

PHOSPHATE ADSORPTION- DESORPTION BY CALCAREOUS SOILS

(Received: 16.10.2008)

By
F. M. Al-Nasir

Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Mu'tah University, Karak, Jordan

ABSTRACT

Twelve calcareous Mediterranean vertisol soils collected from different localities from Jordan were investigated for phosphate adsorption-desorption-isotherms. The results indicated that the differences in P-adsorption in the tested soils were relatively medium. The tested concentration range using Freundlich and Langmuir isotherms was suitable to describe P-adsorption. Iron oxide and clay content were two major factors that affected the adsorption isotherm in tested soils. Consequently, the fertilizer quantity was calculated to reach the critical concentration in soil extract. The desorption process showed that an important part of the adsorbed phosphate was mobilized. The results of desorption studies proved that the use of 0.01M calcium chloride marked P-values, not only the actual supply level of P-values but also the P-subsequent delivery.

Key words: *phosphate adsorption and desorption, calcareous soils, Freundlich-and Langmuir-isotherms.*

إدمصاص وانطلاق الفسفور بالترب الكلسية

فرح موسى الناصر

قسم الإنتاج النباتي - كلية الزراعة - جامعة مؤتة-الكرك - الأردن

ملخص

تم دراسة إثريبي عشرة (12) عينة تربة حمراء اللون المتأثرة بمناخ حوض البحر الابيض المتوسط من رتبة Vertisol والتي تتصف بمحتواها العالي من كربونات الكالسيوم حسب تصنيف منظمة (FAO) من إثريبي عشرة منطقة مختلفة من الأردن على تحاور إدمصاص وانطلاق الفسفور. في التركيز ات العالية لإضافة الفسفور أظهرت الترب قدرة متوسطة من حيث قابليتها على إدمصاص الفسفور والتي يجب أخذها بنظر الاعتبار في حالة التسميد الفوسفاتي في حدود التركيز ات التي درست وكان تحاور فريندليخ ولانجموير أكثر ملائمة لوصف إدمصاص الفسفور. وإن محتوى التربة من أكاسيد الحديد والطين هما العاملان المؤثران على إدمصاص الفسفور بالتربة والذان يجب أخذهما بالاعتبار لتحديد كميات السماد للتربة. أن عمليات إنطلاق الفسفور أظهرت إن جزء هام من الفسفور المضاف يمكن أن يتم له تعبئة بشكل فوري أو التزويد البطيء للفسفور.

إدمصاص الفسفور ومحتوى التربة من الطين وكذلك المساحة السطحية النوعية لكربونات الكالسيوم. إن الترب الحمراء الغنية بالكلس لها سعة إدمصاص للفسفور Phosphate adsorption capacity أقل مقارنة مع الترب الإستوائية الرطبة ذات التفاعل الحامضي (Sahrawat and Warren, 1989)). إن الترب الإستوائية الغنية بالحديد تمتلك قدرة إدمصاصية للفسفور عالية جداً وأن تركيز الفسفور الذائب في محلول التربة قليل جداً وتحتاج إلى التسميد العالي بالفسفور لكي يزداد تركيز الفسفور الذائب بشكل ملحوظ (Obigbesan and Mengel, 1981).

هناك علاقة إتزان كيميائي بين الفسفور المدمص والفسفور الذائب في محلول التربة وإن التربة ذات القدرة العالية لإدمصاص الفسفور تمتلك بالضرورة سعة

1. المقدمة

إن عمليات الإدمصاص والإنطلاق Adsorption and Desorption ذات معنى كبير على جاهزية الفسفور بالتربة. يتأثر إدمصاص الفسفور بوجود المادة العضوية، ومعادن الطين، وأكاسيد الحديد والألمنيوم وكذلك بوجود كربونات الكالسيوم. يزداد إدمصاص الفسفور بزيادة محتوى التربة من أكاسيد الحديد والألمنيوم ومعادن الطين (Borggaard *et al.*, 1990; Gerke, 1993; Ryan *et al.*, 1985; Castro and Torrent, 1998). لقد أثبت كل من Borrero *et al.*, (1988); Soils and Torrent, (1989) Hamad *et al.*, (1992); Zhou and Li, (2001) وجود علاقة وثيقة بين

