مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الثاني عشر - علوم الحياة - آب 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2023.12.25.02

دراسة كفاءة امتزاز صبغة الميكروكروم (Me) من محاليلها المائية باستخدام الفحم المنشط المستخدم في أجهزة تصفية المياه

جاسم محمد خلف
جامعة تكريت \ كلية العلوم \ قسم الكيمياء \ jm230012psc@st.tu.edu.iq
احمد سعيد عثمان
جامعة تكريت \ كلية التربية للعلوم الصرفة \ قسم الكيمياء \dra.dabbagh1960@gmail.com

مستخلص:

تم استخدام الفحم المنشط كمادة مازة لامتزاز الصبغة بدراسة عدد من المتغيرات كدراسة تأثير التركيز الأولي لـ Me عند تركيز (15ppm)(2×10^{-5} M) ، أيضا الفحم المنشط كان بأفضل وزن مستخدم (0.5g) ، وحصل الاتزان عند زمن (80 دقيقة).

اجريت الدراسات الحركية باستخدام نظام المرتبة الثانية الكاذبة. وتم إجراء تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) بهدف دراسة البنية البلورية لعينة الكاربون قبل عملية الامتزاز. تظهر القمة الأكثر شدة عند الزاوية 26.88°، وهي القمة المميزة للكاربون شبه البلوري، والقمة عند 20.03° تشير إلى وجود محتوى من الكاربون غير المتبلور، وهي شائعة في المواد الكربونية المحضّرة حرارياً عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا، أما القمم عند الزوايا الأعلى (35.06°، 44.92°، 55.25°) فهي قمم ضعيفة الشدة وواسعة نسبيًا (ذات FWHM كبير) و حجم دقائق العينة 10.6439 nm هذا الحجم يعتبر مثالي لأجراء عملية الامتزاز عليه

تم تحليل منحنيات الاتصاص المتوازنة بواسطة ايزوثيرم فريندلخ ولنكماير. واظهرت نتائج الدراسة ان نظام الامتزاز هو من النوع الكيميائي الماص للحرارة وان عملية الامتزاز تحدث بشكل تلقائي.

تم حساب قيمة ثابت لانكماير(b) الذي يشير إلى قوة ارتباط الصبغة على السطح الماز حيث وجد ان رفع درجة الحرارة يزيد من طاقة الجزيئات الممتزة مما يسمح لها بالارتباط بقوة اكبر وهذا ما يفسر زيادة(b) ، لكن مع ارتفاع درجة الحرارة يمكن ان تتغير بنية المادة المازة مما يقلل من عدد المواقع النشطة الفعالة او تؤثر على طريقة توزيع جزيئات المادة الممتزة وبالتالي يقل (Qmax) . وعند تطبيق ايزوثيرم فريندلخ وجد انه ينطبق على البيانات العملية للصبغة المدروسة، اشارت قيم (n) المحصورة في المدى بين(10–1) إلى أن نظام الامتزاز هو نوع جيد ومفضل . ونجد أيضا أن قيم (n) ترتفع مع ارتفاع درجات الحرارة ، وهذا يدعم كون عملية الامتزاز في هذا النظام عملية كيميائية . ووجد ان قيم (K_f) ، والتي هي قيم طاقية لها علاقة بسعة الامتزاز أنها تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وهذا يتوافق مع التغير في قيم سعة الامتزاز (q_e)، مع درجات الحرارة ، والتي وجد ايضاً انها تزداد بازدياد درجة الحرارة .

الكلمات المفتاحية: كاربون منشط . صبغة الميكروكروم .

Study of the efficiency of adsorption of Mercurochrome (Me) dye from its aqueous solutions using activated charcoal used in water purifiers

Jasim Mohammed Khlaf
Tikrit University / College of Science / Department of Chemistry / jm230012psc@st.tu.edu.iq
Ahmed Saeed Othman
Tikrit University / College of Education for Pure Sciences / Department of Chemistry /dra.dabbagh1960@gmail.com

Abstract :

Activated charcoal was used as an adsorbent for dye adsorption to study a number of variables such as the effect of the initial concentration of Me at (15ppm) (2×10-5 M), also activated charcoal was the best weight used (0.5g), and equilibrium was obtained at (80 min).

Kinetic studies were performed using a pseudo-second-order system. X-ray diffraction (XRD) analysis was performed to study the crystal structure of the carbon sample before the adsorption process. The most intense peak appears at 26.88°, which is the characteristic peak of semi-crystalline carbon, the peak at 20.03° indicates the presence of amorphous carbon content, common in carbon materials thermally prepared at relatively low temperatures, and the peaks at higher angles (35.06°, 44.92°, 55.25°) are weakly intense and relatively broad peaks (with large FWHM) and the size of the sample minutes is 10.6439 nm This size is ideal for the adsorption process. The equilibrium adsorption curves were analyzed by Freundlich and Langemeyer isotherms. The results of the study showed that the adsorption system is endothermic and the adsorption process occurs spontaneously.

The value of Langemeyer's constant (b) was calculated, which indicates the strength of dye binding on the adsorbent surface. It was found that increasing the temperature increases the energy of the adsorbent molecules, allowing them to bind more strongly, which explains the increase in (b), but as the temperature increases, the structure of the adsorbent can change, reducing the number of effective active sites or affecting the distribution of the adsorbent molecules, thus decreasing (Qmax). When applying the Freundlich isotherm, it was found to be applicable to the practical data of the studied dye, the values of (n) confined in the range between (1-10) indicated that the adsorption system is a good and useful type of adsorbent. We also find that the values of (n) increase with increasing temperature, which supports the fact that the adsorption process in this system is a chemical process. The KF values, which are energy values related to the adsorption capacity, were found to increase with increasing temperature, which is consistent with the change in adsorption capacity (qe) values with temperature, which was also found to increase with increasing temperature.

Keywords: Activated carbon . Mercurochrome dye.

المقدمة :

استخدمت الأصباغ الاصطناعية بشكل متزايد في صناعات النسيج والورق والمطاط والبلاستيك ومستحضرات التجميل والأدوية والأغذية بسبب سهولة استخدامها وتكلفة التصنيع غير المكلفة والاستقرار وتنوع الألوان مقارنة بالأصباغ الطبيعية (1). واليوم يوجد أكثر من 10000 صبغة متاحة تجاريًا(2)، ومعظمها يصعب تحللها بيولوجيًا بسبب بنيتها الجزيئية العطرية المعقدة وأصلها الاصطناعي.(3) إن الاستخدام المكثف للأصباغ غالباً ما يسبب مشاكل تلوث عن طريق تصريف مياه الصرف الصحي الملونة إلى كتل البيئة المائية ، وتؤدي الى حجب ضوء الشمس عن النباتات المائية وبالتالي يقلل من البناء الضوئي(4).

