Mechanisms of Adsorption of Ammonium Ions (As Fertilizers) on the Soils Surrounding Lake Al-Sin on the Syrian Coast

Dr. Mohammad Ghafar*

(Received 22 / 6 / 2025. Accepted 1 / 10 / 2025)

□ ABSTRACT □

The main objective of this research is to investigate the ability of the soil components surrounding Lake Al-Sin to adsorb ammonium ions (as fertilizers). The results showed variations in the ammonium ion adsorption values depending on the study sites, which included changes in the soil properties, which led to a difference in the exchange capacity values (as an indication of the adsorption capacity and its type), as the maximum adsorption capacity (qmax) values for ammonium ions ranged within the range (11.06 - 38.27 mg/g).

When studying adsorption isotherms, which represent the relationship between the amount of adsorbed material on a surface and the concentration of the adsorbed material at equilibrium and at a certain temperature, it was found that they are in good agreement with the Freundlich model, with a correlation coefficient ranging within the range (0.90-0.99), This confirms that the resulting absorption is absorption on the heterogeneous (energy) centers of the surface of the absorbent material.

As a result of the statistical study that dealt with the correlation coefficients between the physical and chemical properties of the soil components in the study sites and the adsorption properties of ammonium ions, it was observed that the maximum adsorption capacity (q_{max}), as an indication of the maximum adsorption of ammonium ions, is related to the following variables: soil components (clay, oxides, presence of zeolite components, and soil pH...).

Keywords: Adsorption, Ammonium ions, Physical and chemical properties of soil, Freundlich isotherm, The maximum adsorption capacity.

Copyright **:**Latakia University Journal (Formerly Tishreen) -Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Associate Professor, Higher Institute for Environmental Researches, Lattakia University,** (**Formerly Tishreen**), **Lattakia, Syria. mohammad.ghafar@tishreen.edu.syr.**

آليات امتزاز أيونات الأمونيوم (كمخصبات) على الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري

د. محمد غفر *

(تاريخ الإيداع 22/ 6 / 2025. قبل للنشر في 1 / 10 / 2025)

□ ملخّص □

يتمثل الهدف الأساسي من هذا البحث في التقصي عن مقدرة مكونات الترب المحيطة ببحيرة السن لامتزاز أيونات الأمونيوم (كمخصبات)، حيث أظهرت النتائج تباينات في قيم امتزاز أيونات الأمونيوم تبعاً لتغير مواقع الدراسة، والمتضمن تغيرات في خصائص الترب، مما أدى إلى تمايز في قيم السعة التبادلية (كدلالة على سعة الامتزاز وعلى نوعه)، حيث تراوحت قيم السعة الامتزازية العظمى (q_{max}) لأيونات الأمونيوم ضمن المجال (11.06 – 38.27 mg/g).

عند دراسة الامتزاز المتساوي الدرجة Adsorption Isotherms، والتي تمثل العلاقة بين كمية المادة الممتزة على سطح ما وتركيز المادة الممتزة عند التوازن و بدرجة حرارة معينة، تبين بأنها تتوافق، وبصورة جيدة، مع نموذج فروندليتش وبمعامل الارتباط تدرج ضمن المجال (0.90–0.99)، مما يؤكد بأن الامتزاز الحاصل هو امتزاز على المراكز غير المتجانسة (طاقياً) من سطح المادة المازة.

نتيجة للدراسة الإحصائية التي تناولت معاملات الارتباط بين الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمكونات الترب في مواقع الدراسة والخصائص الامتزازية لأيونات الأمونيوم، لوحظ بأن السعة الامتزازية العظمى (q_{max})، كدلالة على الامتزاز الأعظمي لأيونات الأمونيوم، ترتبط مع المتغيرات التالية: مكونات التربة (الطين clay، الأكاسيد، وجود مكونات زيوليتيَة، و pH التربة ....).

الكلمات المفتاحية: امتزاز، أيونات الأمونيوم، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للترب، نموذج فروندليش متساوي الحرارة، سعة الامتزاز العظمى.

حقوق النشر : مجلة جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **أستاذ مساعد، قسم الكيمياء البيئية، المعهد العالي لبحوث البيئة، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً)، اللاذقية، سوريا.**
mohammad.ghafar@tishreen.edu.syr

مقدمة:

يمكن أن يؤدي وصول أيونات الأمونيوم إلى مياه المسطحات المائية إلى تعزيز تركيز المخصبات، والذي يترافق مع إفراط في نمو النباتات المائية بما في ذلك الطحالب والأشنيات، مما يؤول إلى اعتلالات بيئية [1].

وعلى اعتبار أيونات الأمونيوم كملوثات سطحية للترب، فإن تحدرها الأساسي يتمثل في الاستخدام غير الرشيد للأسمدة، بالإضافة إلى وجود مصادر أخرى منها مطامر النفايات المعاشية ومن الإدارة غير السليمة لمياه الصرف الصحي [2].

تشير العديد من البحوث والدراسات العلمية [3] إلى أن تلوث المياه الجوفية بأيونات الأمونيوم، يُعزى، وبصورة رئيسية، إلى الاستخدام غير الرشيد للأسمدة الحاوية على أيونات الأمونيوم رغم تميزها بحركية أضعف من أيونات النترات. من جهةٍ ثانية، تتمتع أيونات الأمونيوم بحركية أسهل نحو المقاطع السفلية من الترب ذات القوام الرملي المحدود والمتميزة بمحتوى ضعيف من الطين والمادة العضوية، مما سيمكّن أيونات الأمونيوم الوصول إلى المياه الجوفية وتلويثها.