العينات على رجاج كهربائي نوع GFL 3050 لمدة 24 ساعة لحدوث التوازن الكيميائي المفروض بعد ذلك تم استخدام الطرد المركزي للعينات. باستخدام الماصة ثم أخذ 10 مل من السائل الرائق للعينات وتم فلتره المحلول لتحديد تركيز الفسفور بالعينات باستخدام الطريقة اللونية باستخدام التفاعل Ammonium – Molybdate-Ascorbic acid حسب طريقة (Watanabe and Olsen, 1965) باستخدام جهاز المطياف الضوئي نوع (Unicom Helios α). لتحديد سلوكية إطلاق الفسفور Desorption تم أخذ 60% من محلول التوازن وتم إبداله بنفس الكمية من نفس محلول كلوريد الكالسيوم الخالي من الفسفور، بعد ذلك تم اتباع نفس خطوات تجربة الإدمصاص.

توجد أهم الصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة المستخدمة في الجدول رقم (1)، أجري تحديد نسبة المادة العضوية حسب طريقة Walkley-Black ومحتوى الكربونات بطريقة المعايرة مع HCl، والسعة التبادلية الكاتيونية Cations exchangeable capacity تمت باستخدام خلاص الصوديوم بتركيز 1 مول وعند pH مقدار 7، وبعد تشبع التربة بخلاص الصوديوم تم غسل العينات بالكحول للتخلص من الصوديوم الزائد، ويتم إبدال الصوديوم بالألمونيوم باستخدام خلاص الأمونيوم، تم قياس الصوديوم باستخدام جهاز الطيف الذري (AAS) نوع Elmer AAS 300 Perkin قدر الفسفور الجاهز للنبات باستخدام طريقة (Olsen *et al.*, 1954)، المساحة السطحية النوعية للتربة حسب طريقة (Inel and Tuemsek, 2000) قدر محتوى التربة من أكاسيد الحديد والألمنيوم Pedogen of Iron and Aluminium Oxide (Fe_d , Al_d) قدرت باستخدام Dithionite Citrate حسب طريقة (Mehra and Jackson, 1960) وقدر محتوى التربة من أكاسيد الحديد والألمنيوم Amorphous Iron and Aluminum (Fe_o , Al_o) حسب طريقة (Schwertmann, 1964) باستخدام طريقة Oxalate.

قدرت كميات الفسفور المدمص والذي حدث له إطلاق من التربة من خلال معرفة كميتا الفسفور الذي أضيف إلى التربة وتركيزه الذائب في محلول الإتزان. ورياضياً يمكن وصف منحنيات التحاور لإدمصاص الفسفور Adsorption Isotherm وذلك باستخدام معادلة Freundlich-Equation ومعادلة Langmuir-Equation.

Freundlich-Equation

$$q = K \cdot C^{1/n}$$

$$\log q = \log K + 1/n \log C$$

q: كمية الفسفور المدمصة ملجم P/كجم تربة

C: تركيز المحلول عند الإتزان ملجم P/ لتر

n, K = ثوابت.

تنظيمية عالية للفوسفات Phosphate buffering capacity (Mengel, 1984).

وجد (Sharpley *et al.*, 1984 & 1989) أن هناك علاقة سالبة بين الفسفور القابل للاستخلاص وتركيز كربونات الكالسيوم في 22 تربة كلسية تم إجراء التجربة عليها وإن جاهزية الفسفور قد تناقصت بشكل ملحوظ بعد 180 و30 يوماً، وقد تم توضيح ذلك من خلال عملية الانطلاق القليلة Desorption للفسفور (Sanyal *et al.*, 1993).

وذكر (Raven and Hossner, 1994 a) إن التجارب على عملية إطلاق الفسفور ضرورية وهامة للحكم على درجة ومقدار تزويد الفسفور الجاهز بالتربة والمرتبطة بها عملية إمتصاص الفسفور من قبل النبات والتي ترتبط بعلاقة وثيقة مع محدودات الإطلاق للفسفور. تحدث عمليات الإدمصاص والإنتقال للفسفور من خلال إضافة كميات قليلة من الفسفور للتربة (Holford, 1999b; Amrani *et al.*, 1979). إن إدمصاص الفسفور على سطوح الكربونات، خاصة كربونات الكالسيوم يؤدي إلى عملية تقادم الفوسفات، أي إن الفوسفات المدمصة تتحول بشكل بطيء من التركيب غير المترسب إلى الشكل المترسب غير الذائب (Parett, 1978). وبهذه الطريقة يمكن إن يتكون المركب الفوسفاتي والذي من خلاله تتناقص ذائبية الفوسفات وتقل جاهزيته للنبات.

