DOI: https://doi.org/10.54172/mjsc.v4i1.557

تأثير تركيب محلول الاتزان وتركيزه على مدى وطبيعة ادمصاص أيونات الفوسفات في التربة

يوسف حمد عبدالله، فوزي محمد الدومي، يوسف القرشي الماحي(*)

الملخـص

تمت دراسة معملية لتأثير تركيب محلول الاتزان وتركيزه على إمكانية تحديد مدى وطبيعة ادمصاص الفوسفات في تربتين تختلفان في محتواهما من كربونات الكالسيوم والطين، جمعتا من منطقة الخضراء على بعد حوالى 30 كيلومتراً جنوب شرق مدينة بنغازي. وتصنف التربتان ضمن ترب المناطق الجافة وشبه الجافة ذات الأفق الطيني. ولقد اتضح أنه يمكن استخدام معادلتي فرويندليخ ولانجميور لدراسة مدى ادمصاص الفوسفور المضاف وطبيعته في التربة، وأن استخدام وسط تفاعل يشابه في التركيب الأيوني والتركيز محلول التربة قد عبر عن تأثير الفروقات في خصائص التربتين على الإدمصاص بصورة أفضل من استخدام الماء المقطر الذي لم يعكس تلك الفروقات. ولقد أدت زيادة محتوى الطين بحوالى 10% في التربة (1) مقارنة بالتربة (2) إلى زيادة الكمية القصوى التي يمكن ادمصاصها بالتربة (1)، بينما أدت زيادة مماثلة في محتوى كربونات الكالسيوم في التربة (2) مقارنة بالتربة (1) إلى زيادة في قوة ارتباط الفوسفور في التربة (2). ولقد فسرت تلك الاختلافات على ضوء اختلاف مدى وطبيعة ادمصاص الفوسفور على معادن الطين وكربونات الكالسيوم.

(*) محاضر مساعد وأستاذان مشاركان، على التوالي، جامعة عمر المختار ـ البيضاء.

© للمؤلف (المؤلفون)، يخضع هذا المقال لسياسة الوصول المفتوح ويتم توزيعه بموجب شروط ترخيص إسناد المشاع الإبداعي CC BY-NC 4.0

المقدمـة :

تتعرض أيونات الفوسفات للادمصاص على أسطح المواد الغروية العضوية وغير العضوية بالتربة بوساطة روابط فيزيائية (Barrow, 1983) وكيميائية قوية (Bohn et al., 1979). وتعتمد الكميات المدمصة من أيون الفوسفات على عدد من العوامل منها كربونات الكالسيوم (Holford and Mattingly, 1975; Amer et al., 1991) ومحتوى معادن الطين (El Mahi and Mustafa, 1980) وأكاسيد الحديد والألومنيوم (Holford et al., 1974; Amer et al., 1991)، كما وجد (Borrero et al. 1988) أن كميات الفوسفور المدمصة على سطوح معادن المونتموريللونيت والكاولينت المشبعة بالكالسيوم قد تناقصت مع زيادة الرقم الهيدروجيني من 2 ـ 10.

استخدم العديد من الباحثين معادلات فرويندليخ ولانجمير للتعبير عن ظاهرة ادمصاص الفوسفور في التربة عند تثبيت درجة الحرارة (Holford et al., 1974; El Mahi and Mustafa, 1980). ولكن ظلت جدوى استخدام هذه المعادلات لتحديد مدى ادمصاص الفوسفور وطبيعته موضع جدل. فمثلاً أوضح (Barrow, 1983) أن كمية الفوسفور المدمصة تزداد مع زيادة التركيز الملحي في وسط التفاعل، كما وجد (Brian and Fox, 1972) أن استعمال كلوريد الكالسيوم كمحلول خلفي قد أدى إلى زيادة ادمصاص الفوسفات في بعض الترب مقارنة بالكمية المدمصة من هذا الأيون عند استخدام محلول كلوريد البوتاسيوم، وقد ترتبت عن زيادة التركيز الملحي من 0.001 إلى 0.1 مولاريا زيادة واضحة في كمية الفوسفور المدمص. كما وجد (Mahi and El Mustafa, 1980) أيضاً أن ادمصاص الفوسفات قد ازداد مع زيادة التركيز الملحي، ولكن هذه الزيادة قلت كثيراً مع زيادة صودية التربة. وأخذاً في الاعتبار لكل هذه النتائج أوصى (El Mahi and Mustafa, 1980) بضرورة استخدام محلول ملحي مشابه لمحلول التربة من حيث التركيز الملحي والتركيب الأيوني عند

دراسة ادمصاص الفوسفور في التربة.

عليه، يهدف هذا البحث إلى دراسة أهمية وسط التفاعل في تحديد مدى ادمصاص الفوسفور وطبيعته على تربتين من ليبيا تختلفان في محتواهما من الطين وكربونات الكالسيوم، وذلك بمقارنة الادمصاص عند استخدام محاليل خلفية لها نفس ملوحة وصودية التربة بالادمصاص الذي يحدث عند استخدام الماء المقطر.

المواد وطرق البحث:

أخذت عينات سطحية (0 ـ 30 سم) من تربتين من منطقة الخضراء التي تقع على مسافة 30 كم تقريباً جنوب شرق مدينة بنغازي. وتصنف التربة الأولى (تربة 1) على مستوى المجموعة الكبرى بترب المناطق الجافة وشبه الجافة ـ ذات الأفق الطيني ـ قديمة التكوين (Paleargid) بينما تصنف التربة الثانية (تربة 2) على مستوى المجموعة الكبرى بترب المناطق الجافة وشبه الجافة ـ ذات الأفق الطيني الصودي (Natrargid). وبعد ذلك جففت عينات التربة هوائياً وطحنت ونخلت من خلال منخل 2 مم ثم قدرت بعض الخصائص الهامة لكل من التربتين اللتين اشتملتا القوام بطريقة الهيدرومتر، والرقم الهيدروجيني والكاتيونات الذائبة وكربونات الكالسيوم طبقاً للطرق الواردة في (Black, 1965). والتوصيل الكهربي لمستخلص 1:1 بجهاز قياس التوصيل الكهربي، والسعة التبادلية الكاتيونية، والمادة العضوية، وأكاسيد الحديد الحرة والفوسفور الكلي حسب (Hesse, 1971). والجدول رقم (1) يوضح هذه الخصائص. وأيضاً استخلص الفوسفور الميسر باستخدام محلول بيكربونات الصوديوم (0.5 مولاريا) وقدر في المحلول حسب طريقة (Watanabe and Olson, 1965).