ترتبط مقدرة الترب على امتزاز أيونات الأمونيوم على خصائص هذه الترب ومن أهمها درجة الحموضة (لما لها من تأثير على درجة تأين الأيونات ومنها أيونات الأمونيوم) ومحتواها من المادة العضوية (لأن المركبات العضويَة تُشكل جسور بين الطبقات الشرائحيَة للغضار مما يُسهم في زيادة السطح النوعي للغضار)، مما يُؤدي إلى زيادة مقدرة الترب على امتزاز الأيونات ومنها أيونات الأمونيوم بزيادة محتوى الترب من المادة العضوية [4].

وفيما يتعلق بتأثير نسيج التربة على امتزاز أيونات الأمونيوم، أظهر المرجع [5] بأن الترب الطينية (الغضاريَة)، ولدى مقارنتها مع الترب الرملية، تقوم بأداء أفضل ومقدرة أكبر على امتزاز أيونات الأمونيوم. كما أظهر المرجع [6] حدوث الامتزاز عن طريق التبادل الأيوني لأيونات الأمونيوم NH_4^+ مع كل من الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيزيوم والكالسيوم على مواقع التبادل الإلكتروستاتيكية، وفقاً لمحتوى الترب من هذه العناصر. وبخصوص تصنيف الترب إلى مجموعات وفقاً للشحنات المحمّلة، اقترح الباحثون في المرجع [7] تصنيف الترب إلى سطوحٍ ذات شحنات مستدامة، وأخرى ذات شحنات متغيرة، مع التأكيد على إمكانية أن تتمتع السطوح ذات الشحنات المتغيرة بشحنات موجبة وسالبة في آن واحد. من جهةٍ أخرى، أظهر المرجع [8] بأن كمية الشحنات المتغيرة الكلية ترتبط ارتباطاً وثيقاً مع المحتوى الفلزي والعنصري ومع الـ (pH). وفيما يتعلق بالشحنات الموجبة، بيّن الباحثون في المرجع [9] بأن الكمية الأعظمية من أيونات الأمونيوم NH_4^+ تُمتّز من قبل الشحنات الموجبة للتربة، مع لحظ وجود تباين في شحنة سطوح التبادل الأيوني لأيونات الأمونيوم NH_4^+ والمرتبط أساساً بوجود الشحنات الموجبة الأخرى في الأطوار الصلبة والمحلول، وتعتمد أيضاً على تركيز أيون الأمونيوم الأولي.

أهمية البحث وأهدافه:

تستلزم عمليات الرصد والمراقبة التقصي عن مكامن التلوث البيئي، وخاصةً عندما يتعلق الأمر بمنطقة هشة بيئياً، والمتمثلة بالمنطقة المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري. ودرءً لتلوث هذا المورد الاستراتيجي لمياه الشرب، ستساهم نتائج هذا البحث العلمي في رفد الإدارات المختصة بمعطيات تتعلق بامتزاز أيونات الأمونيوم على الترب المحيطة ببحيرة السن، وبالتالي الحد من انتقالها إلى هذا المورد المائي الهام، مما يحد من وصول المخصبات وتجنب ظاهرة الإثراء الغذائي، لما لها من آثار بيئية مدمرة تقلّص، وإلى حدٍ كبير، من الإمدادات بالمياه العذبة. وضمن إطار حماية الموارد المائية وأحواضها الصبابة من التلوث، وللحد من ظاهرة الإثراء الغذائي، ستساهم نتائج هذا البحث، من

خلال الربط بين مقدرة امتزاز أيونات الأمونيوم وخصائص الترب المحيطة ببحيرة السن وبخاصة محتواها من المادة العضوية ودرجة حموضتها، حيث يهدف البحث إلى وضع إجراءات وتدابير بنية تحسين جودة مياه هذا المورد المائي الهام، إضافة الغضار و الزيوليتات الطبيعية السورية و التقليل من الاستخدام المفرط وغير الرشيد للأسمدة الحاوية على أيونات الأمونيوم، على اعتبار أن هذه الأسمدة هي المصدر الرئيسي لتلوث المياه الجوفية بأيونات الأمونيوم.

طرائق البحث ومواده:

أولاً: موقع وخصائص منطقة الدراسة

ضمن إطار شبكة الإحداثيات الخاصة بمنطقة الدراسة، وبغية موضعة المواقع، يبلغ خط العرض: (″54 . 55 ′13 °35 – ″54 ′22 °35)، في حين يبلغ خط الطول:(″41. 59 ′14 °36 – ″40. 57 ′54 °35)، وتُعتبر منطقة الدراسة جزءاً من المنطقة الوسطى من سلسلة جبال الساحل السوري. يُظهر الشكل (1) صورة فضائية لحدود منطقة الدراسة.

الشكل (1): صورة فضائية لحدود منطقة الدراسة

طبوغرافياً، يمكن تقسيم منطقة الدراسة إلى قطاعين اثنين:

القطاع الأول: وهو عبارة عن تلال سطحية مكونة من منحدرات ذات ميل نسبي ومكونة من المارل والصخور الكلسية المارلية (الكلس الغضاري)، ويتراوح ارتفاع هذه التلال بين 250 متر إلى 700 متر عن سطح البحر، وتتخللها أودية بشكل عرضاني. بالإضافة إلى ذلك، يوجد بعض المسيلات المائية الرئيسية منحدرة من أعلى السلسلة [10].

