

إزالة الحديد (III) من المحاليل المائية بنفاية أوراق نبات الثوم البيرودي

علا عدنان حميض* د. إيمان مصطفى البكري*

الملخص

استخدمت أوراق نبات الثوم البيرودي المجففة والمعالجة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم في إزالة الحديد (III) من الماء تضمن العمل دراسة تأثير pH المحلول وكتلة المادة المازة والتركيز الابتدائي للأيون عند درجات حرارة مختلفة ودراسة حركية وترموديناميكية الامتزاز بالإضافة لتوصيف العينات بطريقتي IR و SEM. أظهرت الدراسة أنّ عملية الامتزاز تخضع لكل من نموذجي لانغموير وفريندليش. وصلت سعة امتزاز أيون Fe(III) الأعظمية على الأوراق المعالجة إلى 29.76mg/g عند الدرجة (25°C) كما أظهرت الدراسة أنّ سعة الامتزاز تزداد بازدياد درجة الحرارة. وأنّ أفضل نسبة إزالة لـ Fe(III) كانت عند pH (4-6) وأنّ الزمن الأمثل لإزالة الأيون تحدث بعد حوالي ساعة من زمن التماس.

الكلمات المفتاحية: أوراق نبات الثوم البيرودي، الامتزاز، إزالة الحديد (III).

* قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة دمشق - سورية.

Removal Of Iron (III) From Aqueous Solutions In The Waste Of The Leaves Of The Eabrod Garlic Plant

Oula A. Hommaid* Dr. Iman M. Al Bakri*

Abstract

The dried leaves of Eabrod garlic plant treated with sodium hydroxide solution were used to remove Iron from synthetic aqueous solutions, which included the study of the effect of solution pH, adsorbent weight, the initial concentration of the pigment at different temperatures and Thermodynamics and kinetics study and characterisation of samples by IR, SEM methods.

The study showed that the process of adsorption is obeyed to both Langmuir and Freundlich equations. The maximum adsorption capacity of the Iron was 29.76mg/g. The study also showed that the amount of ion on the treated garlic leaves increased by increasing the pH of the medium and the treatment temperature and that the highest percentage of ion removal occurs after about one hour of contact time.

Key Words: Leaves of Eabrod garlic plant, adsorption, Iron(III) removal.

* Department Of Chemistry, Faculty of Science, Damascus University, Syria.

1- المقدمة:

منذ ظهور الثورة الصناعية، أصبحت مياه الصرف الصناعي أحد المصادر الرئيسية لتلوث المياه لاسيما بالمعادن الثقيلة التي أثرت سلباً في نقاء المياه السطحية وعلى خواص التربة الزراعية.

تدخل المعادن الثقيلة إلى البيئة المائية عبر مياه الصرف الصناعي وأنشطة التعدين كصناعة البطاريات وانبعاثات السيارات وغيرها.

إن العديد من المعادن الثقيلة هي عناصر ضرورية للبشر والحيوانات والنبات بكميات ضئيلة. على أي حال، يؤدي استهلاك كميات كبيرة منها إلى سمية حادة ومزمنة ترتبط بإعاقات التعلم والسرطانات وحتى الموت [1]. ينتمي الحديد إلى مجموعة المعادن الثقيلة الغنية والمهمة والتي يُعد وجودها في المياه من المشاكل الشائعة التي يواجهها العاملون في مجال معالجة المياه.

وعلى الرغم من أن وجود أيونات الحديد بتركيز منخفضة في المياه الصالحة للشرب لا يضر بالصحة البشرية، لكن ارتفاع تركيز الحديد عن الحد المسموح به يسبب العديد من المشاكل كالعكارة والطعم السيء واللون والتصبغ وتلطيخ الغسيل [2]. أضف إلى ذلك أن ازدياد تركيز أيونات الحديد في المياه يخلق العديد من المشاكل التقنية إذ تترسب أيونات الحديد على جدران الأنابيب عند تعرضها للهواء الأمر الذي يتسبب بتآكل الأنابيب [3].

لذا فقد أوصت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن لا يتجاوز محتوى الحديد في مياه الشرب (0.3mg/L) كما أوصت المفوضية الأوروبية بأن لا يتجاوز محتوى الحديد في المياه (0.2mg/L) [4]. يوجد العديد من الطرائق لإزالة أيونات الحديد كالترسيب والتخثير الكيميائي والتبادل الأيوني والتخثير الكهربائي ويعد الامتزاز واحداً من أفضل الطرائق التي تلقى رواجاً في الوقت الراهن [2,3]. زاد الاهتمام في الآونة الأخيرة باستخدام المازات الطبيعية والزراعية في معالجة التلوث البيئي لاسيما في

إزالة أيونات المعادن الثقيلة [5] وتُعدُّ المازات الحيوية الناتجة عن النفايات الزراعية أحد أفضل الخيارات المستخدمة لمعالجة المياه بطريقة الامتزاز بسبب كفاءتها العالية ورخص ثمنها وتوفرها بكثرة وسهولة الحصول عليها وأمانها البيئي، إذ تحتوي عادةً الكتلة الحيوية الزراعية على السليلوز والليجين والبروتين ذات المجموعات الوظيفية المسؤولة عن امتزاز الأيونات المعدنية بكفاءة من المياه [6]. فقد نجح (Lugo,2012) في إزالة أيونات الحديد من المياه مستخدماً قشور البرتقال كماز [7]، ولجأ (Abood,2015) لاستخدام أوراق فاكهة القشطة (durian leaves) في إزالة أيونات الحديد من الماء [1]. وتمكّن (Abdul Kadir,2013) من إزالة أيونات الحديد والزنك باستعمال نخالة الرز كمادة مازة [8].

تُعدُّ أوراق الثوم من النفايات الزراعية التي يمكن الحصول عليها بسهولة وذلك نظراً للاستهلاك الكبير لهذا النبات والكميات الهائلة من النفايات التي تنتج عنه [9]. تتألف أوراق نبات الثوم التي تحيط بالساق من عدة مكونات ويمثل السليلوز جزءاً منها.

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة إمكانية استخدام النفاية الزراعية الناتجة عن أوراق نبات الثوم البيروودي كمادة مازة في إزالة الحديد (Fe(III) من محاليل مائية صناعية واختبار القدرة الامتزازية لهذه الكتلة الحيوية ودراسة عدد من المعاملات ذات العلاقة كتأثير pH الوسط وتأثير التركيز الابتدائي للأيون وتأثير كتلة الماز وتوصيف عملية الامتزاز بتطبيق نموذجي الامتزاز للانغموير وفريدنليش ودراسة حركية وترموديناميكية الامتزاز وتعيين طاقة التنشيط بالإضافة لتوصيف الأوراق بطريقتي IR و SEM.

3- مواد البحث وطرائقه:

1-3- الأجهزة المستخدمة:

-هزاز حاضنة JSSI-200CL ، من نوع JSR صناعة كورية.

- جهاز قياس الطيف UV-Visible Spectrophotometer من نوع Optizen UV 3220 صناعة كورية.
- جهاز FT-IR Spectrometer نموذج Impact 415 من شركة Nicolet الأمريكية.
- جهاز الماسح المجهر الإلكتروني SEM نموذج UEG Iixmu من شركة TESCAN التشيكية.
- جهاز قياس الحموضة METTLER TOLEDO pH/Ion S220 صنع في Switzerland.
- مجفف كهربائي Oven U40 , memmert صناعة ألمانية.
- ميزان إلكتروني بدقة 10^{-4} من نوع Pricesa 240 A صنع في Switzerland.
- Syringe filters، حجم المسام $0.45\mu\text{m}$ ، حجم الفلتر 13mm نوع SJM صناعة كورية.
- حمض كلور الماء: كثافة 1.19g/ml، ونقاوة 37%، من شركة panrace.
- حمض الآزوت: كثافة 1.395، ونقاوة 65%، من شركة panrace.
- هيدروكسيد الصوديوم: النقاوة 98% من شركة panrace.
- كلوريد الحديد $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ من MERCK .
- تيوسيانات البوتاسيوم من MERCK.
- فحم فعال حبيبي تجاري: Steam activated granular(Fluka), For Potable Water Processing ، Catalog Number 37771 From Coal ، Riedel-de من Germany-Haën .
- عينة أوراق نبات الثوم: جُمعت أوراق نبات الثوم البيروودي في الحالة الجافة (من مزارع مدينة بيروت) وقُطعت لأجزاء صغيرة ، ثم وضعت في الماء (ماء الصنبور) لتغلي لمدة 2 ساعة ،جرى بعد ذلك تصفية الأوراق وغسلها عدة مرات بماء الصنبور للتخلص من الشوائب العالقة بالأوراق ،ثم تركت لتجف عند درجة حرارة الغرفة.