تجارب الادمصاص:

أجريت تجارب الادمصاص بوضع عينات تربة جافة هوائياً زنة كل منها 8 جم

في أنابيب بلاستيك سعة كل منها 100 مل وأضيف الفوسفور في صورة فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين بتركيزات تتراوح من 0 إلى 40 ميكروجرام P/مل، بحيث كانت نسبة التربة إلى المحلول 1:5. ولقد أجريت تجربتان في هذا الصدد أذيب الفوسفور في إحداهما في محلول ملحي ذي قيم توصيل كهربي ونسبة صوديوم مدمص (SAR) تساويان قيمهما في التربة المعنية، وأذيب الفوسفور في الأخرى في ماء مقطر كمحلول خلفي للمقارنة، وبعد مضي 24 ساعة من الرج في حمام مائي عند درجة حرارة 20 ± 1 °م رشحت العينات من خلال ورق ترشيح واتمان رقم 42 ثم قدر الفوسفور في المستخلص بطريقة (Murphy and Riley, 1962). بعد ذلك استخدمت معادلتا لانجمير وفروينديليخ لوصف ادمصاص الفوسفور في التربتين.

النتائج والمناقشة:

يشكل الحجر الجيري الدولوميتي والحجر الجيري البطروخي والقليل من المارل مادة الأصل للتربتين (النهر الصناعي العظيم، 1989). ومن ثم فإنهما تتشابهان في معظم الخصائص (جدول 1) ما عدا المحتوى الطيني والجيرية. ولقد اختيرت التربتان للدراسة بحيث تقارب فيهما مجموع نسبة الطين زائداً كربونات الكالسيوم، إذ تزيد نسبة الطين في التربة (1) عن نسبته في التربة (2) بحوالى 10% بينما تزيد نسبة كربونات الكالسيوم في التربة (2) عن نسبته في التربة (1) بحوالى 12%، وذلك بهدف دراسة تأثير محتوى التربة من الطين وكربونات الكالسيوم على مدى ادمصاص الفوسفور وطبيعته في ترب منطقة الدراسة.

استخدم الباحثون في دراسات سابقة محاليل آحادية الأملاح بتركيزات مختلفة (Holford et al., 1974; Rajan and Fox, 1972)) آو الماء المقطر (Barrow and Shaw, 1975) كوسط خلفي عند دراسة ادمصاص الفوسفات على التربة. ونظراً لأن محلول التربة يتكون من العديد من الأملاح التي تتفاوت في تركيزاتها وتركيباتها

الأيونية، فإن استخدام الماء المقطر أو محلول يحتوي على ملح واحد أو خليط عشوائي من الأملاح لن يمثل البيئة الأيونية التي يتفاعل فيها الفوسفور تحت الظروف الطبيعية. ولمعرفة تفاعلات الفوسفور في ظروف تقارب تلك التي يتعرض لها هذا الأيون في التربة، استخدمت في هذه التجارب محاليل خلفية تماثل في تركيزتها وتركباتها الأيونية محاليل التربة الطبيعية. وعند مقارنة نتائج الادمصاص المتحصل عليها باستخدام المحاليل الملحية (جدول 2) بالادمصاص عند استخدام الماء المقطر (جدول 3) كوسط ادمصاص، تبين أن زيادة معدل الفوسفور واكبتها زيادة في الكمية المدمصة من أيون هذا العنصر في التربتين عند استخدام كل من الماء المقطر والمحلول الملحي. ويتضح من هذه النتائج أن الكمية المدمصة في التربة (2) كانت أعلى منها في التربة (1) عند استخدام المحلول الملحي وذلك بصفة عامة، بينما تشابهت قدرات التربتين على الادمصاص باستخدام الماء المقطر كمحلول خلفي، وذلك رغم وجود بعض الاختلافات الهامة بين التربتين، وأبرزها محتواهما من الطين وكربونات الكالسيوم. وعليه كان يتوقع أن تظهر التربتان بعض الاختلافات بسبب ما يعرف عن مقدرة هذين المكونين على التأثير على ادمصاص الفوسفور (Holford et al., 1974; El Mahi and Mustafa, 1980; Amer et al; 1991 Borrero et al., 1988). وبهذا تؤكد النتائج أن المحلول الملحي كان أكثر حساسية من الماء المقطر لوصف مدى ادمصاص الفوسفور في التربتين.

أظهرت النتائج (شكل 1 وشكل 2) أنه يمكن وصف ادمصاص الفوسفور في التربتين باستخدام معادلة لانجميور في مجال معدل إضافة يتراوح بين 0 ـ 20 ميكروجرام P/مل، ولكن أدت زيادة معدل الإضافة أكثر من ذلك إلى تعديل ميل الخط المستقيم مما يدل علـى حدوث تفاعلات ترسيب جانبية أو ادمصاص لأكثر من طبقة واحدة عند التركيزات العالية من الفوسفور المضاف (Holford et al., 1974). ومن ناحية أخرى أمكن التعبير بيانياً عن ظاهرة ادمصاص الفوسفور في التربتين

باستخدام معادلة فروينداليخ عند معدلات إضافة تصل إلى 40 ميكروجرام P/مل (شكل 3 وشكل 4) وليس هذا بغير مألوف حيث برهن (Brunauer and Copeland, 1967) أن معادلة لانجميور الخاصة بالادمصاص متعدد الطبقات تكافىء نظرياً معادلة فروينداليخ.

ولقد اتضح من النتائج (شكل 1 أ و 1 ب) أن قيمة قدرة الادمصاص القصوى (b) المقدرة من منحنى لانجميور باستخدام المحلول الملحي كانت أعلى في التربة (1) إذ بلغت 185 ميكروجرام P/جم تربة مقارنة بالتربة (2) التي بلغت فيها تحت نفس الظروف 141 ميكروجرام P/جم تربة، مما يشير إلى أهمية أكبر لمحتوى الطين الأعلى في التربة (1) مقارنة بأهمية كربونات الكالسيوم الأعلى في التربة (2)، كما ذكر سابقاً (Holfard et al., 1974). وقد يرجع ذلك لسيادة الادمصاص الفيزيائي متعدد الطبقات على أسطح الطين (Brunauer and Copeland, 1967; Barrow, 1983) والادمصاص الكيميائي (Chemisorption) ربما لطبقة مفردة على أسطح كربونات الكالسيوم (Bohn et al. 1979)، وكذلك ربما سببت الزيادة في محتوى التربة من الطين زيادة في سطوح الادمصاص أعلى من الزيادة التي تسببها زيادة مماثلة في محتوى التربة من كربونات الكالسيوم. ومن ناحية أخرى، أدى استخدام الماء المقطر كوسط ادمصاص إلى مضاعفة قدرة التربة القصوى على الادمصاص المحسوبة من المنحنيات (الشكلان 2 أ و 2 ب) ويتفق هذا مع ما وجده (Barrow and Shaw, 1975) اللذان فسرا نتائجهما بأن استخدام الماء المقطر كمحلول خلفي أدى إلى تفكك المواد الغروية مما يؤدي إلى زيادة المساحة السطحية التي يمكن أن تدمص عليها أيونات الفوسفات. ولكن لم تنعكس هذه الزيادة إيجاباً كما هو متوقع على ارتفاع معدل ادمصاص الفوسفور عند إضافة أي تركيز معين أو سلباً على انخفاض تركيز الفوسفور في محلول الأتزان (جدول 3).ولكل هذا تتضح عدم كفاءة استخدام الماء المقطر كوسط تفاعل عند دراسة طبيعة ومدى ادمصاص الفوسفور في التربة مقارنة بالمحلول الملحي.