يمكن لبعض الأصباغ أن تسبب التهاب الجلد التحسسي، والتهاب الجلد، والسرطان، والطفرات في الإنسان. تشير التقديرات الأخيرة إلى أن حوالي 12٪ من الأصباغ النسيجية الاصطناعية المستخدمة كل عام تُفقد أثناء عملية التصنيع والمعالجة، و20٪ من هذه الأصباغ تدخل البيئة من خلال النفايات الناتجة عن معالجة المياه الصناعية المتبقية(5).

يمكن استخدام تقنيات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية مختلفة لإزالة الأصباغ من الماء. وتشمل هذه العمليات التخثر/ التجلط (6)، والامتزاز (7)، وتبادل الأيونات (8)، والاكسدة المتقدمة(9) والاختزال الكيميائي والمعالجة البيولوجية (الامتصاص الحيوي للبكتيريا والفطريات، والتحلل البيولوجي في ظروف هوائية أو لاهوائية(10).

تم استخدام الفحم المستخدم في فلاتر أجهزة تصفية الماء (RO) لدراسة إزالة الأصباغ من المحلول المائي، الغرض من هذا العمل هو دراسة كفاءة الفحم كمادة مازة لإزالة الصبغة. تم اختيار صبغة الميكروكروم (Me) الطبية لهذه الدراسة لمعرفة قابلية امتزازه على المواد الصلبة . تم إجراء تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) بهدف دراسة البنية البلورية لعينة الكاربون قبل عملية الامتزاز.

قام (Smith J) وآخرون في عام 2019 بدراسة امتزاز صبغة الميثيلين الزرقاء باستخدام الفحم المنشط التجاري، حيث تمت دراسة السلوك الحركي والثرموديناميكي لعملية الامتزاز. وبينت النتائج أن العملية تتوافق مع نموذج المرتبة الثانية الكاذبة وايزوثيرم لنكماير، بينما بينت الحسابات الثرموديناميكية أن عملية الامتزاز تلقائية وماصة للحرارة(11). وفي عام 2020 قام (Ali H. Jawad) وآخرون بتعديل البوليمر الحيوي الشيتوزان (CTS) بواسطة دمجه مع الكاربون المنشط التجاري (AC) بهدف تطوير مادة مازة لإمتزاز صبغة الثيونين (TH)، وأظهرت البيانات التجريبية أن عملية الامتزاز تتوافق مع نموذج المرتبة الثانية الكاذبة وايزوثيرم فرندلخ ، وأكدت النتائج أن المركب CTS-AC لديه قدرة كبيرة ؛ مما يجعله مادة مازة حيوية صديقة للبيئة وفعالة لإزالة الأصباغ الموجبة من البيئات المائية .

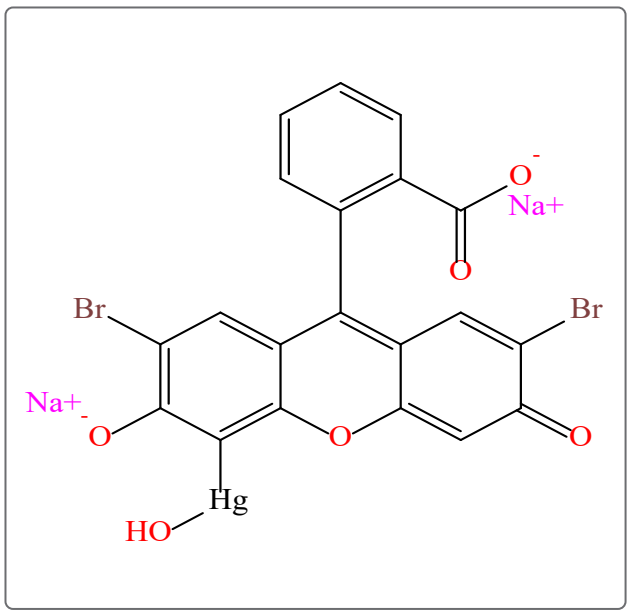
وفي العام 2022 اجرى (Nguyen T وTran D) دراسة لاستخدام الفحم المنشط التجاري لإمتزاز صبغة الريمزالين الزرقاء من محلولها المائي. وأظهرت نتائج الامتزاز انه تم بشكل كيميائي، واتّبع نموذج المرتبة الثانية الكاذبة، وتوافق جيداً مع ايزوثيرم فريندلخ لوصف بيانات التوازن .

وفي عام 2024 ايضاً اجرت (Shaimaa M Ibrahim .) واخرون دراسة شاملة حول امتزاز

صبغة الازو من محاليلها المائية باستخدام الكاربون المنشط . تهدف الدراسة الى فهم الية الامتزاز من خلال جمع التجارب العلمية والتحليلات النظرية والتحليلات النظرية باستخدام نظرية الكثافة الوظيفية DFT . بينت النتائج ان عملية الامتزاز تتبع لنموذج المرتبة الثانية الكاذبة، وهذا يشير الى ان الامتزاز يعتمد على التفاعلات الكيميائية بين المادة الممتزة والسطح الماز. واظهرت النتائج توافقاً جيداً مع نموذج لنكماير للاتزان(12) .

صبغة الميكروكروم Mercurochrome

الميكروكروم هو الاسم التجاري لميربرومين وهو مركب ملح ثنائي الصوديوم العضوي يستخدم كمطهر موضعي للجروح والخدوش الطفيفة . يتم تصنيع Merbromin من خلال الجمع بين ثنائي برومو فلوريسئين مع أسيتات الزئبق وهيدروكسيد الصوديوم(13).ذات لون احمر قرمزي ، وزنها الجزيئي 751.7 g/mol ، اسمها الكيميائي (2,7-di-bromo-9-(2-carboxylatophenyl)-6-oxido-3-oxo-3H-xanthen-5-yl)(hydroxy)mercury (14). والصيغة التركيبية للمركب هي :



الجزء العملي:

المواد والأدوات المستعملة :

تضمن الجزء العملي تحضير الأجهزة والزجاجيات التي يمكن استخدامها في العمل، وإجراء بعض القياسات لغرض التمرس على العمل والقياس في الأجهزة. جرى استخدام مسحوق الفحم المنشط التجاري لشركة (Acti-vated Carbon Iran ACI) أما الصبغة فهي صبغة الميكروكروم (Mercurochrome) وهي صبغة طبية من انتاج شركة (AVONCHM) المملكة المتحدة ، وقد حصلنا عليها تجاريا .