طُحنت الأوراق بطاحونة منزلية وحفظت في وعاء مغلق لا تصلها الرطوبة إلى حين استعمالها.

2-3- تحضير المحاليل:

- محلول Fe(III) (1000 ppm): حُضِرَ بإذابة 4.84 g من $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ في 1000 mL من الماء الثنائي التقطير.

- محلول نيوسيانات البوتاسيوم 2M: حُضِرَ بإذابة 19.44 g من النيوسيانات في 100 mL من الماء المقطر.

- محلول حمض الآزوت 4M: حُضِرَ بتمديد 28 mL من الحمض المركز حتى 100 mL.

3-3- تحضير مادة الامتزاز (عينة أوراق نبات الثوم المعالجة GL):

عولج 10 g من أوراق نبات الثوم المجففة والمطحونة بمحلول قلوي من (6% w/w NaOH، 250 mL) لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة الغرفة مع التحريك المستمر بمحرك مغناطيسي ثم فُصلت المادة الصلبة عن السائل وغُسلت بالماء المقطر الساخن حتى الحصول على رُشاحة غسيل ذات pH معتدل. ثم تُرُكت العينة لتجف في فرن كهربائي عند الدرجة $60^\circ C$. تمثل المادة الصلبة الناتجة عن المعالجة القلوية مادة الامتزاز التي ستختبر وسيُرمز لها بالرمز (GL).

عُين محتوى السيللوز لعينة الأوراق قبل المعالجة القلوية وبعدها وفقاً لطريقة Van Soest في التحليل الكمي لألياف الأعشاب وأجريت التحاليل في المخابر البحثية للمركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) حيث بلغ محتوى السيللوز في الأوراق الخام 26.28% فيما بلغ محتواه في الأوراق المعالجة GL 44.29% في حين انخفضت نسبة اللغنين من 15.34% في الأوراق الخام لتصبح 4.48% في أوراق GL وانخفضت نسبة الهيموسيللوز من 8.7% لتصبح 6.50% في أوراق GL.

4-3- تعيين تركيز أيون Fe(III):

عُين تركيز Fe(III) بطريقة المطيافية الجزيئية وذلك عبر تعقيد أيون Fe(III) بأيون التيوسيانات إذ يتشكل المعقد $[Fe(SCN)_6]^{3+}$ ذو اللون الأحمر الدموي، مع إضافة حمض الآزوت أثناء تعيين أيونات Fe(III) لمنع عملية الحلمهة. أنشئ منحنى المعايرة Calibration Curve من خلال تحضير عدة محاليل معيارية لأيون وقراءة امتصاصية معقد أيون Fe(III) عند طول الموجة الأعظمي $\lambda_{max}=480nm$ [10]. حيث لوحظ أن قيمة R^2 تساوي (0.9978) وهي قريبة من الواحد وهو ما يشير إلى خطية المنحنى وتحقيقه لقانون بير - لامبرت.

5-3- دراسات الامتزاز:

أجريت جميع تجارب الامتزاز بهز كتلة (0.50 g) من المادة المازة GL مع 50 mL من المحلول المائي الحاوي على أيون Fe(III) بتركيز تراوحت من (25-250 mg/L) دون ضبط pH الوسط، حيث وضعت المزائج في أربينات حجمها 100mL عند سرعة هز ثابتة (150 هزة / دقيقة) ودرجة حرارة 25°C لمدة 24 ساعة، ثم فصل السائل الطافي عن العينات وعُين التركيز النهائي لأيون Fe(III). أعيدت التجربة عند درجات الحرارة (15-20 °C).

حُسبت نسبة إزالة Fe(III) والكمية الممتزة بتطبيق العلاقات (1 و 2) على الترتيب [11,5]

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

تمثل - R% نسبة الإزالة، C_0 التركيز الابتدائي لـ Fe(III) بـ (mg/L) و C_e التركيز التوازني لـ Fe(III) بـ (mg/L)

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (2)$$

تمثل q_e الكمية الممتزة عند وضع التوازن (mg/g) و V حجم المحلول بـ (L)،
 ووزن المادة المازة GL بـ (g). دُرِس تأثير كلٍّ من pH المحلول وكتلة الماز على
 عملية الامتزاز، وقورنت فعالية عينة GL مع مازات أخرى في إزالة أيون Fe(III).
3-6- الدراسة الحركية:

هُزَّ مقدار (0.50 g) من المادة المازة GL مع 50 mL لمحلول أيون
 Fe(III)الصنعي ذي التركيز (100 mg/L) في أرلينة سعة 100 mL، دون ضبط
 قيمة pH المحلول عند سرعة هز ثابتة (150 هزة / دقيقة) ودرجة حرارة 25°C وُعِين
 تركيز أيون Fe(III) عند أزمنة مختلفة تراوحت من (5 دقائق-24 ساعة). كُرِّرَت
 التجربة من أجل التراكيز (25-50-200-250 mg/L).

لتعيين مرتبة تفاعل الامتزاز لسطح المادة المازة وأيونات Fe(III) طُبِّقت معادلة
 المرتبة الأولى الظاهرية حسب نموذج Lagergren. العلاقة (3) [9] ، كما طُبِّقت
 معادلة المرتبة الثانية الظاهرية العلاقة (4) [3]:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log}q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right)t \quad (3)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

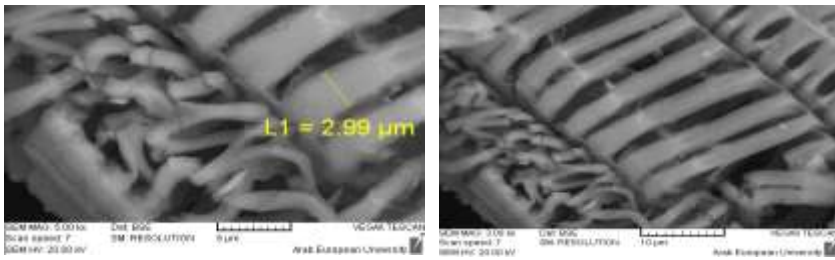
حيث: q_t , q_e (mg/g) الكمية الممتزة عند وضع التوازن والزمن t على التوالي، t
 الزمن بـ (الدقيقة)، k_1 (min^{-1}) ثابت السرعة من المرتبة الأولى الظاهرية [3]، k_2
 ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) ثابت السرعة من المرتبة الثانية الظاهرية.

4-النتائج والمناقشة:

4-1- دراسة مورفولوجيا الأوراق SEM:

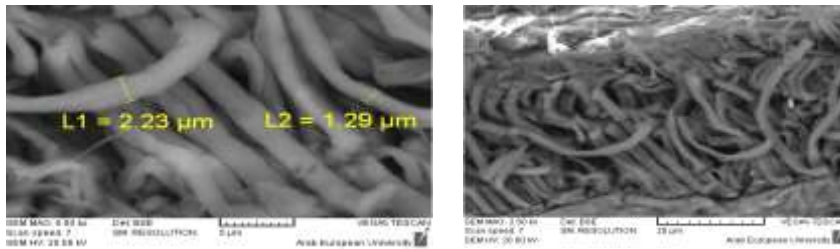
استُخدمت صورة الماسح للمجهر الإلكتروني SEM لإظهار الاختلاف في
 مورفولوجيا الأوراق قبل المعالجة القلوية وبعدها.

يُظهر الشكل (A-1) الألياف الخام للأوراق بشكل تجمعات أسطوانية منتظمة والألياف متباعدة عن بعضها وهي تشكل ظفائر غير متجانسة، في حين يظهر الشكل (C-2) أنّ المعالجة الكيميائية قد أحدثت تخريباً في السلسلة فأصبحت الألياف غير منتظمة ومتراكبة فوق بعضها وعشوائية الاتجاه. ويعود ذلك بشكل رئيس لإزالة جزء من اللغنين والهيموسيللوز (الفقرة 3-3) من الألياف الخام. يُظهر الشكل (B-1) أنّ متوسط قطر ألياف السيللوز الخام قد وصل لـ $2.99\mu\text{m}$ ، في حين وصل متوسط قطر ألياف السيللوز المعالجة لـ $2.23\mu\text{m}$ ، الشكل (D-2)، وهو ما يشير إلى أنّ المعالجة القلوية قد خفضت حجم الألياف إلى مستويات أكثر ميكروثية لتصبح أصغر كما أنّها أصبحت منفصلة عن بعضها بشكل أكبر.