يتضح من الشكلين (1 أ) و (1 ب) أن المعامل (K) الذي يستخدم كمؤشر على قوة ارتباط الفوسفور بالتربة كان 0.3 و 0.7 في التربتين (1) و (2)، على التوالي باستخدام المحلول الملحي. وربما يشير هذا إلى الاختلاف النوعي في طبيعة ادمصاص الفوسفور في هذه الترب، والذي ربما تغلب عليه الروابط الفيزيائية الضعيفة نسبياً في التربة (1) عالية المحتوى من الطين (Barrow, 1983) بينما تغلب عليه الروابط الكيميائية القوية في التربة (2) ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم (Bohn et al., 1979). ومن ناحية أخرى يشير الشكلان (2 أ) و (2 ب) إلى أن المعامل (K) ظل ثابتاً تقريباً عند 0.08 و 0.09 في التربتين (1 و2)، على التوالي عند استخدام الماء المقطر كوسط تفاعل مما يدل على عدم حساسية هذا الوسط للتفريق بين خصائص طبيعة ادمصاص الفوسفور على التربتين رغم اختلافهما. ومما يجدر ذكره أن قوة الارتباط (K) قد انخفضت حوالى 4 مرات عند استخدام الماء المقطر في التربة (1) وحوالى 8 مرات في التربة (2) مقارنة بقيمتهما عند استخدام المحلول الملحي. وهذا الانخفاض أيضاً لا يتوافق مع ارتفاع معدل القدرة الادمصاصية القصوى في التربتين المحسوبة عند استخدام الماء المقطر.

وتبين من قياس الرقم الهيدروجيني في وسط الادمصاص أنه قد تراوح بين 7.9 و 8.0 $\pm$ 1 بالنسبة للمحلول الملحي و 8.4 و 8.5 $\pm$ 0.2 بالنسبة للماء المقطر للتربتين (1) و (2)، على التوالي. وتشابه الأرقام الهيدروجينية للمحلول الملحي الأرقام الأصلية للتربة (جدول 1)، بينما قد يتسبب ارتفاع الرقم الهيدروجيني في وسط الماء المقطر في انخفاض شدة ادمصاص الفوسفور (El Mahi and Mustafa, 1980; Barrow, 1983) كما قد يتسبب انخفاض التركيز الملحي في ارتفاع قدرة التربة القصوى على ادمصاص الفوسفور نتيجة لتشتت غرويات التربة (Barrow and Shaw, 1975). وهاتان الحالتان الأخيرتان لا تعكسان الأحوال الأصلية للتربة.

الخلاصـة:

يستخلص من هذا البحث أنه يمكن استخدام معادلتي فروينداليخ ولانجميور لدراسة مدى وطبيعة ادمصاص الفوسفور في ترب منطقة الدراسة وأن استخدام وسط تفاعل يشابه محلول التربة قد عبر عن تأثير الفروقات بين التربتين في نسب الطين وكربونات الكالسيوم على الإدمصاص بصورة أفضل من استخدام الماء المقطر الذي لم يعكس ذلك التأثير. ويبدو أن زيادة محتوى الترب من الطين بحوالى 10% تقريباً قد أدت إلى زيادة واضحة في الكمية القصوى التي يمكن ادمصاصها، بينما لم ينعكس ذلك إيجابياً بزيادة قوة ارتباط الفوسفور بالتربة، وذلك بعكس الزيادة في كربونات الكالسيوم (حوالى 12% تقريباً) التي أدت إلى خفض قدرة التربة القصوى على الإدمصاص ولكن إلى زيادة قوة الارتباط. وربما يرجع اختلاف ومدى طبيعة ادمصاص الفوسفور على التربتين إلى سيادة إدمصاص فيزيائي ضعيف متعدد الطبقات على سطوح معادن الطين بالتربة (1) أو على مساحة سطحية أعلى بها، وسيادة إدمصاص كيميائي قوي في طبقة مفردة على سطوح كربونات الكالسيوم أو على مساحة سطحية أقل بالتربة (2).

The effects of the composition and concentration of equilibrium solution on the nature and extent of phosphate adsorption on soils