القطاع الثاني: والذي يشتمل على السهل الموازي لشرق البحر الأبيض المتوسط وعلى مصطبات قريبة من الشكل المستوي، تتمتع بميل طفيف باتجاه الغرب. كما يُلحظ وجود سهل ضمن الأودية الفيضية وكذلك المسيلات المائية المقطة، وبشكل جزئي بأخاديد غير عميقة [10].

ثانياً: التجارب والقياسات

تحليل الترب: من أجل استنباط آليات امتزاز أيونات الأمونيوم، وبعد عمليات خلط ونخل ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (cm 30 – 0)، تم إنجاز العديد من التحاليل والاختبارات الفيزيائية والكيميائية [10]:

التحاليل والاختبارات الفيزيائية:

1) التحليل الميكانيكي للترب باستخدام طريقة الهيدرومتر؛
2) تقدير التوصيل الهيدروليكي المشبع للترب (SHC) في المختبر.

التحاليل والاختبارات الكيميائية:

1) قياس درجة الحموضة pH وأنجز ذلك بنسبة (1: 2.5) (تربة/ماء) باستخدام جهاز pH حقلي (Metrohm 744 pH Meter)؛

2) قياس الناقلية الكهربائية (EC) باستخدام جهاز (Thermo Orion model 420A) في مستخلص تربة مائي (5:1) تربة/ماء؛

3) تقدير كربونات الكالسيوم في الترب باستخدام المعايرة الحجمية بمحلول حمض كلور الماء؛

4) تقدير تركيز الكالسيوم والمغنيزيوم بطريقة المعايرة بوجود مشعر الفري سيانات؛

5) قياس كمية المادة العضوية (OM) في الترب باستخدام طريقة أكسدة الكربون العضوي بمحلول دي كرومات البوتاسيوم في وسط حامضي، ثم معايرة الزائد من دي كرومات بواسطة سلفات الحديدي (ملح مور) بوجود دليل الفيروئين؛

6) تقدير تركيز الآزوت الكلي في الترب باستخدام جهاز كيلداهل وذلك عبر تهضيم العينات الترابية بحمض الكبريت المركز؛

7) تقدير تركيز أيونات الأمونيوم باستخدام جهاز Spectrophotometer عند طول موجة nm (420)؛

ثالثاً – الامتزاز:

بغية تحديد آليات امتزاز أيونات الأمونيوم على الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري، رُقمت مواقع الدراسة على النحو التالي:

1–بيت عانا، 2–بسطوير، 3–بيت العلوني، 4–جيبول، 5–قرفيص، 6–القطيلبية، 7–الراهبية، 8– نبع الواحة. ويعكس هذا الترتيب تبايناً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية لترب هذه المواقع، والتي تشتمل على تأثيرات متباينة على آليات امتزاز أيونات الأمونيوم، وفقاً لطبيعة الترب ولطبيعة الأنشطة البشرية والمتمثلة بالممارسات الزراعية المطبقة في مواقع الدراسة. الموضحة في الشكل (1). علماً بأن هذه المواقع تقع على الحامل الأساسي لنهر السن ولروافده المغذية.

لتقييم عملية امتزاز أيون الامونيوم في التربة، أجريت تجارب مخبرية لتقدير الامتزاز وخصائصه في ثمانية مواقع على كامل منطقة الدراسة، وهي بالترتيب:

من الناحية التجريبية، وبغية تهيئة العينات لزوم دراسة آليات امتزاز أيونات الأمونيوم على الترب، وبعد عمليات خلط ونخل(باستخدام منخل 2 mm) ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (30 cm – 0)، ووفقاً للبروتوكول الموصف من قبل Mohalla وآخرون [10]، تم أخذ وزن (1) gr من التربة المنخولة، وأضيف إليه (50) ml من محلول أيون الأمونيوم وفقاً للتراكيز التالية: ppm (5, 10, 50, 100, 150) وعند درجة حرارة 20 درجة مئوية، ومن ثم وضعت العينات على هزاز ميكانيكي لمدة 24 ساعة، ليصار بعد ذلك إلى ترشيح العينات بغية تقدير التركيز التوازني باستخدام جهاز Spectrophotometer عند طول موجةnm (460) .

من العلاقة التي توصل إليها الباحثون في المرجع [11]:

$$q_e = \frac{C_i - C_e}{m} V \qquad (1)$$

حُسبت كمية أيونات الأمونيوم الممتزة على ترب المواقع عند التوازن. ومن خلال العلاقة:

من أجل تعيين نموذج الامتزاز (حيث يعبر أنموذج لانغمویر عن التغطية الأحادية للسطح وأن جميع المراكز الامتزازية متساوية القدرة الامتزازية)، تم استخدام معادلة لانغمویر الخطية:

$$\frac{1}{q_e}=\frac{1}{q_{\max}}+\frac{1}{q_{\max}K_L}.\frac{1}{C_e} \qquad (2)$$

حُسبت الكمية العظمى من أيونات الأمونيوم الممتزة. حيث يمثل $\frac{1}{q_{\max}}$ تقاطع الخط البياني مع المحور ($1/q_e$). في حين حُسب ثابت الألفة (K_l $(1/Kg)$) من العلاقة:

$$K_l = m = \frac{1}{q_{\max}K_L} \ldots (3)$$

ويُشير (Slope) إلى ميل المنحني البياني ($1/q$) بدلالة ($1/C_e$). علماً بأنه، وباستخدام برنامج (ORIGIN – 2019)، تم حساب قيم كل من (K_l) و ($q_{\max}$).