B A

الشكل (1): صورتا SEM لألياف أوراق الثوم الخام



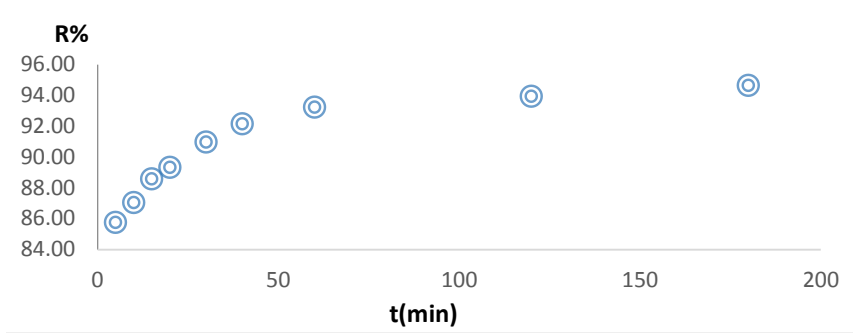
C

D

الشكل (2): صورتا SEM لألياف أوراق الثوم المعالجة

2-4- تأثير زمن تماس أيون Fe(III) مع المادة المازة:

دُرس تأثير زمن تماس أيون Fe(III)، تركيزه 100mg/L مع المادة المازة (أوراق GL). يُظهر الشكل (3) النتائج.

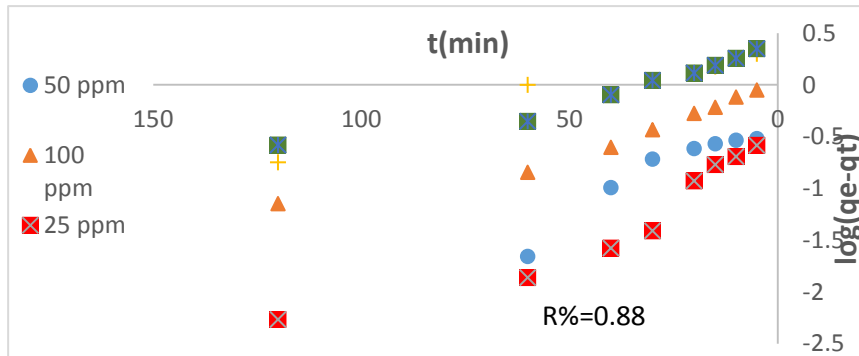


الشكل (3): تأثير زمن التماس في إزالة أيون Fe^{3+} باستخدام أوراق GL عند الشروط 150 اهزة/دقيقة،
دون ضبط pH ($t=25\pm0.5$ C, $C_{Fe^{3+}}=100mg/L$, $V_{sol}=50mL$, $w_{GL}=0.50$ g)

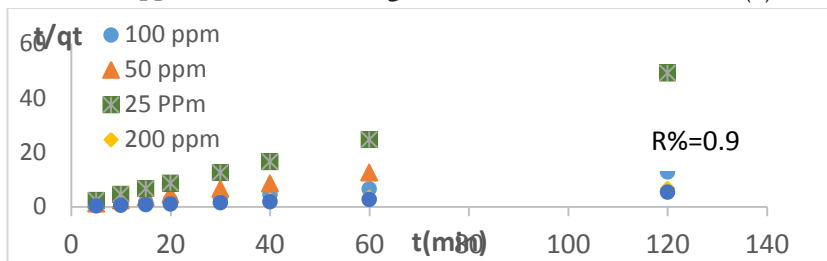
تُظهر الدراسة أن أكثر من 85% من أيونات الـ Fe(III) قد امتزت على سطح الأوراق خلال الدقائق الأولى من زمن التماس أي أن عملية الامتزاز سريعة. بسبب المساحة السطحية الكبيرة على سطح الأوراق الجاهزة لامتزاز أيونات الحديد [1]، ثم يزداد الامتزاز ببطء ليبلغ 90% بعد نصف ساعة و 93% بعد ساعة بسبب نقص في عدد المواقع الفارغة على سطح الأوراق [1] بالإضافة إلى قوى التدافع بين أيونات الحديد التي لم تمتز الموجودة في عمق المحلول، والأيونات التي شغلت سلفاً مواقع الامتزاز على سطح الأوراق GL. حيث لم تتجاوز الزيادة 1% (بين زمني ساعة وزمن 24 ساعة)، لذا يمكن القول إن زمن ساعة يمثل زمن التماس الأمثل. يتوافق الامتزاز السريع الذي نراه مع ما وجدته (Agbozu,2014) في إزالة الحديد بقشور جوز الهند حيث وصل أفضل زمن تماس لـ 20 دقيقة [12]، كما تتفوق نتائج الدراسة على ما وجدته (Abood,2015) في إزالة الحديد بأوراق فاكهة القشطة (durian) حيث لم تتجاوز نسبة الإزالة 45% بعد ساعة من زمن التماس [1]. تتفوق

نتائج الدراسة أيضاً مع ما وجده (Abdul Kadir,2013) في إزالة الحديد بنخالة الأرز حيث وصلت أعلى نسبة إزالة إلى 73% بعد 90 دقيقة من زمن التماس [8] في حين أن نتائج الدراسة تُظهر أن نسبة الإزالة قد تجاوزت 93% بعد ساعة من زمن التماس.

لتعيين مرتبة التفاعل طُبقت العلاقات (3 و4) بتركيز متعددة (الجدول (1)). تُظهر الأشكال (4 و5) نتائج الدراسة.



الشكل (4): معادلة حركية الامتزاز من المرتبة الأولى الظاهرية عند التراكيز 250-25ppm



الشكل (5): معادلة حركية الامتزاز من المرتبة الثانية الظاهرية عند التراكيز 250-25 ppm

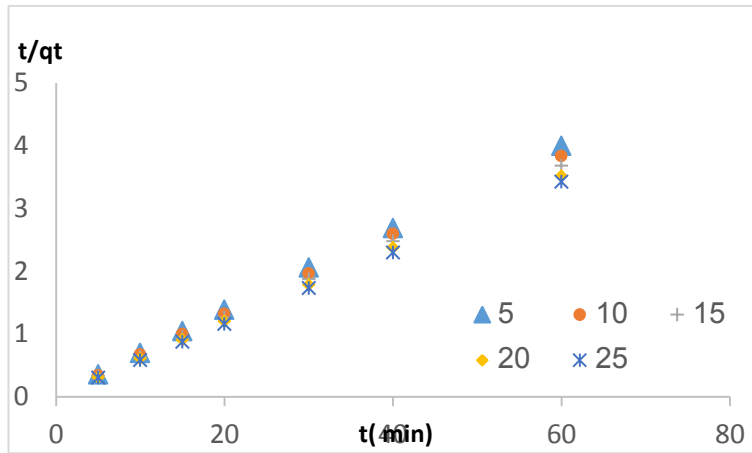
تُظهر قيم معامل الارتباط أنَّ معادلة المرتبة الثانية الظاهرية هي الأكثر توافقاً .
يضم الجدول (1) نتائج تعيين الثوابت الحركية عند التراكيز المدروسة لمعادلة حركية الامتزاز من المرتبة الثانية الظاهرية

الجدول (1): الثوابت الحركية لامتزاز أيون Fe(III) على أوراق GL عند تراكيز مختلفة
وعند الشروط (150 هزة / دقيقة، دون ضبط قيمة pH المحلول، $w_{GL}=0.50g$ ، $V_{sol}=50mL$ ،
($t=25\pm 0.5$ C

التركيز mg/L	$1/k_2q_e^2$	$1/q_e$	k_2	q_e (المحسوبة)	q_e (التجريبية)
25	0.3558	0.4065	0.46	2.46	2.43
50	0.1892	0.2065	0.23	4.84	4.81
100	0.1004	0.1057	0.11	9.46	9.47
200	0.0232	0.0568	0.139	17.60	18.23
250	0.042	0.0436	0.045	22.94	22.30

حيث تشير النتائج أنَّ قيم الكميات الممتازة للتراكيز المحسوبة من معادلة المرتبة الثانية الظاهرية العلاقة (4) تقترب من القيم التجريبية وهي نتيجة تتفق مع (Adebayo,2016) [13] و (Magda,2013) [14] و (Mahmoud,2015) [3].
وهو ما يشير إلى أنَّ عملية امتزاز أيون Fe(III) على أوراق GL تتبع حركية المرتبة الثانية الظاهرية.