Hamad, Y.A; Eldoumi, F.M; ElMahi, Y.G

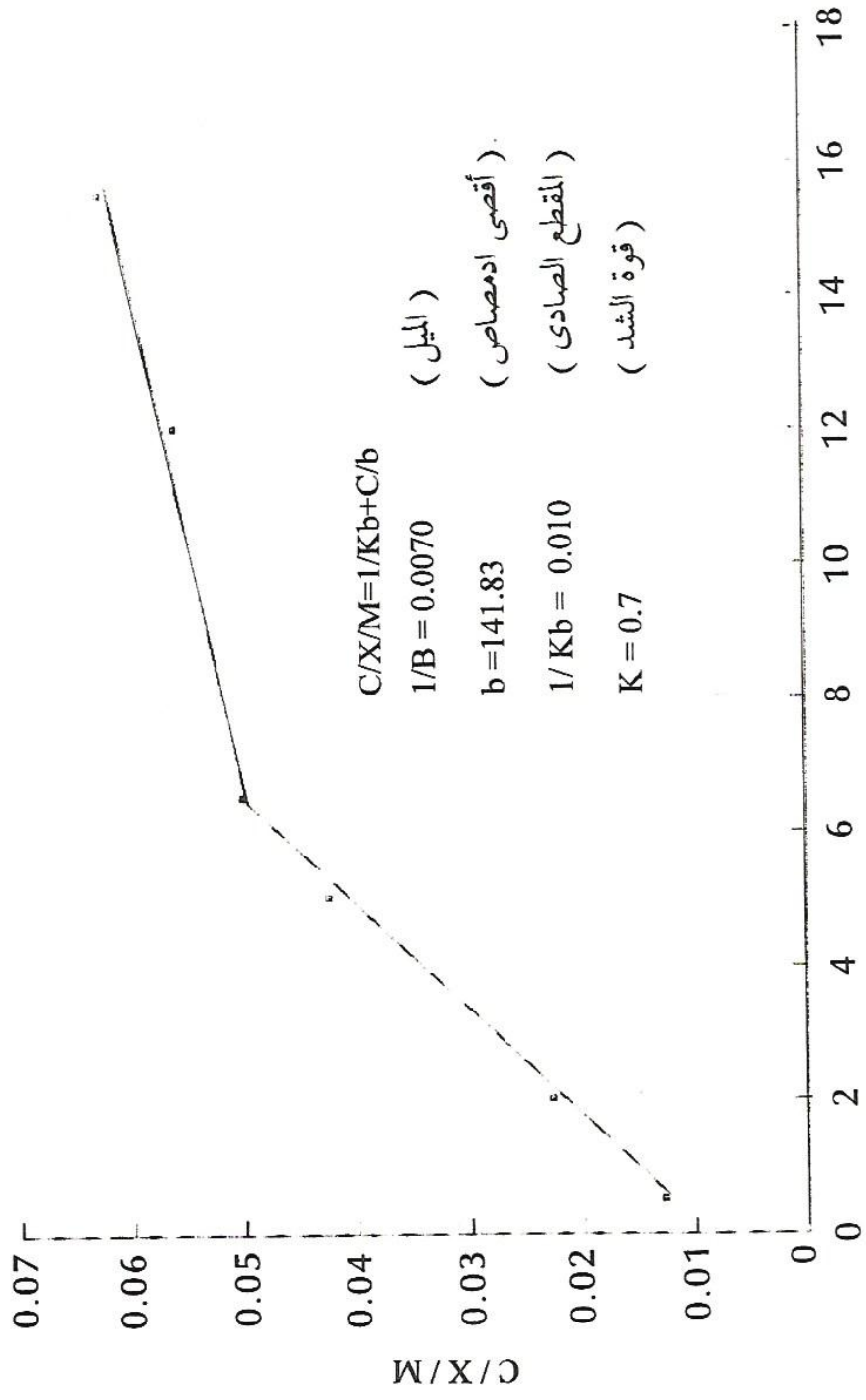
Abstract

A laboratory study was conducted to examine the effects of the composition and concentration of equilibrium solution on the nature and the extent of phosphate adsorption on two Aridosols (Soils 1 and 2), differing in

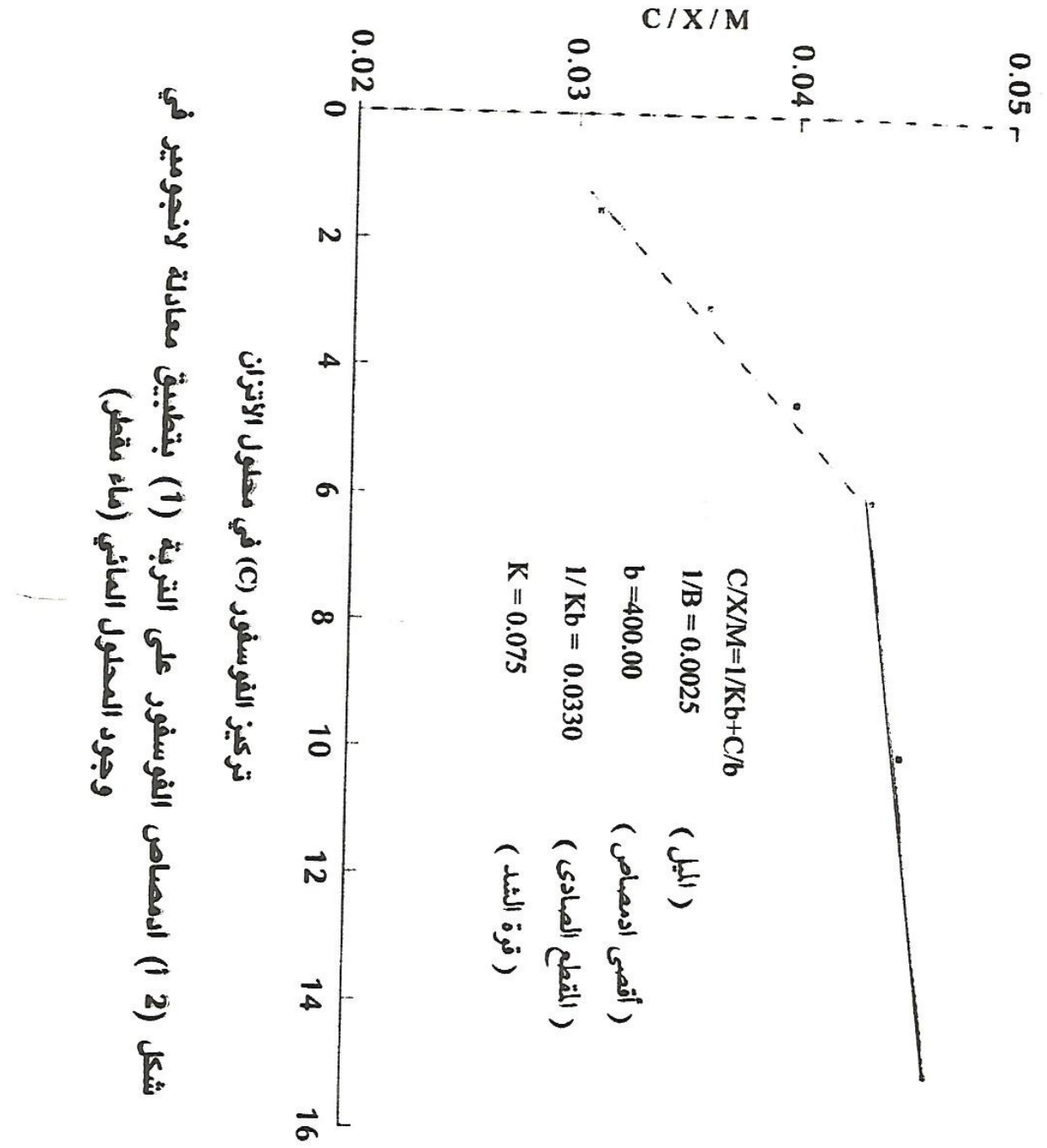
clay and calcium carbonate contents. The soils were collected from an area located about 30 km south east of Benghazi city, Libya. It has been shown that the extent and nature of phosphate sorption could be studied using the Fruendlich and Langmuir adsorption isotherms, and that using an equilibration solution similar to that of the soil solution expressed more clearly the effects of soil properties on adssorption as compared to distilled water. A higher clay content of 10% in soil (1) increased the soil's P adsorption maximum, but not the P bonding strength compared to soil (2) which had a higher $CaCO_3$ content of about 12%.