الأجهزة المستخدمة:

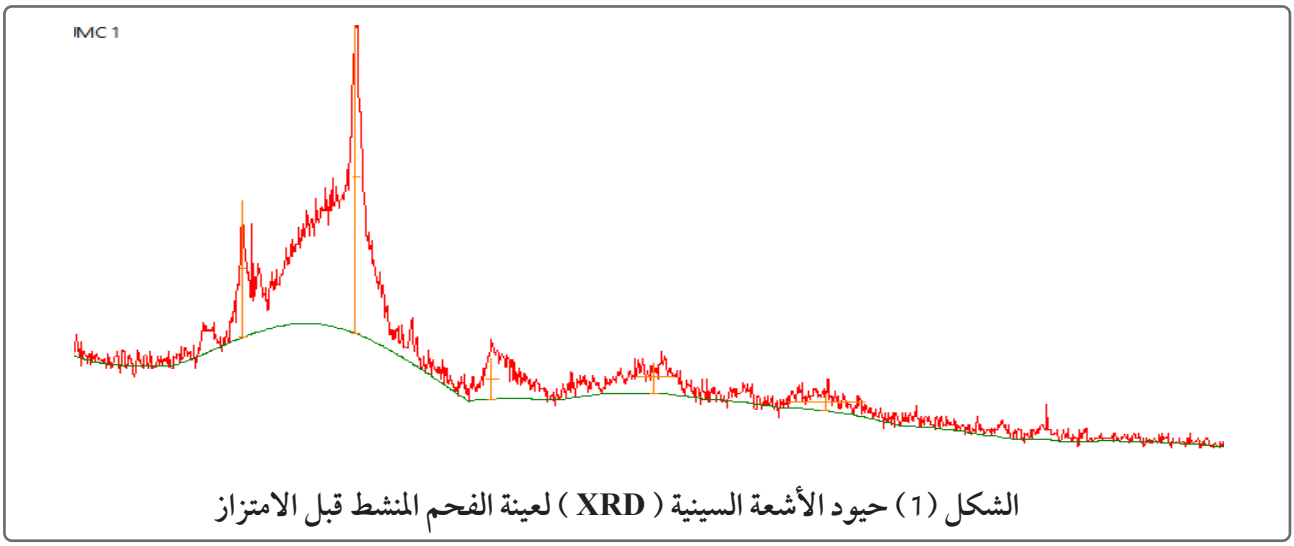
جهاز الهزاز والحمام المائي Shaker and water bath: الجهاز المستخدم هو من نوع (Julabo Sw 23) ، ويتميز بالعمل المزدوج ؛ إذ يعمل كهزاز لرج المحاليل ضمن السرعة المطلوبة للرج ، والتحكم بدرجة الحرارة المطلوبة في الدراسة عند الامتزاز . وجرت الاستعانة بجهاز الـ (T92+UV Spectro-photometer PG Instruments) لقياس الأطياف الالكترونية ، باستخدام الماء المقطر كمذيب مرجع (Blank)، وخلايا زجاجية ذات سمك 1cm .

اولاً : تم طحن الفحم ونخله ثم تم غسله بالماء المقطر حيث تم اخذ 100g من الفحم وتم إضافة لتر من الماء المقطر اليه مع التحريك المستمر لمدة 10 دقائق ثم تم ترشيح الفحم وتجفيفه .

ثانياً : تنشيط الكاربون، سُخّن الكاربون إلى درجة حرارة 200 درجة سيليزية، لمدة ثلاث ساعات، وحفظ في حاويات بلاستيكية صغيرة محكمة .

ثالثاً : دراسة البنية البلورية للفحم المنشط قبل عملية الامتزاز .

تم إجراء تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) بهدف دراسة البنية البلورية لعينة الكاربون قبل عملية الامتزاز. ويعرض الشكل (1) نمط حيود الأشعة السينية للعينة ، تُظهر القمة الأكثر شدة عند الزاوية 26.88°، وهي القمة المميزة للكاربون شبه البلوري ، القمة عند 20.03° تشير إلى وجود محتوى من الكاربون غير المتبلور، وهي شائعة في المواد الكربونية المحضّرة حرارياً عند درجات حرارة منخفضة نسبيًا ، أما القمم عند الزوايا الأعلى (35.06°، 44.92°، و55.25°) فهي قمم ضعيفة الشدة وواسعة نسبيًا (ذات FWHM كبير). العينة تُظهر طبيعة شبه بلورية إلى غير متبلورة ، وهي خاصية معروفة للكاربون المنشط أو الكاربون الناتج عن التحلل الحراري للمواد العضوية. يبلغ حجم دقائق العينة 10.6439 nm هذا الحجم يعتبر مثالي لاجراء عملية الامتزاز عليه .



الشكل (1) حيود الأشعة السينية (XRD) لعينة الفحم المنشط قبل الامتزاز

الامتزاز:

تم تحضير محلول اساسي من Me (1000 ppm) وتم تخفيفه وفقًا للتركيز الأولي المطلوب. تم إجراء تجارب الامتزاز عن طريق تحريك كمية من المادة المازة مناسبة مع (25 mL) من محلول Me بالتركيز المطلوب عند 75 دورة في الدقيقة في هزاز مقعد (E4 ELA SHAKER، Tokyo RiKAKIKAI Co، LTD.) في درجة حرارة الغرفة. بعد الوصول الى زمن الاتزان ، تم ترشيح المحلول، وتم سحب كمية من العينة بواسطة المحقنة وتحليلها بواسطة مطياف الأشعة فوق البنفسجية المرئية.