طبقت معادلة حركية الامتزاز من المرتبة الثانية الظاهرية لأيون Fe(III) في التركيز 200mg/L عند درجات الحرارة (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C)، يُظهر الشكل (6) نتائج الدراسة:



الشكل (6): معادلة حركية الامتزاز من المرتبة الثانية الكاذبة عند الدرجات (5 C), (10 C), (15 C), (20 C), (25 C)

حُسبت قيم ثوابت السرعة من المرتبة الثانية الظاهرية من معادلات الخط المستقيم في الشكل (6) ويبين الجدول (2) نتائج الدراسة:

الجدول (2): قيم ثوابت السرعة من المرتبة الثانية الظاهرية لامتزاز أيون Fe(III) عند درجات حرارة مختلفة وتحت الشروط (التحريك ضمن حمام مائي، دون ضبط قيمة pH المحلول، $t_{im}=1h, V_{sol}=50mL, w_{GL}=0.50g, C_0=200 mg/L$)

T(الكلفن)	278	283	288	293	298
$1/q_e$	0.0661	0.0635	0.0609	0.0584	0.0568
q_e	15.13	15.75	16.42	17.12	17.60
$1/(k_2 q_e^2)$	0.0484	0.042	0.0358	0.0288	0.0232
k_2	0.090	0.096	0.104	0.118	0.139

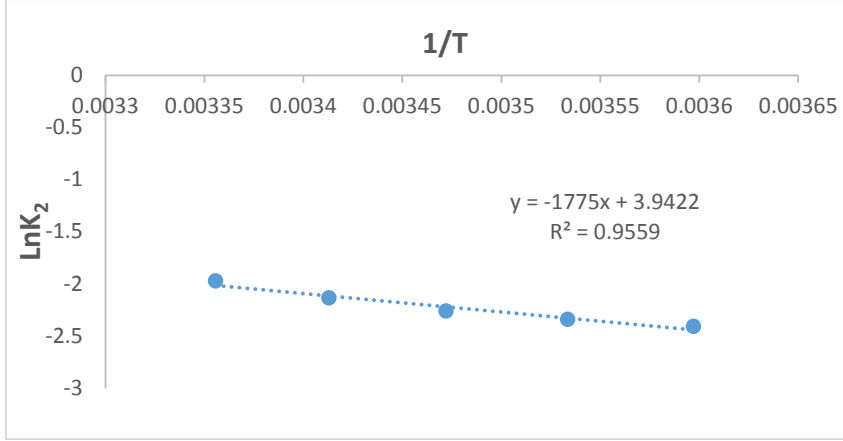
حُسبت طاقة تنشيط تفاعل امتزاز أيون Fe(III) على عينة GL عند درجات الحرارة (10°C, 15°C, 20°C, 30°C) من علاقة أرينيوس (5) [3]:

$$\ln k_2 = \ln k_0 - E_a/R.T \quad (5)$$

تمثل - k_2 ثابت السرعة. T درجة الحرارة بـ الكلفن، k_0 ثابت أرينيوس (عامل التواتر وواحدته من واحدة ثابت السرعة).

E_a طاقة التنشيط (kJ/mol)، R ثابت الغازات العامة (8.314 J/mol K).

ويرسم العلاقة بين $\ln k_2$ و $1/T$ نحصل على الشكل (7)،



الشكل (7): العلاقة بين $\ln k_2$ و $1/T$

من معادلة الخط المستقيم وميله في الشكل (7) تُعین طاقة التنشيط، فتساوي (14.76 KJ/mol) أي إنها تتراوح من (0-40KJ/mol) وهو ما يشير إلى امتزاز فيزيائي ضعيف، فالامتزاز الفيزيائي يحدث بسرعة ويمكن عكسه بسهولة ويخضع لقوى امتزاز ضعيفة [3].

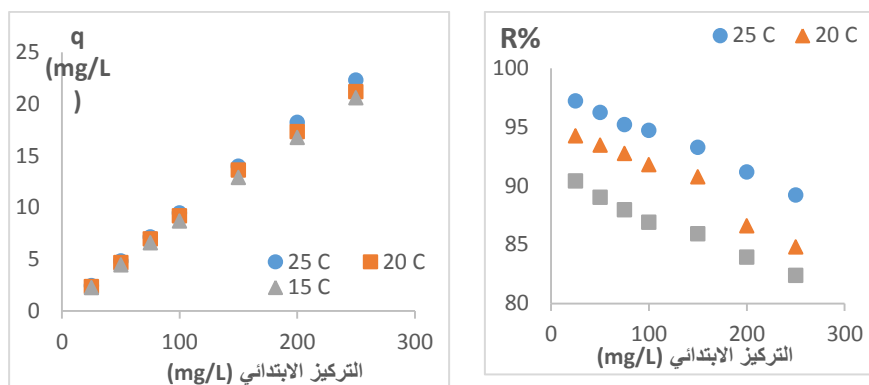
3-4- تأثير التركيز الابتدائي لأيون Fe(III) في عملية الامتزاز:

دُرس تأثير التركيز الابتدائي في إزالة أيون Fe(III) بالامتزاز على GL عند

ثلاث درجات حرارة (25,20,15°C) الأشكال (8b,8a).

(8b)

(8a)



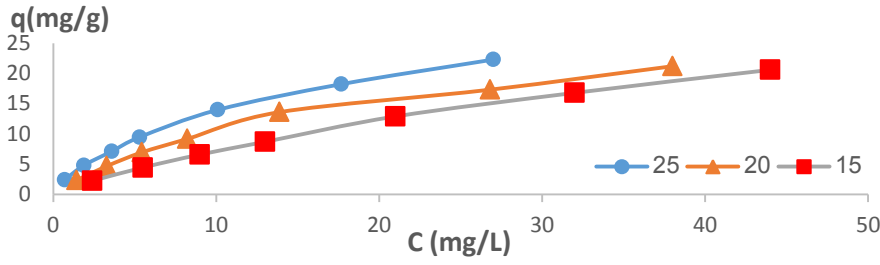
الأشكال (8a,8b): تأثير تغير التركيز الابتدائي لأيون Fe(III) (8a) : كتابع لنسبة الامتزاز و (8b) : كتابع للكمية الممتزة) على عملية الامتزاز بأوراق GL عند درجات حرارة مختلفة وعند الشروط 150 هزة / دقيقة، دون ضبط قيمة pH المحلول، $w_{GL}=0.50g$ ، $V_{sol}=50mL$ ، $t=24h$

تدل الأشكال (8a,8b) أن نسبة إزالة أيون Fe(III) تزداد بانخفاض التركيز الابتدائي لأيون Fe(III) في المحلول وذلك لانخفاض نسبة أيونات Fe(III) إلى عدد مواقع الامتزاز المتوفرة على سطح الأوراق والعكس صحيح [1].

كما تُظهر الأشكال (8b,8a) أن كمية Fe(III) الممتزة على سطح الأوراق تتعلق بدرجة الحرارة حيث تزداد الكمية الممتزة قليلاً بارتفاع درجة الحرارة وهي نتيجة تتفق مع العديد من الدراسات (امتزاز الحديد بقشور البرتقال المحورة و قشور جوز الهند وقصب السكر وفحم بذور النخيل) [3,5,13,15].

تُشير زيادة الكمية الممتزة بارتفاع درجة الحرارة إلى أن عملية الامتزاز هذه ماصة للحرارة ويعود سبب الزيادة إلى أنه بارتفاع درجة الحرارة يزداد التأثير بين سطح المادة المازة وأيونات Fe(III) [15] كما أن ارتفاع درجة الحرارة يسرع انتشار المادة الممتزة في المسامات الداخلية للمادة المازة [3].

رُسمت منحنيات متساوي درجة الحرارة لامتزاز أيون Fe(III) على الأوراق GL عند درجات الحرارة المختلفة كما في الشكل (9).



الشكل (9): منحنيات متساوية الدرجة لامتماز أيون Fe(III) على GL عند درجات الحرارة المختلفة

يُشير الشكل (9) أن منحنيات الامتماز هي من النوع L الذي يدل على أن الامتماز يتبع متساوي الدرجة لانغموير (Giles, 1960) [16]. لتوصيف عملية امتزاز أيون Fe(III) على الأوراق تُطبق كلٌّ من نموذجي لانغموير وفريندليش (العلاقين (6 و 7)) حيث يصف "لانغموير" الامتماز أحادي الطبقة الذي يفترض حدوث الامتماز على عدد معين من مواقع الامتماز التي تكون متماثلة ومتكافئة تماماً مع غياب أي تأثيرات متبادلة بين الأيونات الممتزة. كما يفترض لانغموير أن جزيئاً واحداً يمكن أن يشغل موقع الامتماز وليس أكثر من ذلك [17]. في حين يصف "فريندليش" الامتماز الذي يحدث على سطح غير متجانس حيث تكون مواقع الامتماز متفاوتة الإلفة نحو الجسم الممتز حيث يشغل الجسم الممتز أولاً الموقع الأكثر إلفة [18].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_{max}} + \left(\frac{1}{q_{max}}\right)C_e \quad (6) \quad \text{علاقة لانغموير}$$

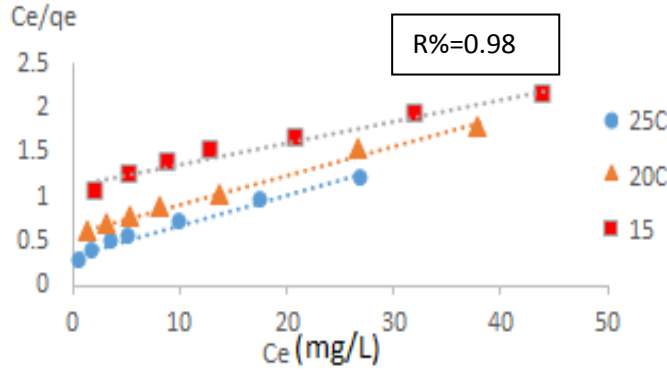
q_e - الكمية الممتزة عند وضع التوازن (mg/g)، q_{max} الامتماز الأعظمي لطبقة واحدة (mg/g)

C_e تركيز Fe(III) المتبقي في المحلول عند التوازن mg/L، b ثابت لانغموير بـ [L/mg] [20,19,5].