حيث:

C_i: هي تركيز أيون الأمونيوم في المحلول الابتدائي (mg/ l).

C_e: تركيز أيون الأمونيوم التوازني (mg/ l).

V: هو حجم المحلول مقدراً بالليتر (0.05 l).

m: هي كتلة المادة المازة (التربة) المستخدمة:

q_e: كمية أيون الأمونيوم الممتزة لكل وحدة وزن من التربة (mg/g).

q_{max}: السعة الامتزازية العظمى للمادة المازة (mg/g).

K_l: ثابت لانغمویر ويوضح تقارب الربط للأيون على التربة في التجربة المخبرية.

بينما يصف أنموذج فريندليش الامتزاز على السطوح غير المتجانسة ويعبر عنه بالعلاقة:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n}\log C_e \qquad (4)$$

حيث K_f ثوابت فريندليش ويعبران عن السعة الامتزازية.

"**n**" (**أو** ، **1/n**) شدة أو القدرة الامتزازية وتباين سطح المادة المازة (غير المتجانس طاقياً)، حيث يشير انخفاض "n" (أو ارتفاع 1/n) إلى سطح غير المتجانس طاقيا وكثافة امتزاز أعلى، وتباين سطح المادة المازة؛ (أي غير المتجانس طاقياً)،

النتائج والمناقشة:

تتميز ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) بحموضة معتدلة تميل إلى القلوية بصورة طفيفة، وتتمتع بمحتوى عالٍ من كربونات الكالسيوم ومن المادة العضوية أيضاً. وضمن إطار التصنيف، فإن الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري هي ترب طينية بنسبة عالية، ثم لومية طينية (الطمي الطيني)، وبنسبة أقل

الترب اللومية، وتراوح التوصيل الهيدروليكي المائي المشبع ضمن المجال cm/min (.88.1- 0.85) . يُظهر الجدول (1) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لترب هذا الأفق.

الجدول (1): بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لترب الأفق الأول بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع المدروسة

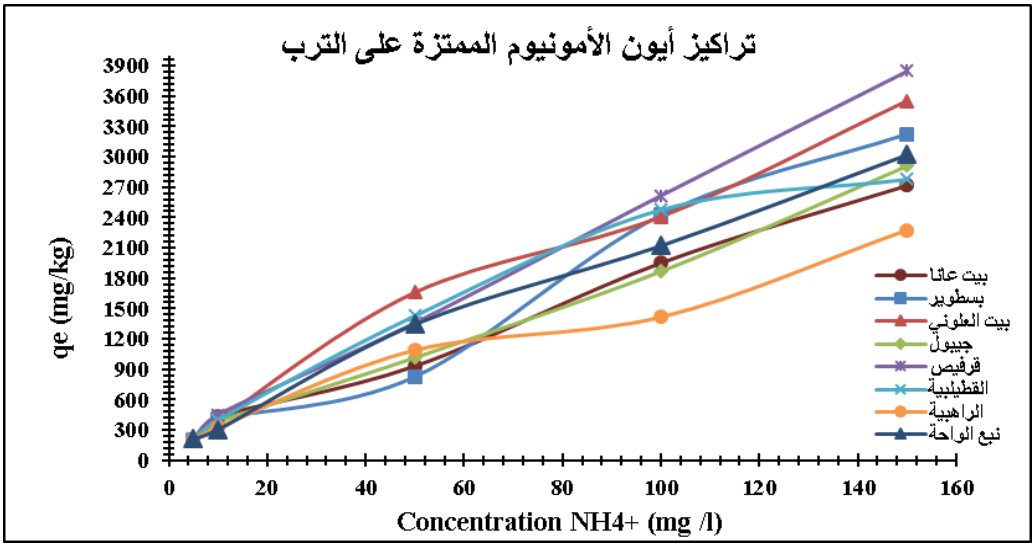
المواقع المدروسة	pH	Ec ds/m	OM %	$CaCO_3$ %	N (Total)%	Ca mg/g	Sand%	Silt %	%Clay	SHC Cm/min	N(leaching) Average mg/l
بيت عانا	7.24	0.78	2.60	30	0.18	2.700	27	30	43	1.30	28.626
بسطوير	7.71	0.35	3.48	47	0.18	2.200	22	31	47	1.09	26.544
بيت العلوني	7.28	0.34	4.66	29	0.48	7.020	9	19	72	0.85	21.276
جيبول	7.81	0.34	3.47	52	0.47	1.840	25	36	39	1.10	22.084
قرفيص	7.04	0.85	1.89	28	0.32	6.100	14	22	64	1.88	41.129
القطيلبية	7.26	0.45	1.99	43	0.64	3.210	36	20	44	1.79	31.833
الراهبية	7.68	0.26	4.22	61	0.48	5.730	7	39	54	0.87	26.750
نبع الواحة	7.21	0.17	2.89	33	0.51	1.560	19	58	23	1.12	30.423

في حين يعكس الجدول (2) تغيرات تراكيز أيونات الأمونيوم الممتزة على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في المنطقة المدروسة بتابعية تركيز أيونات الأمونيوم الابتدائي مقدراً بـ (mg/g)

جدول (2): تغيرات تراكيز أيونات الأمونيوم الممتزة بتابعية تركيز أيونات الأمونيوم الابتدائي (mg/g).