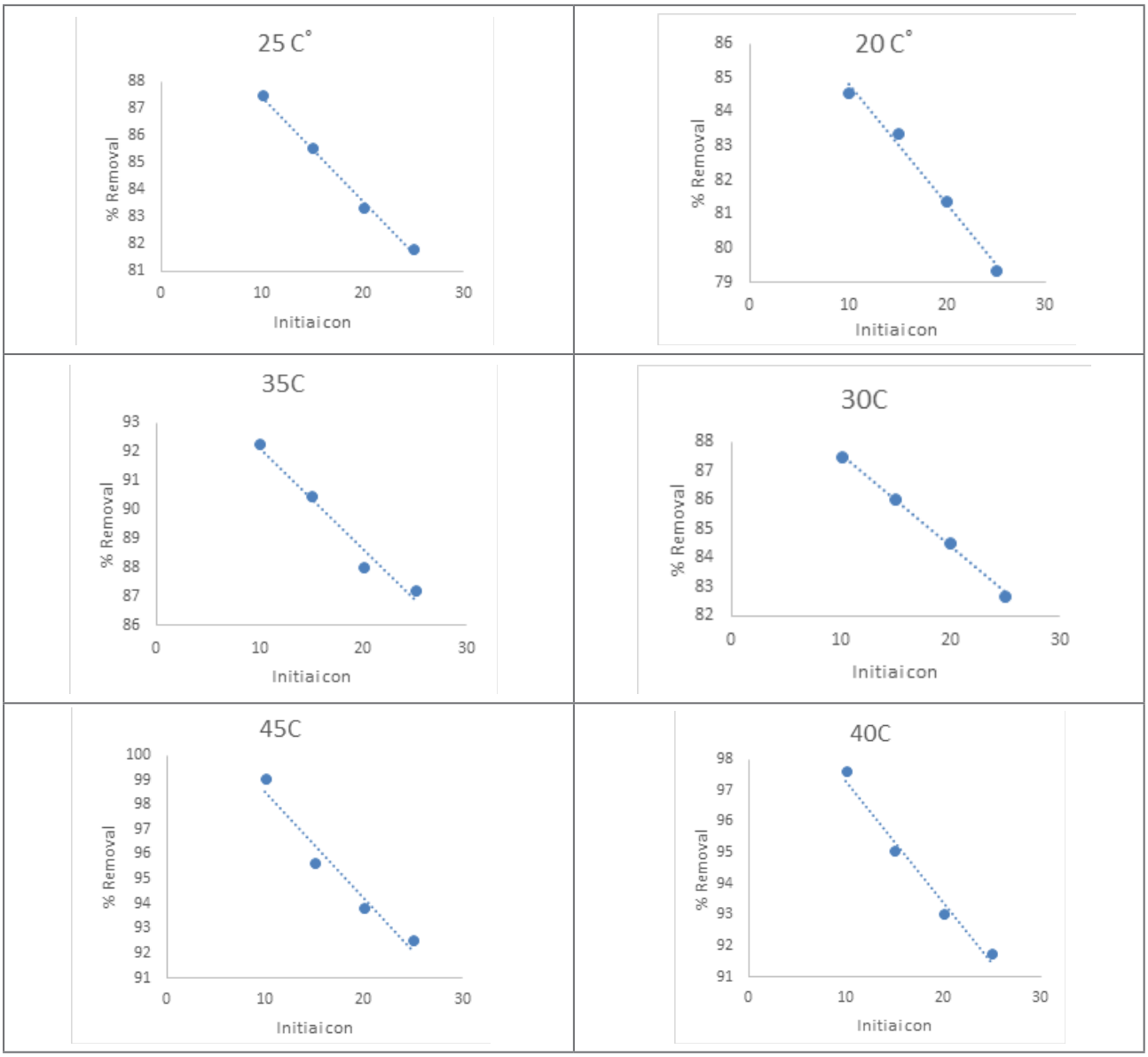
النتائج والمناقشة :

تأثير التركيز الابتدائي:

يُعد التركيز الابتدائي للصبغة من العوامل المؤثرة على الامتزاز ، وتمر بثلاث مراحل : الأولى تمثل القوة اللازمة للتغلب على المقاومة التي تبديها الجزيئات عند الانتقال من موقعها في السائل إلى السطح الماز، وتسمى عملية انتقال الكتلة ؛ لذلك جرى تثبيت جميع المتغيرات المؤثرة على قابلية الامتزاز، عدا التراكيز الابتدائية للصبغات قيد الدراسة، والتي تراوحت بين (10 – 25 ppm) ما يعادل (1.3×10^{-5} – 3.3×10^{-5}M)، وعند درجات حرارة مختلفة ، تراوحت بين (20 – 45 c°) . والمرحلة الثانية تمثل

عملية ارتباط الصبغة بالسطح، ثم التغلغل إلى داخل المسامات في السطح الماز ،كما موضح في الشكل (2) .

أظهرت النتائج التي حصلنا عليها من دراسة تأثير التركيز والموضحة في الشكل أعلاه أن افضل تركيز للصبغة هو (15ppm) ما يكافيء (10^{-5} 2×M)، وكفاءة الامتزاز عند درجة حرارة ثابتة تقل مع زيادة التركيز ؛ ويمكن أن يُعزى ذلك إلى أن زيادة التركيز للصبغات تزيد من عدد جزيئاتها المتوفرة للامتزاز ، عندما تكون المواقع المؤهلة للامتزاز على سطح الكاربون المنشط متوفرة ، ومع مرور الزمن يزداد التنافس بين جزيئات الصبغة للارتباط بالمواقع الفعالة المتبقية على سطح الكاربون المنشط مع زيادة التركيز (15). وفي النهاية فإن زيادة التركيز تؤدي إلى تخلف كمية أكبر من الصبغة في المحلول بعد عملية الاتزان ، وهذا يقلل من كفاءة الامتزاز عند حسابها رياضياً من النسبة بين كمية المادة الممتزة إلى كمية المادة المتبقية في المحلول .



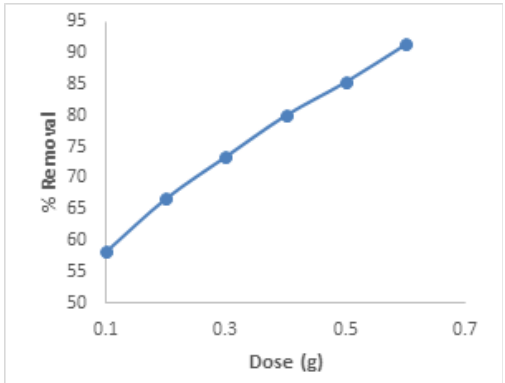
الشكل (2) العلاقة بين التركيز الابتدائي والنسبة المئوية للامتزاز

تأثير كمية المادة المازة:

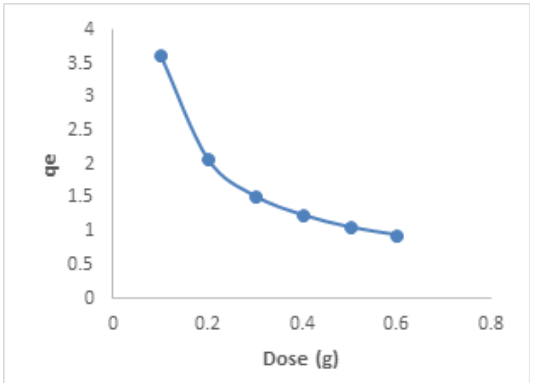
يوضح الشكلان (3) و(4) والجدول (1) امتزاز صبغة الميكروكروم Me (صبغة 25 ppm) تُعد أولى الخطوات من هذه الدراسة هي معرفة كمية المادة المازة (الكاربون المنشط) الملائمة للامتزاز حيث وجد ان افضل كمية هي (0.5 g)، إذ يمكن إنجاز هذه الحسابات من خلال أخذ محلول بتركيز واحد من محلول الصبغة وعدة كميات من المادة المازة . ومن الواضح أنه بزيادة جرعة المادة الماصة تزداد نسبة إزالة الصبغة، ولكن سعة الامتزاز qe ، الكمية الممتزة لكل وحدة كتلة، تقل. من المفهوم بسهولة أن عدد مواقع الامتزاز المتاحة يزداد بزيادة كمية المادة المازة وبالتالي يؤدي ذلك إلى زيادة في نسبة الصبغة الممتزة. يرجع الانخفاض في سعة الامتزاز مع زيادة كمية المادة المازة بشكل أساسي إلى عدم تشبع مواقع الامتزاز من خلال عملية الامتزاز (16). قد يكون سبب آخر هو التفاعل بين الجسيمات، مثل التكتل، الناتج عن إضافة كمية عالية من المادة المازة ، مثل هذا التكتل يؤدي إلى انخفاض في المساحة السطحية للمادة المازة وزيادة في طول مسار الانتشار(17).