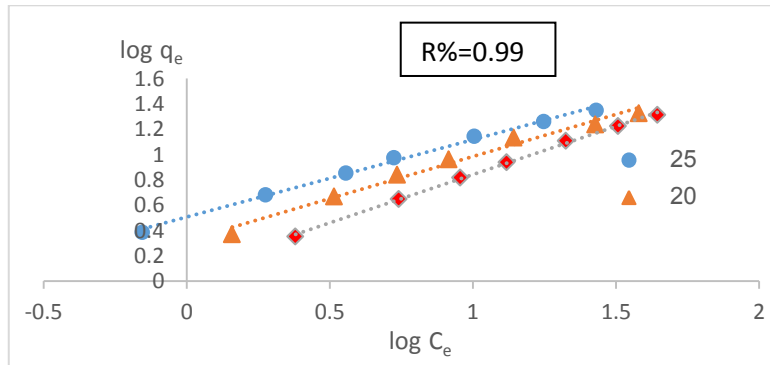
$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad \text{معادلة فريندليش}$$

$$\text{Log } q_e = \text{Log } k_f + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (7) \quad \text{معادلة فريندليش بالشكل الخطي}$$

يعكس $\frac{1}{n}$ كثافة الامتزاز وهو معيار لعدم التجانس، يمثل k_f ثابت فريندليش $((\text{mg/g}) (\text{L/mg})^{1/n})$ وهو يعكس شدة الامتزاز [19,5].
 طُبِّقَت علاقتا لانغموير وفريندليش وذلك برسم C_e/q_e بدلالة C_e (الشكل(10))، ورُسم $\text{Log } q_e$ كتابع لـ $\text{Log } C_e$ (الشكل (11)).



الشكل(10): متساوي الدرجة للانغموير لامتزاز أيون Fe^{3+} على GL عند درجات حرارة مختلفة



الشكل (11): متساوي الدرجة لفريندليش لامتزاز أيون Fe^{3+} على GL عند درجات حرارة مختلفة

تُشير قيم معامل الارتباط أنّ كلا النموذجين تنطبق عليه بيانات الامتزاز بالتوافق مع نتائج (Razmovski,2008) في الامتزاز على المازات الحيوية [21]. بالاستناد إلى

معادلتى لانغموير وفريندليش ((6) و(7)) على الترتيب وبالاستعانة بالمعادلات الخطية الناتجة عن الأشكال ((10) و(11)) يُمكن حساب q_{max} القيمة الأعظمية الممتزة لأيون Fe(III) على سطح الأوراق بالإضافة لحساب ثوابت لانغموير وفريندليش "الجدول (3)".

الجدول (3): حساب ثوابت لانغموير وفريندليش لمتساوي الدرجة لامتزاز أيون Fe(III) على GL عند درجات حرارة مختلفة وعند الشروط (150 هزة / دقيقة، دون ضبط قيمة pH المحلول،

$$\cdot (V_{sol}=50mL, w_{GL}=0.50g, t=24h)$$

متساوي الدرجة	الثوابت	الدرجة 25°C	الدرجة 20°C	الدرجة 15°C
نموذج لانغموير	$q_{max}(mg/g)$	29.76	30.58	40.69
	$q_{max}(mol/g)$	0.53×10^{-3}	0.55×10^{-3}	0.73×10^{-3}
	$b(L/mg)$	0.097	0.055	0.022
	$b(L/mol)$	5.43×10^3	3.08×10^3	1.23×10^3
	R^2	0.979	0.991	0.974
نموذج فريندليش	$k_f(mg/g)$	3.22	2.09	1.20
	n	1.64	1.52	1.31
	$1/n$	0.61	0.66	0.7628
	R^2	0.995	0.984	0.998

تُشير النتائج في الجدول (3) أن $0.1 < 1/n < 1$ وهو ما يشير إلى أن الامتزاز على GL مفضل، كما أنه وبالاستناد لشكل منحنى متساوي درجة حرارة الامتزاز (الشكل (9))، يُعد هذا النوع من الامتزاز مستمراً وغير متوقف أي أنه لا يتوقع حدوث أي إشباع على سطح المادة المازة كما أن التغطية السطحية لانهاية وهو ما يعني أن الامتزاز هنا متعدد الطبقات [13]. تبلغ سعة الامتزاز الأعظمية عند الدرجة 25°C المقدار 29.76 mg/g وهي بذلك تتجاوز سعة الامتزاز الأعظمية لأوراق Durain كما وجد (Abood,2015) والتي تبلغ 3.914mg/g [1] كما أنها تتجاوز سعة الامتزاز الأعظمية لمخلفات قصب السكر والتي تبلغ (331.1) 18.536mg/g (5) (µmol/g)، وهي أعلى من سعة الامتزاز الأعظمية لحرشف السمك والبالغة (55.249 µg/g) [22] كما تُعد سعة الامتزاز الأعظمية لـ Fe(III) على أوراق الثوم قريبة من سعة امتزاز Fe(III) على المازات الحيوية لبكتريا (*Polyporus squamosus*) والبالغة 31.2mg/g [21].

وُعُيُنِتِ التَّوَابِعِ التَّرْمُودِيْنَامِيْكِيَّةِ الْمُتَضَمِّنَةُ الطَّاقَةَ الْحَرَّةَ لِلْإِمْتِزَازِ (ΔG^0) وَالْأَنْتَالْبِيَّةِ (ΔH^0) وَالْأَنْتْرُوبِيَّةِ (ΔS^0) بِتَطْبِيقِ الْعِلَاقَاتِ (9,8) تَتَعَلَقُ الطَّاقَةُ الْحَرَّةَ لِلْإِمْتِزَازِ (ΔG^0) بِثَابِتِ التَّوَازَنِ الَّذِي يَمَثُلُ ثَابِتَ لِانْغَمُورِ حَسَبِ الْعِلَاقَةِ (5).

$$\Delta G^0 = -RT \ln b \quad (8)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$$

$$\ln b = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \quad \text{Van't Hoff علاقة (9)}$$

ΔG^0 - الطَّاقَةُ الْحَرَّةَ لِجَبِيْسِ (kJ/mol)، T ، دَرَجَةُ الْحَرَارَةِ بِالْكَفْنِ، R ثَابِتُ الْغَازَاتِ الْعَامِ، b ، ثَابِتُ التَّوَازَنِ لِلانْغَمُورِ بـ (L/mol) [13]. ΔS^0 ، ΔH^0 يَمَثَلَانِ تَغْيِيرَ أَنْتْرُوبِيَّةٍ وَأَنْتَالْبِيَّةٍ الْإِمْتِزَازِ مَقْدَرَتَيْنِ بـ (kJ/mol K)، (kJ/mol) عَلَى التَّوَالِي وَيَحْسَبَانِ بِرَسْمِ $\ln b$ بِدَلَالَةِ $1/T$. يُظْهِرُ الْجَدُولُ (4) قِيَمَ التَّوَابِعِ التَّرْمُودِيْنَامِيْكِيَّةِ لِلْإِمْتِزَازِ.