	تراكيز أيونات الأمونيوم الممتزة (NH_4^+) (mg/g)							
C_i(mg/l)التركيز الابتدائي لأيون الأمونيوم	بيت ...	بسطوير	بيت العلوني	جيبول	قرفيص	القطيلبية	الراهبية	نبع الواحة
5	0.21	0.207	0.209	0.205	0.203	0.195	0.199	0.200
10	0.305	0.325	0.400	0.450	0.383	0.387	0.407	0.435
50	1.348	1.087	1.431	1358	1.021	1.658	0.829	0.935
100	2125	1.414	2.479	2.617	1873.5	2.406	2.424	1.956
150	3025	2.275	2.780	3.847	2915	3.550	3.225	2.720

ويُظهر الشكل (1)، والذي يمثل بيانياً الجدول (2) تغيرات تراكيز أيونات الأمونيوم الممتزة على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة بتابعية تركيز أيونات الأمونيوم الابتدائي مقدراً بـ (mg/Kg).



الشكل (1): تغيرات تراكيز أيونات الأمونيوم الممتزة على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة بتابعية تركيز أيونات الأمونيوم الابتدائي مقدراً بـ (mg/g).

تُظهر نتائج هذا البحث بأن الكميات الممتزة لأيونات الأمونيوم على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة تخضع للمتراجحة التالية:

قرفيص > بيت العلوني > بسطوير > نبع الواحة > جيبول > القطيلبية > بيت عانا > الراهبية.

- دراسة مؤشرات امتزاز أيونات الأمونيوم وفق معادلتي لانغمور وفروندليش:

يوضح الجدول (3) مؤشرات معادلتي لانغمور وفروندليش لامتزاز أيونات الأمونيوم على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة.

جدول (3): مؤشرات معادلتي لانغمور وفروندليش لامتزاز أيونات الأمونيوم على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة

	Langmuir Isotherm				Fruiendlish Isotherm		
	q_{max} (mg/g)	K_L (l/g)	R_L	R^2	1/n	K_f	R^2
بيت عانا	2.033	0.133	0.274	0.82	0.47	263.03	0.92
بسطوير	2.0497	0.113	0.311	0.95	0.55	223.87	0.90
بيت العلوني	3.827	0.049	0.505	0.99	0.65	208.93	0.98
جيبول	1.737	0.136	0.268	0.98	0.53	213.80	0.98
قرفيص	2.988	0.108	0.317	0.82	0.56	301.99	0.94
القطيلبية	2.271	0.127	0.282	0.99	0.55	251.19	0.99
الراهبية	1.106	0.247	0.168	0.80	0.59	194.98	0.97
نبع الواحة	1.164	0.260	0.162	0.88	0.49	199.53	0.98

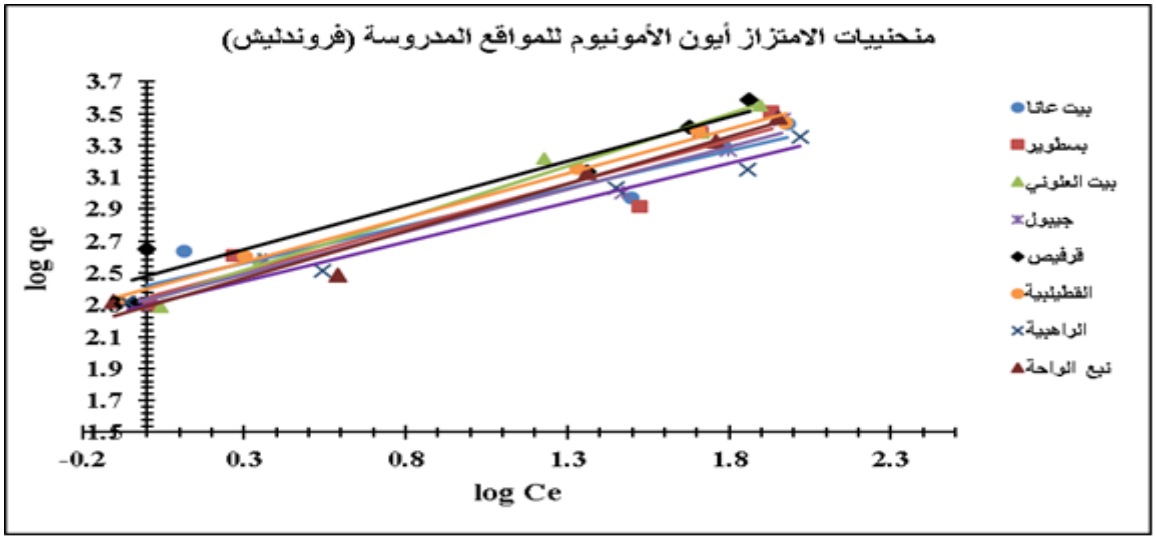
نلاحظ من الجدول (3) أن قيم معامل الارتباط R^2 لأنموذج فريندليش بشكل عام أفضل من قيم R^2 لأنموذج لانغمويز، وبالتالي يكون تطبيق أنموذج فريندليش هو الأفضل أي أن الامتزاز يحدث على المراكز الامتزازية غير المتجانسة الطاقة؛ حيث أن $1/n<1$ أو $n>1$.

يُلحظ الدور الحاسم للخصائص الفيزيائية والكيميائية للترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري، ولا سيما محتواها من المادة العضوية والطين، في زيادة مقدرة امتزاز أيونات الأمونيوم، بالإضافة إلى ارتباط هذه المقدرة بالكمية الكلية للأمونيوم الممتز على الترب، وهذا ما يؤكده العديد من الدراسات الحديثة نسبياً في هذا المجال [12–15].