The results were discussed on the basis of differences of the nature and extent of phosphate adsorption by clay and calcium carbonate minerals.

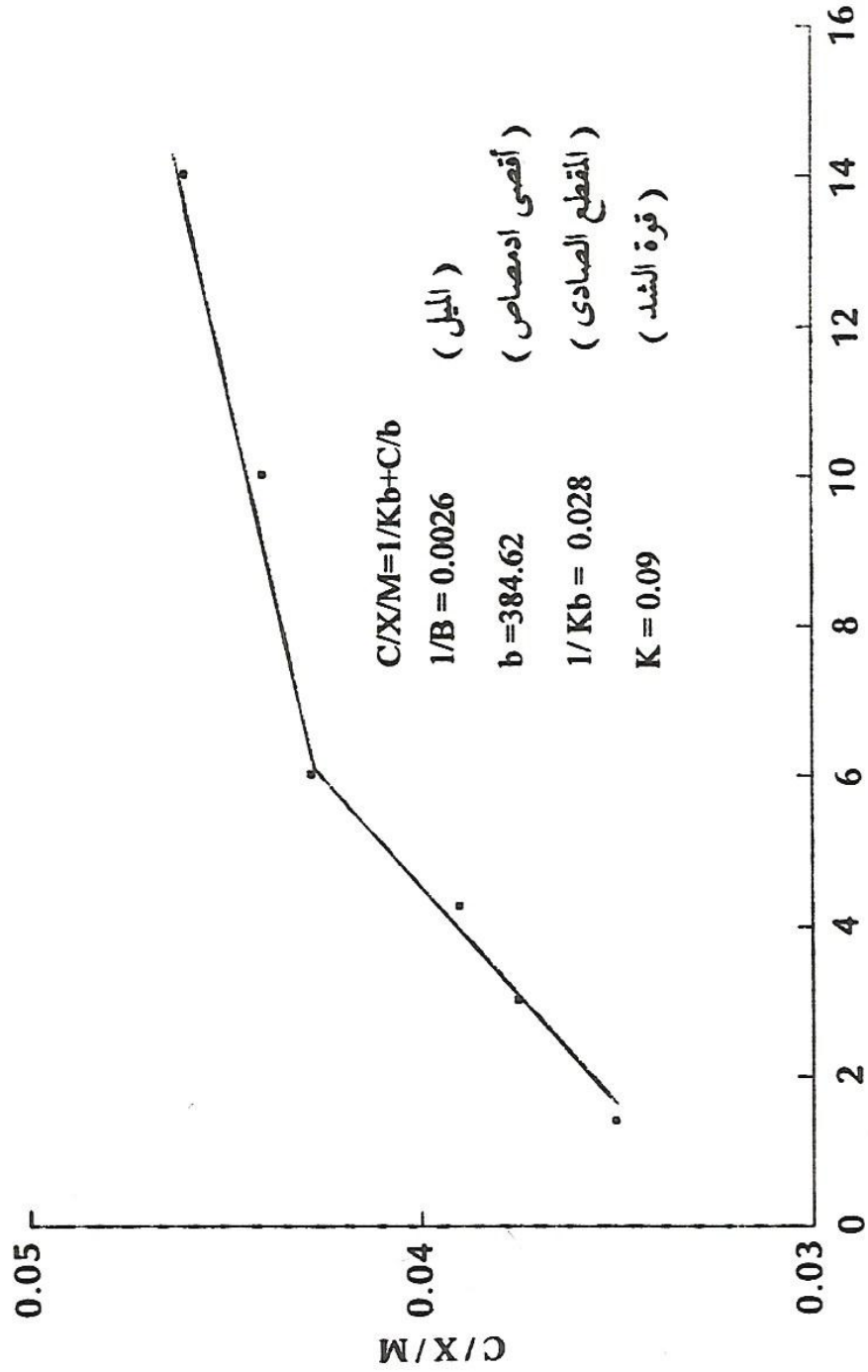
شكل (1 أ) ادمصاص الفوسفور على التربة (1) بتطبيق معادلة لانجومير في وجود المحلول الملحي



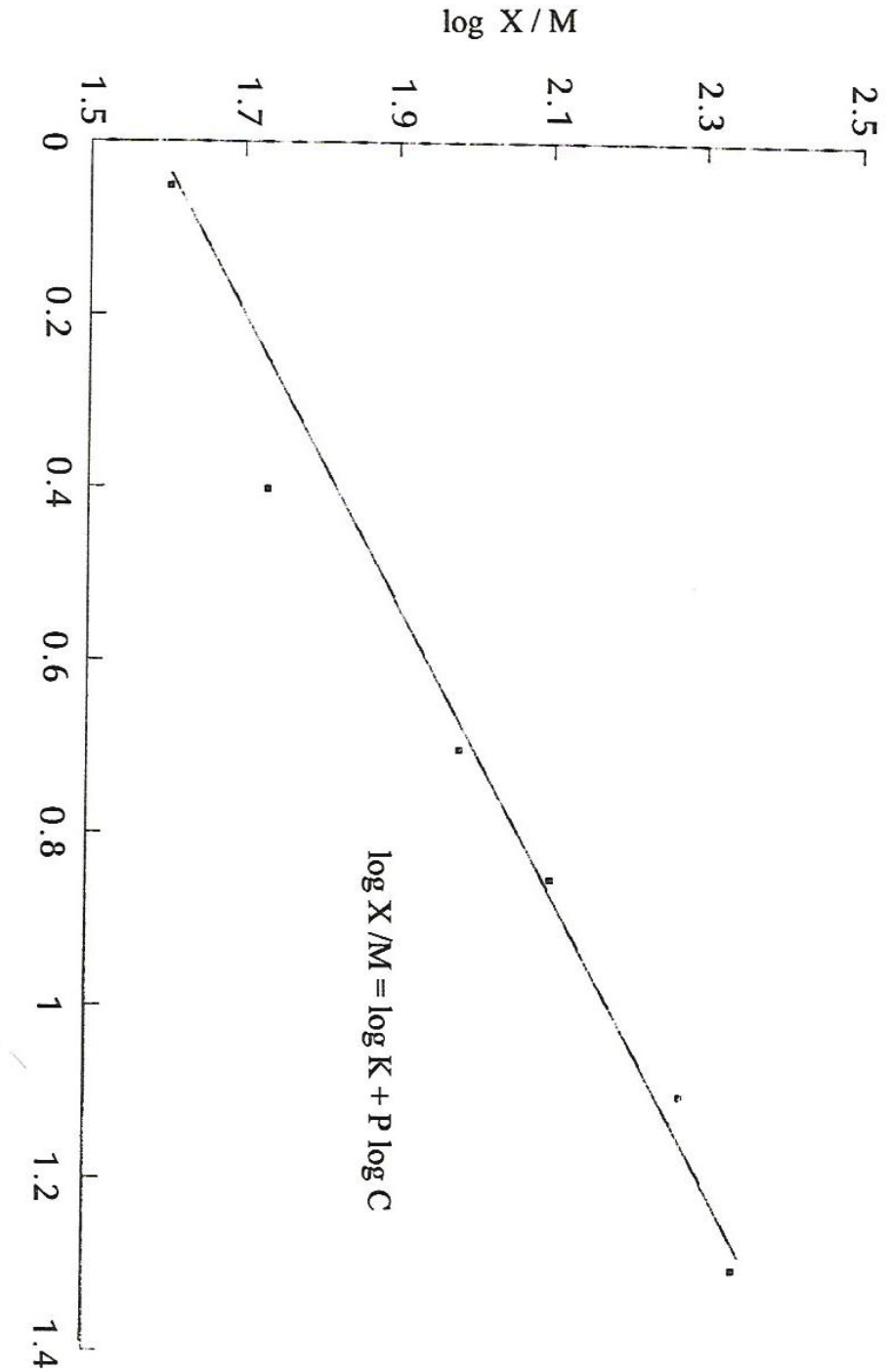
شكل (1 ب) ادمصاص الفوسفور على التربة (2) بتطبيق معادلة لانجومير في وجود المحلول الملحي