الجدول (4): التوابع الترموديناميكية لامتماز أيون Fe(III) على الأوراق GL

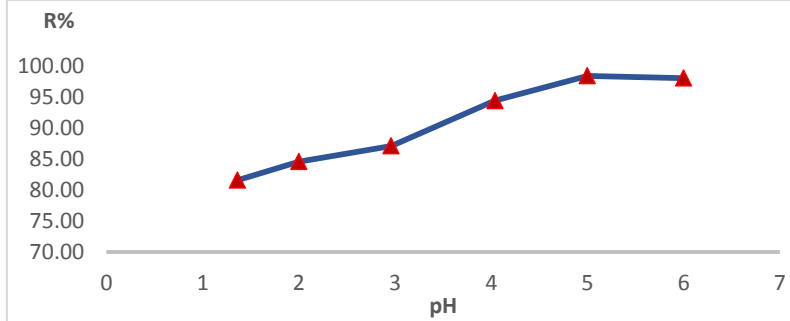
t °C	$\Delta G^0(\text{kJ mol}^{-1})$	$\Delta S^0(\text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1})$	$\Delta H^0(\text{kJ mol}^{-1})$
15	-17.04	429.00	106.04
20	-19.57		
25	-21.31		

تُظْهِرُ النَتَائِجُ فِي الْجَدُولِ (4) أَنَّ قِيَمَةَ (ΔH^0) مُوجِبَةٌ وَهُوَ مَا يَشِيرُ إِلَى أَنَّ عَمَلِيَّةَ الْإِمْتِزَازِ مَاصَةٌ لِلْحَرَارَةِ وَهِيَ نَتِيجَةٌ تَتَّفَقُ مَعَ الْعَدِيدِ مِنَ الدِّرَاسَاتِ [13,3] أَمَّا قِيَمَةُ (ΔG^0) السَّالِبَةُ فَتَشِيرُ إِلَى أَنَّ عَمَلِيَّةَ الْإِمْتِزَازِ تَتِمُّ بِصُورَةٍ تَلْفَائِيَّةٍ وَأَنَّ قُوَى الْإِمْتِزَازِ هُنَا ضَعِيفَةٌ مِنْ نَوْعِ فَاَنْدِرِ فَالْسِ [13] وَهِيَ نَتِيجَةٌ تَتَّسِجُ مَعَ الْإِمْتِزَازِ السَّرِيعِ كَمَا تَعَكْسُ قِيَمَةُ الْأَنْتْرُوبِيَّةِ الْمُوْجِبَةُ زِيَادَةَ الْعَشْوَانِيَّةِ عَلَى سَطْحِ التَّمَاسِ صَلْب - سَائِلِ [13].

4-4- تأثير pH المحلول في امتزاز أيون Fe(III):

لوحظ من التجارب السابقة أن pH الوسط لجمال الامتماز قد انتهى عند التوازن عند pH=4 لذا وليبان تأثير حموضة المحلول على عملية الامتماز فقد دُرس تأثير pH

المحلول في إزالة أيون Fe(III) بوساطة أوراق نبات الثوم المعالجة GL وذلك عند قيم pH (1.26- 2-3-4-5-6) حيث ضُبط pH المزيج باستخدام محاليل من NaOH و HCl بتركيز (0.10N) لكلٍ منهما. يُظهر الشكل (12) نتائج الدراسة.



الشكل (12): تأثير pH المحلول في إزالة أيون Fe(III) باستخدام أوراق GL وذلك عند

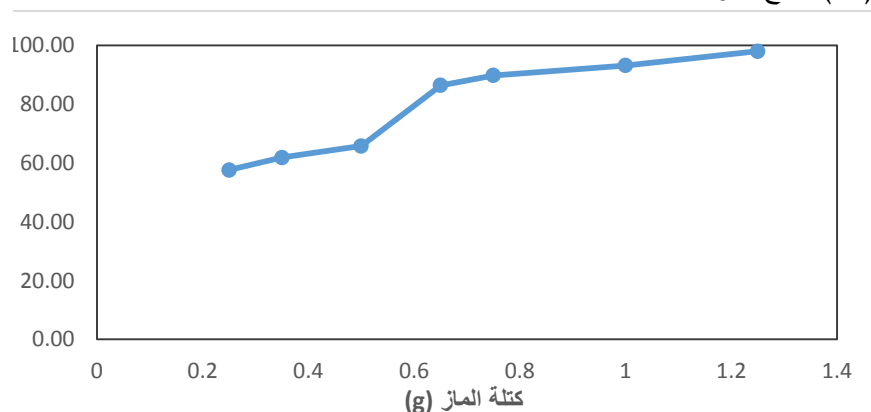
الشروط (150هزة / دقيقة، $C_{Fe(III)}=100\text{mg/L}$, $W_{GL}=0.5\text{g}$, $t=24\text{ h}$, $V_{sol}=50\text{mL}$, $t=25\pm 0.5\text{ C}$)

تُظهر النتائج ازدياد نسبة الإزالة بازدياد pH المحلول من (1.26 إلى 5) ويُعل ذلك بأن البروتونات H^+ تؤدي دوراً تنافسياً كبيراً في الأوساط الحمضية مع أيونات Fe(III) على شغل مواقع الامتزاز [7,3,1] وانخفاض جذب سطح GL (سطح الماز) لأيونات Fe(III) بعد شحن السطح بشحنة موجبة في الأوساط الحمضية [1]، ثم وبازدياد pH المحلول، ينخفض التأثير التنافسي للبروتونات بانخفاض تركيزها ويتوفر عدد أكبر من مواقع الامتزاز المشحونة سلباً على سطح GL لجذب أيونات Fe(III) وبذلك تزداد نسبة الإزالة [3] لتصل إلى أعلى قيمة لها في مجال pH بين (4-6) وهي نتيجة تتفق مع (Mahmoud,2015) [3]، و (Magda,2013) [14] و (Othman,2016) [22] و (Anusha,2014) [23]. من جهة أخرى وبازدياد pH المحلول تبدأ أيونات Fe(III) بتشكيل معقدات هيدروكسيلية راسبة ويستمر ترسيب Fe(III) بشكل هيدروكسيد تدريجياً بازدياد pH المحلول [7,1].

بالطبع يجب أن نشير أنه عند قيم أعلى من الـ $pH = 4$ يكون راسب هيدروكسيد $Fe(III)$ هو المسيطر على عملية إزالة $Fe(III)$ من الوسط وهي نقطة أشار إليها أيضاً (Lugo,2012) عند إزالة $Fe(III)$ بقشور البرتقال [7] ومعلوم أن الطريقة العملية المستخدمة في التخلص من المعادن الثقيلة التي ترشح عن الصناعات المختلفة تتضمن ضبط قيمة pH لترسيب هذه المعادن على شكل هيدروكسيدات [7] في حين تمكنت أوراق GL من إزالة أيون $Fe(III)$ دون الحاجة لضبط الـ pH أثناء المعالجة وهي نتيجة تميز أوراق نبات الثوم الليبرودي بالمعالجة GL عن طرائق المعالجة الأخرى، فالتمكن من إزالة $Fe(III)$ بنسبة عالية باستخدام مازات حيوية زهيدة الثمن وآمنة بيئياً يجعلها أكثر ملاءمة للاستخدام في المعالجات.

5-4- تأثير كتلة الماز في إزالة أيون $Fe(III)$:

دُرِس تأثير كتلة الماز على إزالة أيون $Fe(III)$ وذلك بهز كتل مختلفة (0.25-1.25 g) من أوراق GL مع 50mL من محلول $Fe(III)$ بتركيز 500mg/L. يبين الشكل (13) نتائج الدراسة.



الشكل (13): تأثير كتلة الماز في إزالة أيون $Fe(III)$ باستخدام أوراق GL وذلك عند الشروط (150هزة / دقيقة، دون ضبط قيمة pH ، $V_{sol}=50mL$ ، $C_{Fe(III)}=500mg/L$ ، $t_{im}=24 h$ ، $t=25\pm 0.5 C$)

تُظهر النتائج أن نسبة إزالة أيون Fe(III) تزداد بازدياد كتلة الماز [24,14,3] من 57.60% عند الكتلة 0.25g حتى 98.00% عند الكتلة 1.25g. تكون الزيادة في نسبة الإزالة في البداية كبيرة فمن 57.60% عند الكتلة 0.25g حتى 65.79% عند كتلة الماز 0.50g و 86.43% عند الكتلة 0.65g ثم تصبح الزيادة طفيفة. تُفسر الزيادة في نسبة الإزالة إلى أنه بزيادة الكتلة تزداد المساحة السطحية للمادة المازة التي تقع على تماس مع المحلول ومن ثمَّ زيادة في عدد مواقع الامتزاز المتاحة [25,14] وبالاتمرار في زيادة كتلة الماز، مع الاحتفاظ بحجم الوعاء وحجم المحلول وتركيزه، تصبح الزيادة في نسبة الإزالة طفيفة، حتى 93% عند الكتلة 1.00g، ويمكن تفسير ذلك بأنَّ مواقع الامتزاز تكون هنا قد قاربت على الامتلاء ويكون التوازن بين أيونات المعدن وسطح الماز على وشك التحقق [15]، وهو ما نراه عند كتلة الماز 1.25g إذ تصل نسبة الإزالة لـ 98% كما أنَّ الزيادة المتواترة في نسبة الإزالة مع ازدياد كتلة الماز تتسجم مع نتائج دراسة الامتزاز التي أشارت إلى أنَّ الامتزاز مفضل ويحدث على طبقات وأما تناقص الكمية الممتزة من Fe(III) على سطح المادة المازة GL بتزايد كتلة المادة المازة فيعود إلى تناقص كتلة أيون Fe(III) الممتزة على وحدة الكتل للمادة المازة.