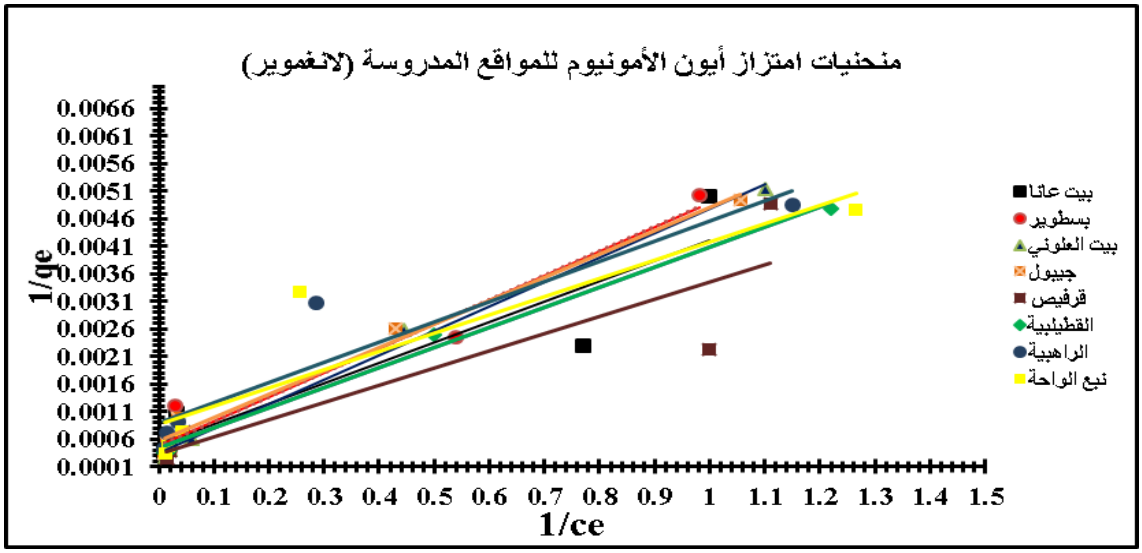
في دراسةٍ قام الباحثون والموضحة في المرجع [16]، تم اعتماد نموذج لانغمويز لتحديد قدرة الامتزاز القصوى (q_{max}) للترب المختلفة لأيونات الأمونيوم. حيث تراوحت قيم q_{max} للترب السلتية ضمن المجال (442 – 1.972 mg/g .0mg/g)، وللترب الطينية ضمن المجال (1.890 mg/g – 3.108 mg/g)، وهي تتوافق مع قيم (q_{max}) للترب المدروسة باستثناء منطقة قرفيص، حيث كانت قيم (q_{max}) أعلى من القيم السابقة، والذي يمكن أن يُعزى إلى ارتفاع محتوى هذه الترب من الآزوت الكلي والمادة العضوية.

بتطبيق نموذج isotherm Fruiendlish اعتماداً على المعطيات التجريبية (نموذج فرويندليش متساوي الحرارة، كنموذج رياضي يستخدم لوصف امتزاز المواد الغازية أو السائلة على سطح صلب في درجة حرارة ثابتة. بشكل عام، يقدم هذا النموذج علاقة بين كمية المادة الممتزة على السطح وتركيز أو ضغط المادة الممتزة في المرحلة السائلة أو الغازية عند درجة حرارة ثابتة)، يُستنتج بأن هذا الأنموذج يقدم مبرراً كافياً لاعتبار أن الامتزاز يحدث على المراكز الامتزازية غير المتجانسة الطاقة؛ حيث أن $1/n<1$ أو $n>1$، على التربة. كما واضح من المنحنيات حيث يُظهر الشكل (2) منحنيات امتزاز ترب المواقع في منطقة الدراسة وفقاً لمعادلة (فروندليش)، فيما يُظهر الشكل (3) منحنيات امتزاز ترب المواقع في منطقة الدراسة وفقاً لمعادلة (لانغمويز). وتتوافق نتائج هذا البحث، بهذا الخصوص، مع النتائج التي توصل إليها الباحثون والموضحة في المرجعين [13، 17].

يمكن وصف معادلة فروندليش لامتزاز أيونات الأمونيوم على الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري بأنها أكثر تمثيلاً، مع قيم R^2 المعدلة تتراوح ضمن المجال (0.90–0.99) لترب المواقع في المنطقة المدروسة، بالإضافة إلى وجود شحنة سالبة للترب.



الشكل (2): منحنيات الامتزاز لترب مواقع الدراسة (فروندليش).



الشكل (3): منحنيات الامتزاز لترب مواقع الدراسة (لانغمير).

- دراسة إحصائية لمعاملات الارتباط بين خصائص الترب للمواقع في منطقة الدراسة والخصائص الامتزازية لأيونات الأمونيوم:

يوضح الجدول رقم (4) معاملات الارتباط بين خصائص الترب للمواقع في منطقة الدراسة والخصائص الامتزازية لأيونات الأمونيوم.

جدول (4): معاملات الارتباط بين خصائص الترب للمواقع في منطقة الدراسة والخصائص الامتزازية لأيونات الأمونيوم.