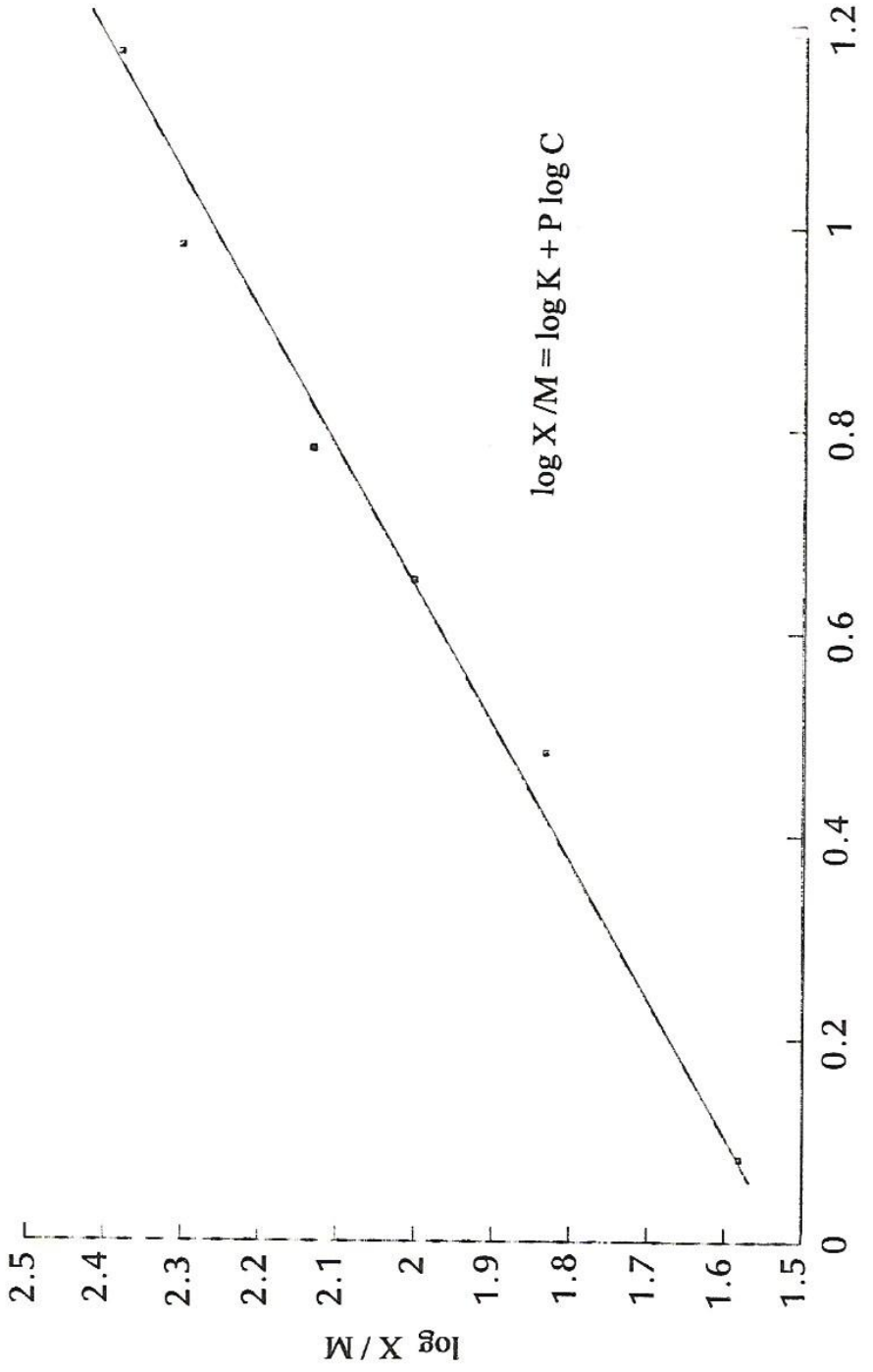
شكل (2 أ) امتصاص الفوسفور على التربة (أ) بتطبيق معادلة لانجومير في وجود المحلول المائي (ماء مقطر)