6-4- مقارنة فعالية الأوراق GL مع مازات أخرى في إزالة أيون Fe(III) :

قورنت فعالية الأوراق GL وأوراق الثوم الليرودي غير المعالجة والفحم الفعال الحبيبي التجاري في إزالة أيون Fe(III) ذي التركيز (400 mg/L). يُظهر الجدول (5) نتائج الدراسة.

الجدول(5): مقارنة فعالية أوراق GL ومازات أخرى في إزالة أيون Fe(III) عند الشروط

(150هزة/دقيقة ، دون ضبط pH , $V_{sol}=50\text{mL}$, $C_{Fe(III)}=400\text{mg/L}$, $t_{im}=3\text{h}$,

$(t=25\pm 0.5\text{ C}$, $w_{ads}=0.50\text{ g}$

R%	الكمية الممتزة $q_e(\text{mg/g})$	متوسط $C_e(\text{mg/L})$ التركيز التوازني	العينة
82.60	33.04	69.58	أوراق نبات الثوم البيرودي غير المعالجة
89	35.6	44	أوراق الثوم البيرودي المعالجة GL
58.31	23.32	166.78	الفحم الفعال الحبيبي التجاري

تُشير النتائج أنّ نسبة إزالة Fe(III) بأوراق الثوم المعالجة GL تكبر نسبة إزالته بأوراق الثوم غير المعالجة بنسبة (7%) وهو ما يدل على أنّ ارتفاعاً نسبياً في قدرة الأوراق الامتزازية قد ظهرت بفعل المعالجة القلوية.

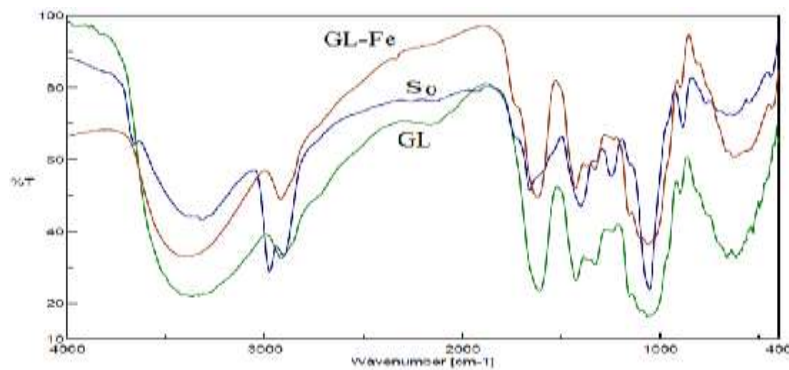
تُظهر النتائج أنّ كفاءة إزالة الأيون بالأوراق المعالجة تتجاوز نسبة إزالته بالفحم الحبيبي بشكل كبير ويمكن أن يعزى السبب في ذلك إلى تعدد وتنوع المجموعات الوظيفية المتوزعة على سطح الأوراق والتي تخلق عدداً كبيراً من مواقع الامتزاز على سطحها يجعلها أعلى قدرة على إزالة Fe(III) . الأمر الذي يثبت فعالية الأوراق كمادة مازة في إزالة Fe(III) وإمكانية استخدامه كمادة مازة ومنافسة إلى جوار المازات التجارية المعروفة.

7-4-دراسة طيف IR أوراق نبات الثوم البيرودي:

دُرِس طيف IR أوراق نبات الثوم البيرودي قبل المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم وبعدها، بالإضافة لطيف أوراق نبات الثوم البيرودي المعالجة GL بعد إزالة أيون Fe(III) وحُدِدت الأطياف ضمن المجال من $4000-400\text{ Cm}^{-1}$.

يوضح الشكل (14) نتائج الدراسة (حيث s_0 طيف الأوراق غير المعالجة وGL طيف الأوراق المعالجة وGL-Fe طيف الأوراق بعد الامتزاز). يُظهر طيف IR لأوراق نبات الثوم البيرودي غير المعالجة عدداً كبيراً من عصابات الامتصاص، وهو ما يشير إلى البنية المعقدة للأوراق ويمكن الإشارة إلى عدد من عصابات

الامتصاص المميزة في الطيف والتي تظهر عند العدد الموجي 3418 Cm^{-1} عائدة إلى اهتزاز الامتصاص لمجموعة (-OH) [26] الموجودة في وحدة الجلوكوز المكونة لجزيئة السليلوز (التي تشكل المكون الرئيس لأوراق نبات الثوم [27])، كما يُلاحظ عصابة امتصاص عند العدد الموجي 2922 Cm^{-1} عائدة لاهتزاز الامتصاص للرابطة (C-H) الأليفاتية [26] وعصابة امتصاص عند العدد الموجي 1626 Cm^{-1} عائدة لامتصاص الرابطة $\text{C}=\text{O}$ [9] وعصابة عند العدد الموجي 1429 Cm^{-1} تعود إلى اهتزاز الامتصاص لروابط C-O-C العائدة للمجموعات الإيتيرية في السليلوز [9]، بالإضافة لعصابة امتصاص عند العدد الموجي 1066 Cm^{-1} عائدة لاهتزازات الامتصاص للمجموعات الغولية (C-OH) [26,9].



الشكل (14): طيف IR أوراق نبات الثوم البيرودي المعالجة GL بعد إزالة أيون Fe(III)

يُلاحظ بالمقارنة بين طيف المادة المازة قبل المعالجة وبعدها أنّ أغلب عصابات الامتصاص قد حدث لها انزياح بالنسبة للأعداد الموجية وانخفاض في شدة عصابات الامتصاص (الجدول (6)) ويتفق هذا الانخفاض مع ما وجدته (Sang,2005) [26] من تأثير المعالجة القلوية للأوراق.

الجدول (6): عصابات الامتصاص لأطياف IR لعينات الأوراق المدروسة

سبب عصابات الامتصاص	العدد الموجي قبل المعالجة	العدد الموجي بعد المعالجة	العدد الموجي بعد إزالة أيون Fe(III)
امتطاط (-OH)	3418 Cm^{-1}	3413 Cm^{-1}	3407 Cm^{-1}
امتطاط (C-H)	2922 Cm^{-1}	2917 Cm^{-1}	2920 Cm^{-1}
امتطاط C=O	1626 Cm^{-1}	1613 Cm^{-1}	1619 Cm^{-1}
امتطاط C-O-C	1429 Cm^{-1}	1426 Cm^{-1}	1428 Cm^{-1}
امتطاط (C-OH)	1066 Cm^{-1}	1062 Cm^{-1}	1061 Cm^{-1}

يُظهر التحليل الطيفي للأوراق بعد إزالة Fe(III) التغير في تواتر اهتزاز المجموعات الوظيفية المسؤولة عن إزالة أيون Fe(III) وتوضح فيما إن كان ارتباط الأيون بسطح الأوراق ناتج عن التبادل الأيوني أو الترسيب السطحي على سطح الأوراق أو بتفاعل كيميائي مع المواقع السطحية على سطح الأوراق إذ تظهر النتائج في الجدول (6) انزياحاً طفيفاً في بعض عصابات الامتصاص وهي العصابات العائدة للمجموعات الوظيفية (C=O و (-OH)) بشكل رئيس مما يشير إلى أن هذه العصابات كانت مسؤولة عن إزالة Fe(III)، وهي نتيجة تتفق مع ما وجدته (Soliman,2011) [5].

كما لا يُلاحظ ظهور أي عصابات امتصاص جديدة نتيجة توضع Fe(III) على سطح أوراق السليلوز مما يشير إلى أن توضع Fe(III) على سطح الأوراق لم يصاحبه أي شكل من أشكال الارتباط الكيميائي، وهي نتيجة تختلف عما وجدته (Magda,2013) [14]، وأيضاً تختلف عما وجدته (Othman,2016) [22]، وتختلف أيضاً مع (Lugo,2012) [7] ، ولكن النتيجة تعزز دراسات الامتزاز التي أوضحت أن ثابت لانغموير صغير مما يعني أن قوة ارتباط الأيون بسطح الأوراق كان ضعيفاً وغير ناتج عن تبادل أيوني وعلى الرغم من أن معامل الارتباط الخطي للانغموير كان كبيراً $R^2=0.979$ ولكن قيمة معامل الارتباط الخطي لنموذج فريندليش كانت كبيرة أيضاً $R^2=0.995$ مما يعني أن تبادلاً ضئيلاً فقط قد

حصل على سطح عينة GL في بداية الامتزاز والذي أيده لانغموير وأن غالبية عملية الامتزاز كانت خاضعة لفريندليش، وهو ما أشارت إليه دراسات الامتزاز والدراسة الحركية التي أظهرت امتزازاً سريعاً على سطح عينة GL سببه طاقة الارتباط الضعيفة التي تحتاجها الأيونات للارتباط بمواقع الامتزاز والتي تنتمي لنوع فاندرفالس بحسب فريندليش وكذلك الاثرياحات التي حصلت في عصابات الامتصاص كان أكثرها انزياحاً للعصابة العائدة لمجموعة الهيدروكسيل التي يبدو أنها المسؤولة بشكل رئيس عن امتزاز الحديد على سطح عينة GL.