Dye	كمية الكاربون (g)	التركيز (Ce) الممتز mg/L	q_e (mg/g)	النسبة المئوية للامتزاز
Me	0.1	14.55341	3.638353	58.214
	0.2	16.67507	2.084384	66.70
	0.3	18.35163	1.529303	73.41
	0.4	19.99852	1.249907	79.99
	0.5	21.33383	1.066691	85.34
	0.6	22.83234	0.951348	91.33

الجدول (1) العلاقة بين كمية المادة المادة وتركيز الاتزان (Ce) ونسبة الإزالة والكمية الممتزة لـ 25 ppm من الصبغة.



الشكل (3) تأثير كمية المادة المازة على النسبة المئوية للامتزاز



الشكل (4) تأثير كمية المادة المازة على سعة الامتزاز

تطبيق ايزوثيرمات الامتزاز :

Application of adsorption isotherms

تعمل ايزوثيرمات الامتزاز على وصف طبيعة العلاقة بين المادة الممتزة والسطح الصلب الماز بالاعتماد على الفرضيات التي يفترضها الباحث، والتي تتباين على وفق نوع الايزوثيرمات ، وبيان كفاءة الامتزاز من خلال حساب بعض القيم والدوال الضرورية في كل نوع من الايزوثيرمات، إذ نلاحظ أن معادلات الايزوثيرمات تكون علاقات خطية عند تطبيقها في الحالات المثالية لها ، وقد اُستخدمت نماذج من الايزوثيرمات في هذه الدراسة؛ لغرض وصف العلاقة بين الصبغة وسطح الكاربون المنشط :

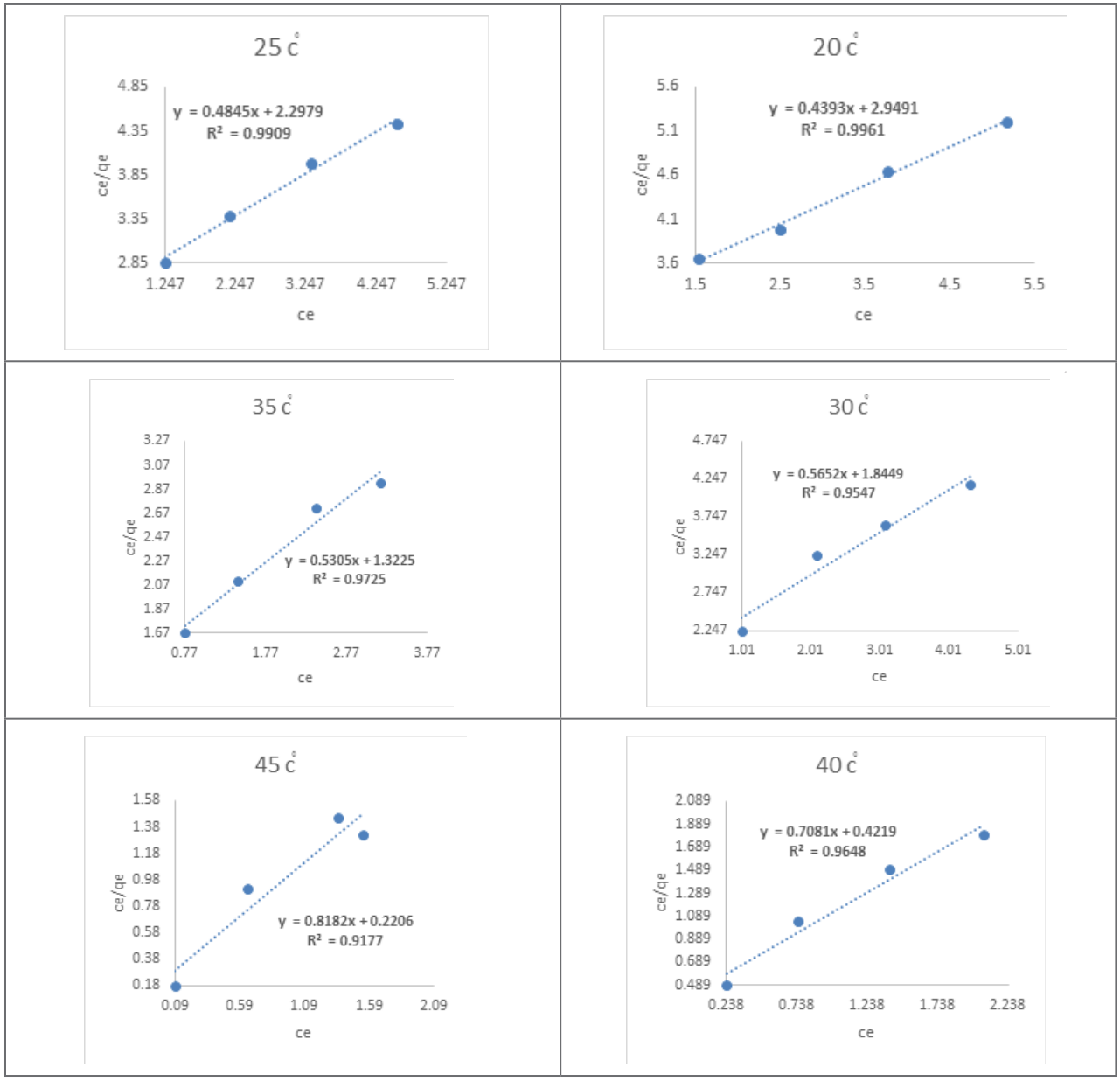
ايزوثيرم لانكماير :

تُمثل العلاقة الرياضية لايزوثيرم لانكماير بالصيغة الآتية :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bQ_{max}} + \frac{C_e}{Q_{max}} \dots\dots (1)$$

تمثل (b) ثابت ايزوثيرم لانكماير ($L.mg^{-1}$) ، وله علاقة بطاقة الامتزاز ، والـ (Q_{max}) السعة القصوى للامتزاز للمادة المازة (ملغرام من المادة الممتزة لكل غرام من المادة المازة الصلبة) ، أما C_e فتمثل تركيز المادة غير الممتزة عند الاتزان (mg/l) ، و q_e تمثل كمية المادة الممتزة (mg/g) .