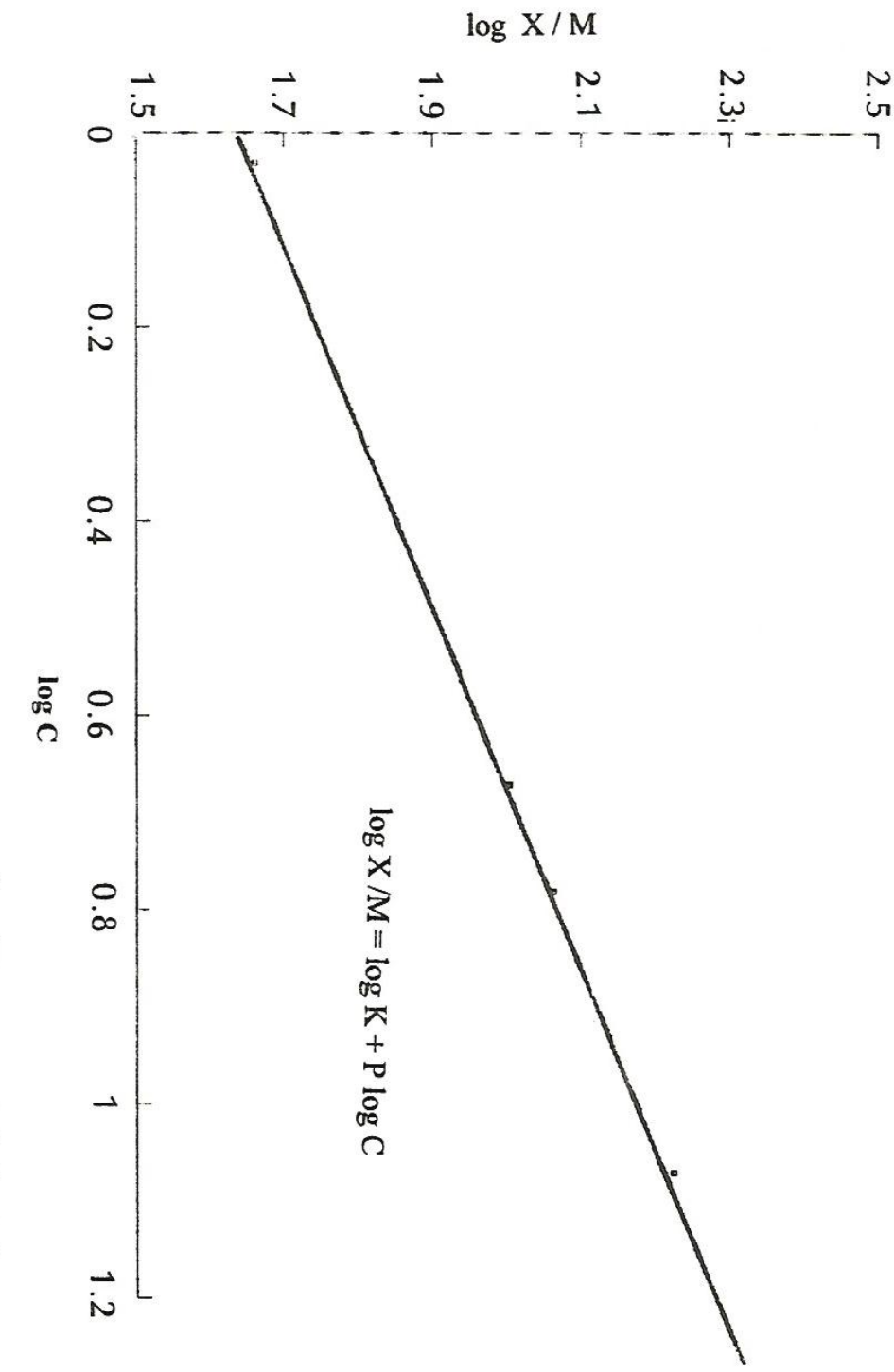
شكل (2 ب) ادمصاص الفوسفور على التربة (2) بتطبيق معادلة لانجومير في وجود المحلول المائي (ماء مقطر)



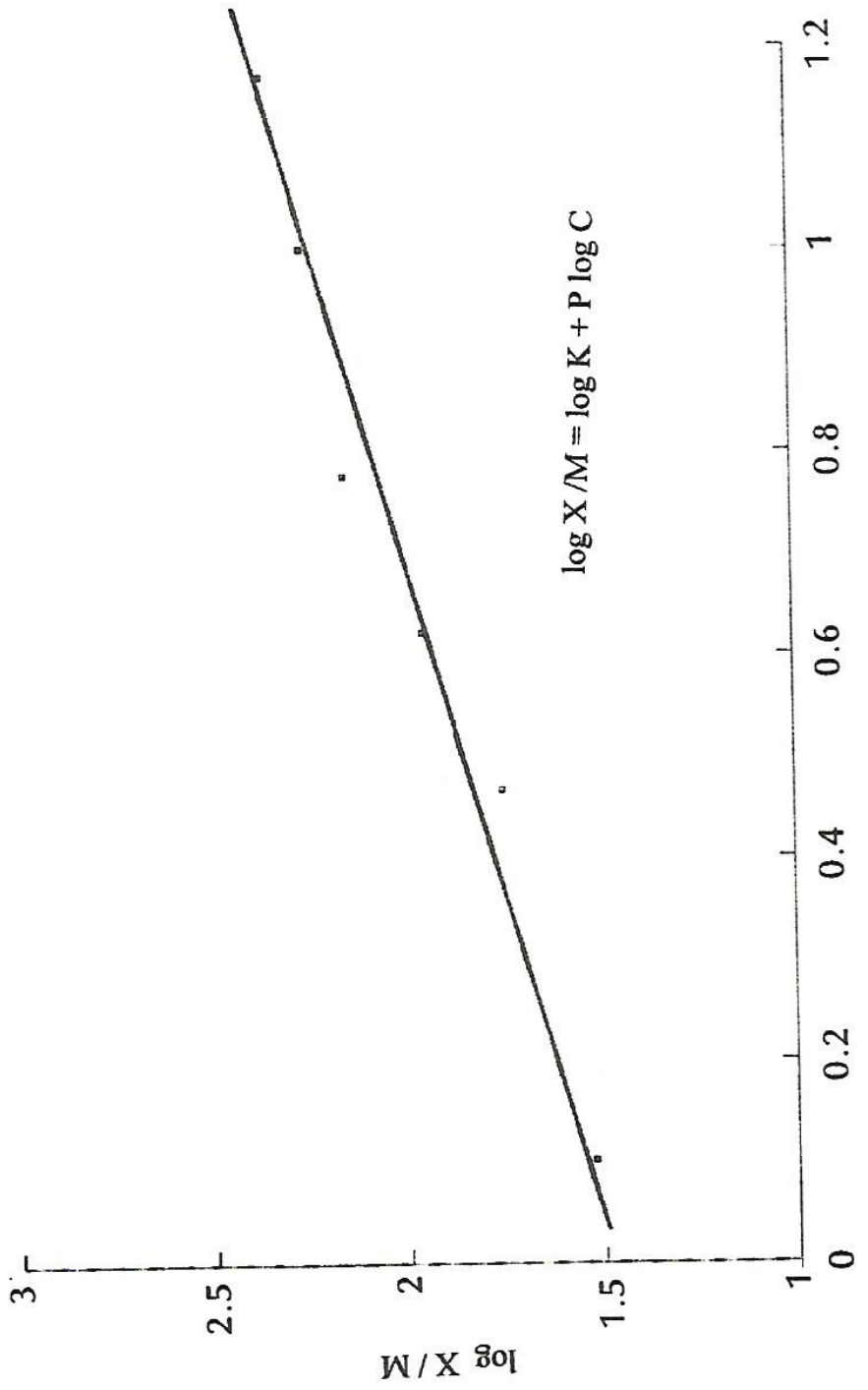
الشكل (3 أ) امصاص الفوسفور على التربة (1) بتطبيق معادلة فريندلخ في وجود المحلول الملحي



