
- [2]- Joshua O. Ighalo , Fredrick O. Omoarukhe, Victor E. Ojukwu , Kingsley O. Iwuozor, Chinenye Adaobi Igwegbe. (2022) Cost of adsorbent preparation and usage in wastewater treatment: A review, *Cleaner Chemical Engineering* 3: 100042. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100042>
- [3]- مريم محمد الخيالي و ميمونة ابوبكر جبي (2016 – 2017) إزالة صبغة الميثيلين الأزرق من المحاليل المائية بواسطة مسحوق حبيبات أكسيد السبيلنل النانوية المغناطيسية من نوع فيرايت الكوبلت المطعم بالموليبيدينوم و المحضر بطريقة السو- جل، بحث تخرج مقدم لاستكمال متطلبات الحصول علي درجة البكالوريوس ، قسم الكيمياء، كلية لعلوم، جامعة سها- ليبيا.
- [4]- Adegoke K. A., Bello O. S. (2015) Dye Sequestration Using Agricultural Wastes as Adsorbents, *Water Resources and Industry*, 12: 8–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wri.2015.09.002>
- [5]- Amit Bhatnagara, Mika Sillanpää (2010) Utilization of Agro-Industrial and Municipal Waste Materials as Potential Adsorbents for Water Treatment—A Review, *Chemical*

- [25]- Etim UJ., Umoren S.A., Edo U.M. (2016) Coconut Coir Dust as a Low Cost Adsorbent for the Removal of Cationic Dye From Aqueous Solution, *Journal of Saudi Chemical Society*, 20: S67-S76. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2012.09.014>
- [26]- Ferrero F. (2007) Dye Removal by Low Cost Adsorbents: Hazelnut Shells in Comparison with Wood Sawdust, *Journal of Hazardous Materials* 142: 144–152; Doi:10.1016/j.jhazmat.2006.07.072
- [27]- سعاد نصر محمد عون (2017) استغلال مخلفات البن المطحون كمادة امتزازية في ازالة الاصبغ العضوية من الأوساط المائية. بحث مقدم لاستكمال متطلبات درجة الماجستير، قسم الكيمياء، الاكاديمية الليبية – ليبيا.
- [22]- [22] Maraie AA. and Ibrahim HG. (2015) Biosorption of Copper (II) Ion from Wastewater onto Green Waste Tea: Isotherm and Kinetic Modeling Studies. *Der Chemica Sinica* 6.7:100-111.
- [23]- نزار شعيب. (2023) استغلال نشارة الخشب في معالجة المياه الملوثة بصبغة الميثيلين الأزرق. بحث مقدم لاستكمال درجة الإجازة العليا الماجستير، قسم هندسة وعلوم البيئة، الأكاديمية الليبية – ليبيا.
- [24]- Mosoarca G., Vancea C., Popa S., Gheju M., Boran S. (2020) Syringa Vulgaris Leaves Powder a Novel Low-Cost Adsorbent for Methylene Blue Removal: Isotherms, Kinetics, Thermodynamic and Optimization by Taguchi Method, *Scientific Reports* 10: 17676. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74819-x>