ويمكن حساب قيمة ثابت لانكماير(b) الذي يشير إلى قوة ارتباط الصبغة على السطح الماز والسعة القصوى للامتزاز (Q_{max})، من خلال رسم علاقة خطية بين C_e/q_e مقابل C_e التي تمنح ميلا مقداره ($1/Q_{max}$) وبمقطع ($1/bQ_{max}$)(18) . انطباق نموذج لانكماير على الصبغة ، الّتي أظهرت علاقة طردية جيدة وهو ما اظهرته الرسومات المبينة في الشكل(5)، تقل قيمة أقصى سعة امتزاز (Q_{max}) mg/g) مع ارتفاع درجة الحرارة وتزداد قيمة قوة الارتباط (b L/mg) لصبغة (Me) ، وهذا يشير الى ان الامتزاز كيميائي ، و الانثالبية (HΔ) التي تشير إلى أن عملية الامتزاز ماصة للحرارة وفقاً للدوال الثرموديناميكية ؛ وتفسير ذلك ان ارتفاع درجة الحرارة يمكن أن تزيد من قوة ارتباط الصبغة بالسطح الماز مايجعل التفاعل اكثر استقراراً حرارياً لكنها تقلل من عدد الجزيئات التي يمكن ان ترتبط بالسطح الماز ويوجد اكثر من تفسير لهذا السلوك ،(اولًا) ان رفع درجة الحرارة يزيد من طاقة الجزيئات الممتزة مما يسمح لها بالارتباط بقوة اكبر وهذا ما يفسر زيادة (b) ، لكن مع ارتفاع درجة الحرارة يمكن ان تتغير بنية المادة المازة مما يقلل من عدد المواقع النشطة الفعالة او تؤثر على طريقة توزيع جزيئات المادة الممتزة وبالتالي يقل (Qmax) او(ثانياً) يحصل تنافس بين جزيئات المذيب وجزيئات الصبغة على المواقع الفعالة للسطح الماز مما يقلل من قيمة (Qmax) عند ارتفاع درجة الحرارة ، ان زيادة النسبة المئوية لا تعني دائماً زيادة Qmax بل تعني ان الامتزاز عند التراكيز المنخفضة اكثر كفاءة وعند رفع درجة حرارة التفاعل قد يصبح التفاعل الامتزازي اكثر انتقائية للمواقع الفعالة الأعلى طاقة مما يسمح للمادة المازة باحتجاز اكبر عدد من الجزيئات الممتزة عند التركيزات المنخفضة ولكنها تصل الى تشبع اسرع عند التركيزات العالية . وهذا ما توضحه النتائج في الجدول (2) .



الشكل (5) العلاقة بين C_e/q_e مقابل C_e لايزوثيرم لانكماير للصبغة Me

Dye	T(K)	b (L/mg)	Q_{max} (mg/g)	R
Me	293.15	0.1490	2.276	0.9961
	298.15	0.2108	2.064	0.9909
	303.15	0.3064	1.7693	0.9574
	308.15	0.4011	1.8850	0.9725
	313.15	1.6784	1.6784	0.9648
	318.15	3.709	1.2222	0.9177

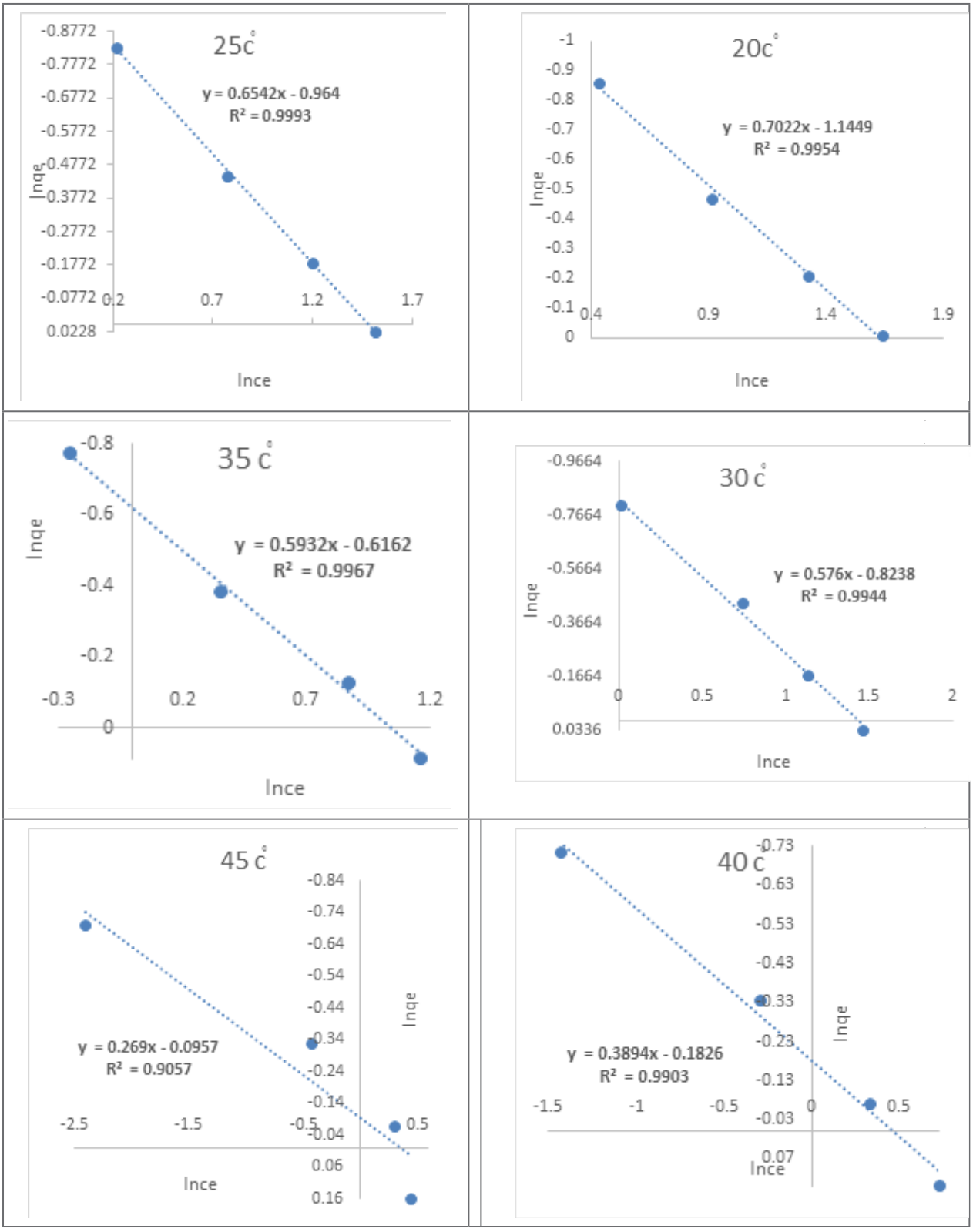
الجدول (2) قيم ثوابت لانكماير ومعاملات الارتباط التي جرى الحصول عليها من ايزوثيرم لانكماير على البيانات العملية لامتزاز الصبغة Me