Correlations

		q_{max}	Clay	SHC	$CaCO_3$	OM	R_L	K_L
q_{max}	Pearson Correlation	1	.786*	.210	−.610−	.059	.951**	−.892−**
	Sig. (2−tailed)		.021	.618	.109	.890	.000	.003
	N	8	8	8	8	8	8	8
Clay	Pearson Correlation	.786*	1	.013	−.178−	.313	.738*	−.647−
	Sig. (2−tailed)	.021		.975	.673	.450	.037	.083
	N	8	8	8	8	8	8	8
SHC	Pearson Correlation	.210	.013	1	−.360−	−.931−**	−.039−	−.218−
	Sig. (2−tailed)	.618	.975		.382	.001	.928	.604
	N	8	8	8	8	8	8	8
$CaCO_3$	Pearson Correlation	−.610−	−.178−	−.360−	1	.362	−.472−	.418
	Sig. (2−tailed)	.109	.673	.382		.379	.237	.303
	N	8	8	8	8	8	8	8

OM	Pearson Correlation	.059	.313	-.931-**	.362	1	.285	-.010-
	Sig. (2-tailed)	.890	.450	.001	.379		.494	.981
	N	8	8	8	8	8	8	8
R_L	Pearson Correlation	.951**	.738*	-.039-	-.472-	.285	1	-.918-**
	Sig. (2-tailed)	.000	.037	.928	.237	.494		.001
	N	8	8	8	8	8	8	8
K_L	Pearson Correlation	-.892-**	-.647-	-.218-	.418	-.010-	-.918-**	1
	Sig. (2-tailed)	.003	.083	.604	.303	.981	.001	
	N	8	8	8	8	8	8	8
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).								
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).								

يُلحظ من مصفوفة الارتباط، بأن متغير السعة الامتزازية العظمى q_{max} ، كمؤشر على الامتزاز الأعظمي لأيونات الأمونيوم، يرتبط مع المتغيرات التالية: الطين clay، وثابت إمكانية الامتزاز حسب لانغمور (R_L) وثابت الألفة K_L، وفقاً للقيم التالية على الترتيب (0.786, 0.951, −0.892). ويمثل الجدول (5) تطبيق الانحدار المتعدد وفق Enter لإيجاد المعادلة، التي توضح تأثير المتغيرات على قيمة السعة الامتزازية العظمى الـ q_{max}.

جدول (5): مصفوفة الانحدار المتعدد حسب Enter

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	255.786	1468.773		.174	.870
	Clay	11.601	12.297	.194	.943	.399
	R_L	5677.453	3370.148	.665	1.685	.167
	K_L	-1988.758-	4439.849	-.156-	-.448-	.677
a. Dependent Variable: q_{max}						

ويُستنبط من الجدول (5) العلاقة التالية:

$$q_{\max} = 255.786 + 11.601(Clay) - 1988.758(K_L) + 5677.453(R_L).....(9)$$

يُستنتج من الجدول (5) بأن قيم المعنوية الإحصائية Sig لكل من المتغيرات المستقلة والثابتة أكبر من مستوى الدلالة (0.05) ، مما يعني بأنه لا يمكن تبني المعادلة للتنبؤ بالتغيرات على اعتبار أن البارامترات غير معنوية. يمكن أن يُعلل ذلك بأن قيم معامل الارتباط بين المتغيرات هي قيم عالية، مما يسبب مشكلة في التنبؤ بعملية الامتزاز. وبغية إيجاد حل لهذه المشكلة، يُطبق اختبار الانحدار المتعدد Regression بطريقة Stepwise وفق ما هو موضح الجدول (6).

جدول (6): مصفوفة الانحدار حسب Stepwise

Coefficients						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	−175.810−	325.205		−.541−	.608
	R_L	8125.099	1074.267	.951	7.563	.000
a. Dependent Variable: q_{max}						

ويُستنبط من الجدول (6) العلاقة التالية:

$$q_{\max} = 8125.099(R_L).....(10)$$

يُستنتج من الجدول (6) بأن قيم المعنوية الإحصائية Sig لثابت إمكانية الامتزاز حسب لانغمویر (RL) هي أقل من مستوى الدلالة (0.05)، مما يعني بأن المعادلة جيدة التمثيل ويمكن اعتمادها للتنبؤ بالتغيرات الحاصلة في امتزاز أيونات الأمونيوم على اعتبار أن البارامترات معنوية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. تتميز ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) بحموضة معتدلة تميل إلى القلوية بصورة طفيفة، وتتمتع بمحتوى عالٍ من كربونات الكالسيوم ومن المادة العضوية أيضاً. وضمن إطار التصنيف، فإن الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري هي ترب طينية بنسبة عالية، ثم لومية طينية، وبنسبة أقل الترب اللومية؛
2. تُظهر نتائج هذا البحث بأن الكميات الممتزة لأيونات الأمونيوم على ترب الأفق الأول والمتمثل بعمود التربة بعمق بين (0 – 30 cm) للمواقع في منطقة الدراسة تخضع للمتراجحة التالية:
3. قرفيص > بيت العلوني > بسطوير > نبع الواحة > جيبول > القطيلبية > بيت عانا > الراهبية؛
4. يمكن وصف معادلة فروندليش (isotherm Fruiendlish) لامتزاز أيونات الأمونيوم على الترب المحيطة ببحيرة السن في الساحل السوري بأنها أكثر تمثيلاً بشكل عام،
5. يُلحظ من مصفوفة الارتباط، بأن متغير السعة الامتزازية العظمى q_{max} ، كمؤشر على الامتزاز الأعظمي لأيونات الأمونيوم، يرتبط مع المتغيرات التالية: الطين clay، وثابت إمكانية الامتزاز حسب لانغمویر (R_L) وثابت الألفة K_L.