5-الاستنتاجات:

اختبرت أوراق نبات الثوم البيرودي المعالجة بهيدروكسيد الصوديوم في إزالة Fe(III) من محاليل مائية صناعية. تضمن العمل دراسة حركية وترموديناميكية ودراسات الامتزاز الخاضعة لكل من لا نغموير وفريندليش، كما درس تأثير pH المحلول الصناعي للأيون وكتلة الماز بالإضافة لدراسة طيفية وتلخص النتائج بما يأتي:

-نجحت أوراق GL في إزالة 93% من أيون Fe(III) ذي التركيز 100mg/L عند الدرجة 25 °C بعد ساعة من زمن التماس باستخدام 0.5g من الأوراق GL .
-أظهرت دراسة منحنيات متساوي درجة حرارة امتزاز أيون Fe(III) على أوراق نبات الثوم المعالجة GL توافقاً مع كل من نموذجي لانغموير وفريندليش وانطباقاً أكبر على فريندليش.
وصل الامتزاز الأعظمي لطبقة واحدة من أيون Fe(III) لـ 29.76mg/g وتبين أن عملية الامتزاز ماصة للحرارة وأن الامتزاز سريع يتبع المعادلة الحركية من المرتبة الثانية الظاهرية وهو امتزاز فيزيائي ضعيف.

- تشير النتائج إلى فعالية استخدام أوراق نبات الثوم البيرودي المعالج في إزالة أيون Fe(III) دون الحاجة لضبط pH المعالجة كما تعد ساعة زمناً أمثل لإزالة الأيون.
- تظهر الدراسة الطيفية لأوراق نبات الثوم GL قبل امتزاز أيون Fe(III) وبعده أن المجموعات الوظيفية C=O, OH هي التي كانت مسؤولة بشكل رئيس عن إزالة أيونات Fe(III) من المحلول الصناعي وأن عملية الامتزاز هذه لم يصاحبها أي تفاعل كيميائي.

6-المراجع References:

- [1] Abood M.M, Rajendiran J. and Azhari N.N. , 2015, Agricultural Waste As Low Cost Adsorbent For The Removal Of Fe (II) Ions From Aqueous Solution, Infrastructure University Kuala Lumpur Research Journal V.3 ,N.1.
- [2] Vasudevan S., Lakshmi J. and Sozhan G.,2009,Studies on the Removal of Iron from Drinking Water by Electrocoagulation–AClean Process, Central Electrochemical Research,Clean, V .37,N .1, pp45 – 51.
- [3] Mahmoud M.A.,Gawad E.A., Haggag E.A. ,2015, Kinetics and thermodynamic of Fe(III) adsorption type onto activated carbon from biomass: kinetics and thermodynamics studies, Environmental Science, V.II, Issues (4), PP128-136.
- [4] WHO Guidelines for Drinking Water Quality: Health Criteria and Other Supporting Information, 2nd ed., WHO, Geneva 1993.
- [5]Soliman E.M ,Ahmed S.A.,Fadl A.A. ,2011, Reactivity of sugar cane bagasse as a natural solid phase extractor for selective removal of Fe(III)and heavy-metal ions from natural water samples Arabian Journal of Chemistry, 4, PP 63–70.
- [6]Huang K . and Zhu H., 2013, Removal of Pb²⁺ from aqueous solution by adsorption on chemically modified muskmelon peel, Environ Sci Pollut Res, N. 20, P. 4424.
- [7] Lugo L.V., Díaz C.B., Núñez F.U, Bilyeu B., Hernández I.L,2012, Biosorption of Cr(III) and Fe(III) in single and binary systems onto pretreated orange peel, Journal of Environmental Management N112 ,P 120-127.
- [8] Abdul Kadir.e, bdullah.L, Wai.L.K,2013, Study on Ferum (Fe) and Zinc (Zn) Removal by using Rice Bran at Sungai Pelepah,Kota Tinggi, Johor, Advances in Environmental Biology, V .7,N.12,P.3580-3586.
- [9] Hameed B.H., Ahmad A.A.,2009,Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass, Journal of Hazardous Materials 164 ,p 870-875.
- [10] شخاشيرو. م، وزملاؤه، 2003، تجارب أولية في التحليل الآلي، عملي الكيمياء التحليلية (3)، الطبعة الخامسة، منشورات جامعة دمشق.

- [11] Mittal.A, Kurup.L, Mittal.J,2007, Freundlich and Langmuir adsorption isotherms and kinetics for the removal of Tartrazine from aqueous solutions using hen feathers, *Journal of Hazardous Materials* 146 ,p 243–248.
- [12]Agbozu.I.E and Emoruwa.F.O,2014,Batch Adsorption Of Heavy metals (Cu,Pb,Fe,Cr and Cd)From Aqueous Solutions Using Coconut Husk, *African Journal Of Environmental Science And Technology*,V .8,N. 4 ,P. 239-246.
- [13] Adebayo. Gb,Mohammed. Aa,Sokoya. So,2016, Biosorption of Fe (II) and Cd (II) ions from aqueous solution using a low cost Adsorbent from Orange Peels, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.*V. 20 ,N.3,P. 702-714.
- [14] Magda A. A, AbdElFatah. M. AbdElnasser Y.S,2013, Removal of Iron and Manganese in Water Samples Using Activated Carbon Derived from Local Agro-Residues, *J Chem Eng Process Technol*, V. 4, Issue 4, p.1-10.
- [15] Balaji.R, Sasikala.S, Muthuraman.G,2014, Removal of Iron from drinking / ground water by using agricultural Waste as Natural adsorbents, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*Volume 3, Issue 12.
- [16]Giles.C.H, Macewans.T.H,. Nakhwa.N,Smith.D,1960, Studies in Adsorption. Part XI. A System of Classification of Solution Adsorption Isotherms, and its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms and in Measurement of Specific Surface Areas of Solids, p .3983.
- [17] Foo,K.Y,Hameed,B.H,2010.Insights into the modeling Of Adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal*,V.156,P. 2-10.
- [18] Mohammed.M. A, Ibrahim. A, Shitu.A, 2014, Batch removal of hazardous safranin-O in wastewater using pineapple peels as an agricultural waste based adsorbent, *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*,2(3),p. 128-133.
- [19]Anirudham. T.s,Radhakrishnan.P.G,2008,Thermodynamics And Kinetics Of Adsorption Of Cu(II) From Aqueous Solutions Onto A New Cation Exchanger Derived From Tamarind Fruit Shell, *Jchem Thermodynamic*,V.40,N.4,P.702-709.

- [20] Vadivelan.V, Kumar.K,2005, Equilibrium, kinetics, mechanism, and process design for the sorption of methylene blue onto rice husk, *J. Colloid Interf. Sci.* 286 , P 90–100.
- [21] Razmovski.R and iban. M. Š,2008, Iron(III) biosorption by *Polyporus squamosus*, *African Journal of Biotechnology* V. 7,N. 11, p. 1693-1699.
- [22] N. Othman.N, Abd-Kadir.A, Zayadi.N, 2016, Waste Fish Scale As Cost Effective Adsorbent In Removing Zinc And Ferum Ion In Wastewater, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, V 11, N 3,pp1584-1592.
- [23] Anusha.G, Raja Murugadoss.J,2014,Adsorption of Iron from Aqueous solution using Almond shell as adsorbent , *Engineering*,V. 3,Issue 10, ISSN .2277 – 8179.
- [24]Akar. S.T, Özcan. A.S, Akar. T, Kaynak.Z, 2009, Biosorption of areactive textile dye from aqueous solutions utilizing an agro-waste, *Desalination*, 249, P .757–761.
- [25] Elhussien.H.M,2015, Removal of Iron(II) from Aqueous Solution using Activated Carbon Derived from Pods of *Acacia Nilotica* Var *Astringens* (Sunt tree) by Chemical Activation with $ZnCl_2$, *International Journal of Emerging*, V.5, Issue 10,P 298-307.
- [26]Oh.y.s, Yoo.D.I, Shin.Y,Seo.G,2005, FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide,*Carbohydrate Research* 340 ,p. 417–428.
- [27] Agustin .M.B, Ahmmad.B, De Leon.E.R, Buenaobra.J.L, Salazar.J.R, Hirose.F,2013,Starch-Based Biocomposite Films Reinforced With Cellulose Nanocrystals From Garlic Stalks, Department of Chemistry, College of Arts and Sciences, Central Luzon State University,Science City of Munoz.