ايزوثيرم فرندلخ :

يعبر عن ايزوثيرم فرندلخ بالعلاقة الآتية :

$$\ln q_e = \ln K + \frac{1}{n} \ln C_e \dots\dots\dots (2)$$

تمثل قيم K و n ثابتا فرندلخ ، وتعتمد قيمتاهما على طبيعة كل من المادة الممتزة والسطح الماز ودرجة الحرارة ، فيما تمثل قيمة q_e كمية المادة الممتزة (ملغرام من المادة الممتزة / لكل غرام من المادة المازة) ، و C_e تركيز المادة غير الممتزة عند الاتزان (mg.li-$^{-1}$ter). وعند رسم علاقة بين $\ln q_e$ مقابل $\ln C_e$ يعطي خطا مستقيما بميل (n/1) يمثل مقياسا لشدة الامتزاز ومقطع مقداره $\ln K$ الذي يكون دالة لسعة الامتزاز(19) . من ملاحظة قيم النتائج المدرجة في الجدول (3) نجد أن معادلة ايزوثيرم فريندلخ تنطبق على البيانات العملية للصبغة المدروسة ، فقد أعطت علاقات خطية جيدة ، وعند جميع الدرجات الحرارية، وتشير إلى ذلك قيم (R) القريبة من الواحد؛ لذلك يمكن استخدام هذا الآيزوثيرم في تمثيل البيانات العملية للامتزاز في النظام المدروس بنجاح، وتشير قيم (n) المحصورة في المدى بين(10-1) إلى أن نظام الامتزاز هو نوع جيد ومفضل . ونجد أيضا أن قيم (n) ترتفع مع ارتفاع درجات الحرارة، وهذا يدعم كون عملية الامتزاز في هذا النظام عملية كيميائية . عند ملاحظة قيم (K_F) ، والتي هي قيم طاقية لها علاقة بسعة الامتزاز ، نجد أنها تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة وهذا يتوافق مع التغير في قيم سعة الامتزاز (q_e)، مع درجات الحرارة، والتي وجد ايضاً انها تزداد بازدياد درجة الحرارة . لقد اتبعت بيانات الامتزاز نموذجي لانكماير وفريندلخ حيث أظهرت امتزاز احادي الطبقة وظروف سطح غير متجانسة(20).



الشكل (6) العلاقة بين $\ln C_e$ مقابل $\ln q_e$ لايزوثيرم فريندلخ للصبغة Me عند درجات حرارة مختلفة

الجدول (3) قيم ثوابت فريندلخ ومعاملات الارتباط التي جرى الحصول عليها عند تطبيق ايزوثيرم فريندلخ على البيانات العملية لامتزاز صبغة Me

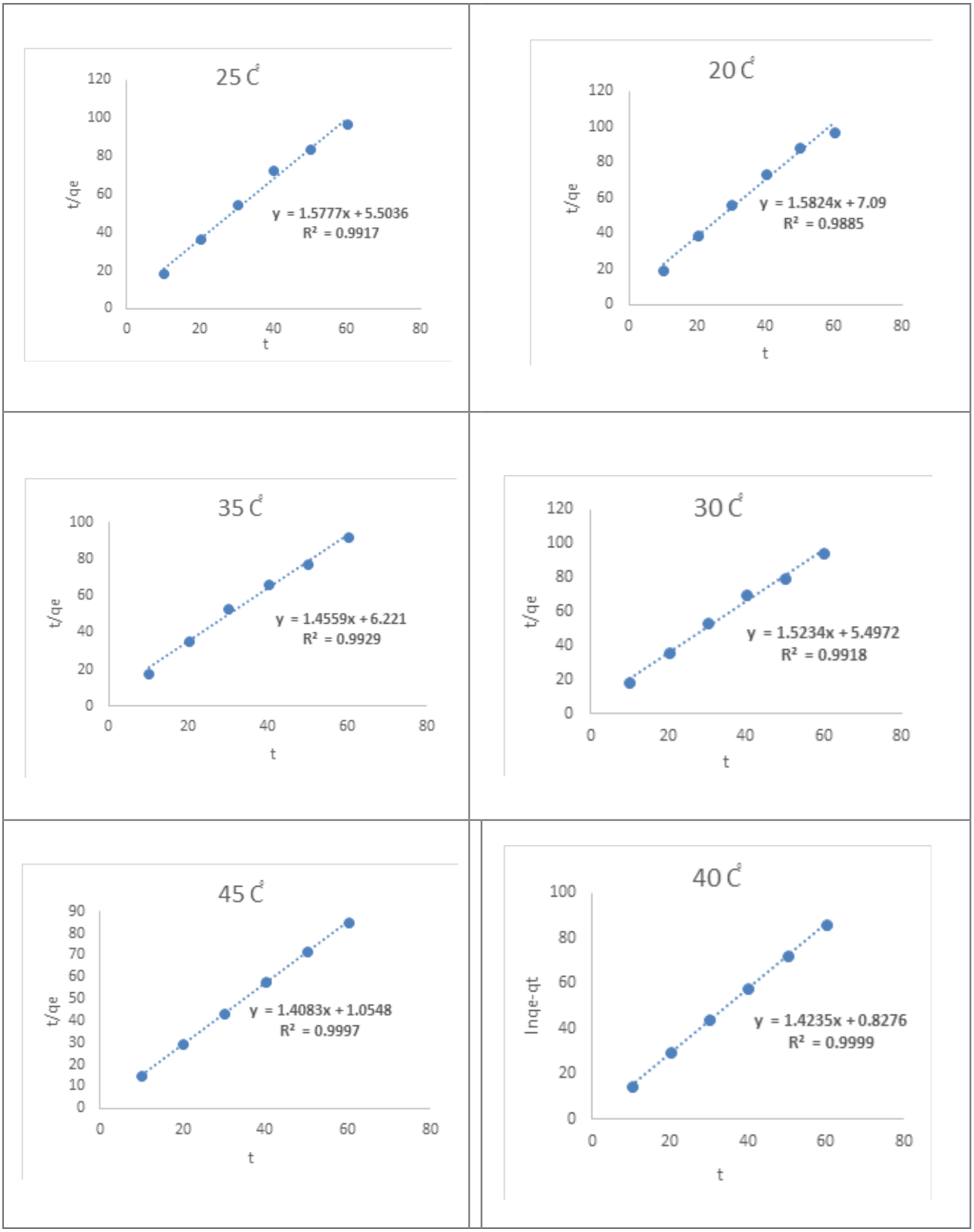
Dye	T(K)	N	K_f	R
Me	293.15	1.424	0.3183	0.9954
	298.15	1.529	0.3814	0.9993
	303.15	1.736	0.4388	0.9944
	308.15	1.686	0.53999	0.9967
	313.15	2.568	0.8331	0.9903
	318.15	3.718	0.9087	0.9057