التوصيات:

1. إجراء المزيد من الدراسات والبحوث العلمية التي تتناول دور المادة العضوية في زيادة امتزاز أيونات الأمونيوم على الترب، وبما يؤدي خفض كمية انغسال هذه الأيونات منعاً لوصولها إلى الموارد المائية، وبالتالي تجنب ظاهرة الإثراء الغذائي والمحافظة على جودة مياه هذه الموارد.
2. إضافة الخامات الزيوليتيَة السوري و الغضار الطبيعي السوري إلى الترب المحيطة لما تُمثله من مواد مازة للرطوبة والأمونيا، حيث تمثل هذه المهمة الأكثر إلحاحاً في بذل كل الجهود الممكنة، والمستندة أساساً على نتائج الدراسات والبحوث العلمية، في حماية مياه بحيرة السن من التلوث بكافة أشكاله، على اعتبار أن مياه هذه البحيرة تشكل المصدر الأساسي لمياه الشرب في المنطقة الساحلية

3. التأكيد على الاستخدام الرشيد والمتوازن للأسمدة الآزوتية والفوسفاتية (كمخصبات)، وبما يُراعي الخصائص الفيزيائية والكيميائية للترب ومقدرتها على الامتزاز، وربط ذلك مع الظروف المناخية السائدة، لا سيما كمية الهطل المطري، وبما يؤدي إلى الحد من ظاهرة التصويل المائي للمخصبات ومنع وصولها إلى مياه الموارد المائية.

References:

[1]K. Cameron and J. Moir, Nitrogen losses from the soil/plant system. A review, *Annals of Applied Biology*. Vol. **162**(2), pp. 145–173, (2013).
[2]F. Ranjbar and M. Jalali, Measuring and modeling ammonium adsorption by calcareous soils, *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. **185**, pp. 3191–3199, (2013).
[3]M. Zarabi and M. Jalali, Leaching of nitrogen and base cations from calcareous soil amended with organic residues, *Environmental Technology*. Vol. **33**(13–15), pp. 1577–1588, (2012).
[4]Y. Angara, N. E. Djelalia, and S. Kebbouche-Gana, Contribution to the study of the ammonium electro-oxidation in aqueous solution, *Desalination and Water Treatment*. Vol. **63**, pp. 212–220, (2017).
[5]R. Lv, Y. Wang, X. Yang, Y. Wen, X. Tan, Y. Zeng, and Q. Shang, Adsorption and leaching characteristics of ammonium and nitrate from paddy soil as affected by biochar amendment, *Plant, Soil and Environment*. Vol. **67**, pp. 8–17, (2021).
[6]Y. Zhang, S. Huang, D. Wan, Y. Huang, W. Zhou, and Y. Zou, Fixed ammonium content and maximum capacity of ammonium fixation in major types of tillage soils in Hunan Province, China, *Agricultural Sciences in China*. Vol. **6**(4), pp. 466–474, (2007).
[7]S. Wang, H. Lin, and K. Hou, Impact assessment of ammonia emissions on inorganic aerosols in East China using response surface-modeling technique, *Environmental Science & Technology*. Vol. **45**, pp. 9293–9300, (2011).
[8]D. Kucic, I. Cosic, M. Vukovic, and F. Briski, Sorption kinetic studies of ammonium from aqueous solution on different inorganic and organic media, *Acta Chimica Slovenica*. Vol. **60**, pp. 109–119, (2013).
[9]F. Ranjbar and M. Jalailet, Empirical and mechanistic evaluation of NH_4^+ release kinetic in calcareous soils, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. **66**, pp. 606–615, (2014).
[10] D. Mohalla, H. Shahin, M. Ghafar, M. Dais, and K. Ibrahim, Contribution to the study of ammonium leaching and its influencing factors in the soils of Al-Sin Lake Catchment, Banias, Syria, *Water Practice & Technology*. Vol. **18**(6), (2023).
[11] J. Wang and X. Guo, Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method, *Chemosphere*. Vol. **258**, pp. 445–509, (2020).
[12] A. Podlasek and E. Koda, Kinetic and equilibrium studies of sorption of ammonium in the soil-water environment in agricultural areas of Central Poland, *Applied Sciences*. Vol. **6**, 269, (2016).
[13] W. Hamdi, N. Ziadi, E. Kouakoua, D. Blavet, F. Gérard, and M. Seffen, Effect of the soils properties on the sorption capacity of phosphorus and ammonium by alkaline soils of the semi-arid areas, *IOSR Journal of Applied Chemistry*. Vol. **8**(5), pp. 34–42, (2015).
[14] A. F. Osisi, D. E. O. Azu, L. C. Agim, and E. D. Chukwu, Ammonium sorption characteristics of soils of coastal plain sand in Owerri West Imo State, *Nigerian Journal of Soil Science*. Vol. **33**(2), pp. 105–110, (2023).

[15] Y. Yao, B. Gao, M. Zhang, M. Inyang, and A. Zimmerman, Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil, *Chemosphere*. Vol. **89**(11), pp. 1467–1471, (2012).
[16] A. Sieczka and E. Koda, Kinetic and equilibrium studies of sorption of ammonium in the soil-water environment in agricultural areas of Central Poland, *Applied Sciences*. Vol. **6**, No. 10: 269, (2016).
[17] M. G. Davis, K. Yan, and J. G. Murphy, Evaluating adsorption isotherm models for determining the partitioning of ammonium between soil and soil-pore water in environmental soil samples, *EGUsphere*, (2024).