الشكل (3 ب) ادمصاص الفوسفور على التربة (2) بتطبيق معادلة فريندلخ في وجود المحلول الملحي



شكل (4 أ) ادمصاص الفوسفور على التربة (1) بتطبيق معادلة فريندلخ في وجود المحلول المائي (ماء مقطر)



شكل (4 ب) ادمصاص الفوسفور على التربة (2) بتطبيق معادلة فريندلخ في وجود المحلول المائي (ماء مقطر)

جدول (1): بعض الخصائص الكيميائية الفيزيائية لتربتين من منطقة الخضراء

الخاصية	التربة (1)	التربة (2)
الرقم الهيدروجيني (1:1)(*)	8.0	8.2
الرقم الهيدروجيني (1:1)(**)	7.9	8.1
التوصيل الكهربائي (1:1) (ملیمنز/سم)	3.3	2.2
المادة العضوية %	0.93	0.77
كربونات الكالسيوم (%) (طريقة المعايرة)	7.4	20.78
كربونات الكالسيوم (%) (طريقة الكالسيمتر)	5.03	17.46
السعة التبادلية الكاتيونية (ملیمكافيء/100 جم تربة)	19	18
الأيونات الذائبة (ملیمكافيء/لتر):		
كالسيوم	8.10	3.39
مغنيسيوم	5.22	2.67
صوديوم	15.80	5.00
كلور	22.00	27.50
اكاسيد الحديد	1.08	0.71
الفوسفور المتيسر ميكروجم (P)/جم	7.0	4.7
التوزيع الحجمي للحبيبات:		
الطين (%)	36.56	26.56
السلت (%)	45	50.36
الرمل (%)	18.44	23.08
القوام	طمي - طيني - سلتي	طمي طيني
الرطوبة عند السعة الحقلية (%)	32	30

(*) مستخلص تربة: ماء مقطر.

(**) مستخلص تربة: كلوريد كالسيوم (0.01 عياري).

جدول (2): العلاقة بين معدل إضافة الفوسفور في محلول الاتزان والكمية المدمصة منه عند استخدام محلول مماثل لمحلول التربة الأصلي.

تركيز الفوسفور المضاف، ميكروجم (P)/مل	متوسط تركيز الفوسفور في محلول الاتزان(*) ميكروجم (P)/مل		متوسط كمية الفوسفور المدمص(*) ميكروجم (P)/جم	
	التربة (1)	التربة (2)	التربة (1)	التربة (2)
5	0.96	0.47	82.0	90.6
10	2.36	1.89	152.80	162.2
15	4.73	4.50	205.4	210.0
20	7.10	5.90	258.0	282.0
30	11.80	11.60	364.0	360.0
40	17.75	15.40	445.0	492.0

(*) تمثل كل قراءة متوسط تركيز الفوسفور لمكررين.

جدول (3): العلاقة بين معدل إضافة الفوسفور في محلول الاتزان والكمية المدمصة منه عند استخدام الماء المقطر كمحلول خلفي.

تركيز الفوسفور المضاف. ميكروجم (P)/مل	متوسط تركيز الفوسفور في محلول الاتزان(*) ميكروجم (P)/مل		متوسط كمية الفوسفور المدمص(*) ميكروجم (P)/جم	
	التربة (1)	التربة (2)	التربة (1)	التربة (2)
5	1.18	1.28	76.40	74.60
10	2.84	2.84	143.20	143.20
15	4.31	4.36	213.80	212.79
20	5.92	5.90	282.00	282.00
30	9.47	9.95	410.60	400.90
40	14.22	13.95	515.63	521.00

(*) تمثل كل قراءة متوسط تركيز الفوسفور لمكررين.

المـراجـع:

Amer, F; Saleh, M.E, and Mostafa, H.E. (1991). Phosphate behavior in Submerged Calcareous Soils. Soil Sci. 151 (4): 306-311.

Barrow, N.J. (1983). A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. J. Soil Sci. 34: 733-750.

Barrow, N.J. and Shaw, T.C. (1975). The slow reaction between soil and anions. 2. Effects of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. Soil Sci. 119: 167-177.

Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E. and Clark, F.E. (1965). Methods of soil analysis II. Chemical and Microbiological properties. The American Soc. Agron., Inc. New York.

Bohn, H.L.; Mc Neal B.L. and O'Connor, G.A. (1979). Soil Chemistry. Wiley and Sons Inc. New York.

Borrero. C; Pena, F. and Torrent, J. (1988). Phosphate Sorption by Calcium Carbonate in some soils of the Mediterranean part of Spain. Geoderma 42: 261-269.

Brunauer, S. and Copeland, L.E. (1967). Surface tension, adsorption, Part 5. In Handbook of Physics, E.U. Condon and H. Odishaw (Eds.). Mc-Graw-Hill New York, pp. 90-115.

El-Mahi, Y.E. and Mustafa, M.A. (1980). The effects of electrolyte concentration and sodium adsorption ratio on phosphate sorption by arid zone soils. Soil Sci., 130 (6): 321-325.

Hesse, P.R. (1971). A Textbook of soil Chemical analysis. William Clowes and Sons limited, London.

Holford, I.C.R. and Mattingly, G.E.G. (1975). Phosphate sorption by Jurassic oolitic limestone. Geoderma. 13 (3): 257-264.

Holford, I.C.R., Wedderburn, R.W.M. and Mattingly, G.E.G. (1974). A Langmuir two surface equation as a model for phosphate adsorption by Soils. J. Soil Sci. 25 (2): 242-255.

Murphy, J. and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water, Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.

Rajan, S.S.S. and Fox, R.L. (1972). Phosphate adsorption by soils. I. Influence of time and ionic environment on phosphate adsorption. Communications in Soil Sci. and Plant Analysis, 3 (6): 493-504.

Watanabe, F.S. and Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and sodium bicarbonate extracts from soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 677-678.

المراجع العربية:

النهر الصناعي العظيم (1989). تقرير عن مسح وتصنيف ترب منطقة الخضراء، جنوب شرق مدينة بنغازي.