دراسة حركية الامتزاز : Kinetic study

جرت دراسة حركية الامتزاز للصبغات باستخدام تقنية الدفعة الواحدة (Batch method)، عند تركيز ابتدائي مساوٍ لـ(2×10^{-5} M) لصبغة الميكروكروم ، وعند مدى من الدرجات الحرارية، تراوحت بين (293.15 – 318.15 مطلقة)، بتطبيق نموذج المرتبة الثانية الكاذبة طبق هذا النموذج على البيانات التي جرى الحصول عليها من عملية الامتزاز خلال ظروف العمل نفسها المذكورة في أعلاه ؛ ولمعرفة إمكانية تطبيق النموذج على البيانات العملية للامتزاز جرى رسم علاقة (اعتماداً على المعادلة 3) بين t/q_e مقابل الزمن t ، كذلك تمكننا علاقة المرتبة الثانية من حساب سرعة الامتزاز الابتدائية h ($mg.g^{-1}.min^{-1}$) حسب المعادلة (4).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots (3)$$

$$h = K_2 (q_e)^2 \dots\dots\dots (4)$$



الشكل(7) نموذج المرتبة الثانية الكاذبة لصبغة Me عند درجات حرارة مختلفة

الجدول (4) قيم ثوابت السرعة وسعة الامتزاز النظرية والعملية للصبغة Me عند درجات حرارة مختلفة للمرتبة الثانية الكاذبة

Dye	$k \times 10^{-2}$ ($g.mg^{-1}.min^{-1}$)	q_e(Calc) mg/g	q_e (exp) mg/g	h ($mg.g^{-1}.min^{-1}$)	R
Me	35.32	0.6319	0.6528	0.1405	0.9885
	45.23	0.6338	0.6416	0.1817	0.9917
	42.22	0.6564	0.6453	0.1819	0.9918
	34.07	0.6869	0.6787	0.1607	0.9929
	244.85	0.7025	0.7128	1.208	0.9999
	188.03	0.7101	0.7173	0.9481	0.9997

الاستنتاج

خَلُصت الدراسة الحالية إلى أنه يمكن استخدام الفحم المستخدم في أجهزة تصفية مياه الشرب لإزالة الاصباغ من محلولها المائي عند تراكيز منخفضة لما لهذه الاصباغ من تأثيرات بيئية ، وتعد صبغة الميكروكروم احدى هذه الصبغات حيث انها تحتوي على عنصر الزئبق السام. وقد وجد أن كفاءة الإمتزاز (النسبة المئوية)، تزداد بزيادة درجة الحرارة ما يشير الى ان التفاعل ماص للحرارة . وان سعة الامتزاز تقل بزيادة درجة الحرارة وهذا يشير الى ان الامتزاز كيميائي. كما أظهرت البيانات التجريبية توافقاً جيداً مع نماذج الامتزاز لنكماير وفريندلخ وتم حساب معاملات النماذج بنجاح، ومن حيث النظريات الحركية فقد انطبق عليها نظرية المرتبة الثانية الكاذبة .

References

1. Chagas EP, Durrant LR. Decolorization of azo dyes by Phanerochaete chrysosporium and Pleurotus sajorcaju. Enzyme Microb Technol. 2001;29(8–9):473–7.

2. Dahiya D, Nigam PS. Waste management by biological approach employing natural substrates and microbial agents for the remediation of dyes' wastewater. Applied sciences. 2020;10(8):2958.

3. Zafar S, Bukhari DA, Rehman A. Azo dyes degradation by microorganisms–An efficient and sustainable approach. Saudi J Biol Sci. 2022;29(12):103437.

4. Namasivayam C, Radhika R, Suba S. Uptake of dyes by a promising locally available agricultural solid waste: coir pith. Waste management. 2001;21(4):381–7.

5. Hajiaghababaei L, Ashrafi L, Abkenar SD, Badiei A, Ganjali MR. Efficient removal of reactive Blue-19 from textile wastewater by adsorption on methyl Imidazolium

14. Schartup AT, Choy CA. Regional variation in fish mercury. Nat Food. 2024;5(10):807–8.

15. Madan S, Shaw R, Tiwari S, Tiwari SK. Adsorption dynamics of Congo red dye removal using ZnO functionalized high silica zeolitic particles. Appl Surf Sci. 2019;487:907–17.

16. Meez E, Rahdar A, Kyzas GZ. Sawdust for the removal of heavy metals from water: a review. Molecules. 2021;26(14):4318.

17. Shukla A, Zhang YH, Dubey P, Margrave JL, Shukla SS. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. J Hazard Mater. 2002;95(1–2):137–52.

18. Dada AO, Olalekan AP, Olatunya AM, Dada O. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn2+ unto phosphoric acid modified rice husk. IOSR Journal of applied chemistry. 2012;3(1):38–45.

19. Bedin KC, Martins AC, Cazetta AL, Pezoti O, Almeida VC. KOH-activated carbon prepared from sucrose spherical carbon: Adsorption equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for Methylene Blue removal. Chemical Engineering Journal. 2016;286:476–84.

20. Lee CK, Low KS, Gan PY. Removal of some organic dyes by acid-treated spent bleaching earth. Environ Technol. 1999;20(1):99–104.

modified LUS-1 and MCM-48 nanoporous. International Journal of Nano Dimension. 2020;11(3).

6. Azanaw A, Birlie B, Teshome B, Jemberie M. Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering. 2022;6:100230.

7. Al-Qaim FF. Adsorption of malachite green (MG) on low cost–adsorbent from aqueous solution. Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences. 2011;1(19):48–56.

8. Şuteu D, Bîlbă D, Gorduza VM. Removal of Reactive Dyes from Waste Waters Using Ion Exchangers. Buletinul IP Iaşi. 1997;43:1–2.

9. Al-Qaim FF. Adsorption of malachite green (MG) on low cost–adsorbent from aqueous solution. Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences. 2011;1(19):48–56.

10. Abdelghaffar F. The performance of yeast, fungi, and algae biomass in dye elimination. Advanced Removal Techniques for Dye-containing Wastewaters. 2021;217–36.

11. Krishna BG, Tiwari S, Ghosh DS, Rao MJ. Environmental applications of activated carbon. 2023;

12. Ibrahim SM, Al-Harby NF, El-Molla SA, Ibrahim ES. New combined experimental and DFT studies for adsorption of sole Azo-dye or binary cationic dyes from aqueous solution. Sci Rep. 2024;14(1):14756.

13. Index M. The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals. Drugs, and Biologicals,. 1989;1741.