إن الهدف من البحث هو وصف تحاور الإدمصاص والإنتقال للفوسفات Phosphate adsorption and desorption – Isotherm في التربة الكلسية لإمكانية فهم العلاقة بين تأثير صفات التربة على وظيفة الإدمصاص للفوسفات على تجارب 12 تربة من مواقع مختلفة من الأردن.

2. المواد وطريقة العمل

أخذت عينات التربة من 12 منطقة مختلفة مستخدمة زراعياً لعمق 30 سم من تربة حمراء اللون من رتبة ال Vertisol حسب تصنيف منظمة الاغذية و الزراعة الدولية (FAO) والتي تتصف بمحتواها العالي من كربونات الكالسيوم والمصنفة كتربة كلسية لإجراء التجربة على إدمصاص وإنتقال الفسفور Phoaphate adsorption and desorption. تم أخذ 25 ج رام تربة مجففة هوائياً ومنخولة بمنخل ذو فتحات 2 ملم بواقع 3 مكررات وتم وزن العينات بعبوات بولي أثلين Polyethylene سعة 250 مل، وتم إضافة 100 مل من محلول كلوريد الكالسيوم ذو تركيز 0.01M والمحتوى على تراكيز متصاعدة من الفسفور على شكل أحادي فوسفات الكالسيوم (KH_2PO_4) بواقع (0، 5، 10، 20، 30، 40، 100 ملجم P/لتر)، بعد ذلك تم إضافة 3 قطرات من مادة التلوين Tolune لكل عينة، وذلك لمنع نمو ونشاط الأحياء المجهرية بالعينات، تم رج

Phosphate adsorption- desorption by.....

Table (1) : Chemical and physical properties of the tested soils.

Soil No.	Location	Sand %	Silt %	Clay %	pH _{1:1}	EC _{1:1} (dS/m)	O.M. %	CaCO ₃ %	Area (m ² /g)	CEC meq/100 g	AL _d ppm	F _{ed} ppm	Al _o ppm	Fe _o ppm	Olsen P ppm
1	Huwarah	56	15	29	7.8	0.4	0.4	21	98.5	50.6	22.2	167.0	1721	865	22.0
2	Almazar south	51	23	26	7.9	0.3	0.5	23	97.1	42.5	28.1	311.3	1465	512	7.7
3	Hartha	53	16	31	7.8	0.4	0.5	21	97.8	48.7	28.5	168.6	1933	1567	10.2
4	Alhuson	53	18	29	7.8	0.4	0.5	21	99.7	43.9	25.7	191.0	1314	500	26.6
5	Alyadodeh	54	21	25	7.7	0.4	0.2	23	95.7	45.2	28.5	150.0	1884	637	14.3
6	Ishtafainah	49	20	31	7.6	0.3	2.3	23	91.1	36.1	21.3	93.6	2545	2100	32.2
7	Ramtha west	54	20	26	8.2	0.3	0.9	21	96.5	44.9	17.1	136.3	2137	667	6.3
8	Hibras	47	18	35	7.7	0.4	1.5	21	46.0	46.0	18.9	95.0	2052	950	9.7
9	Madaba	53	29	18	7.8	0.3	1.2	23	95.0	33.9	12.3	120.0	1575	641	30.0
10	Alnnaymeh	57	15	28	7.9	0.4	0.9	21	98.0	44.0	26.3	120.8	1711	1032	14.2
11	Thiban	47	30	23	8.0	0.4	1.1	22	64.9	33.2	15.9	99.8	2330	971	7.0
12	Alrabbah	53	24	23	7.8	0.4	1.3	23	95.7	35.8	21.1	107.0	2068	667	18.0

لمعادلة Langmuir قيم بين ($R^2=0.993-0.513$) وكقيمة متوسطة ($R^2=0.926$) بينما قيم معادلة Freundlich قيم بين ($R^2=0.971-0.686$) وكمتوسط ($R^2=0.906$) وإن أعلى قيمة لثابت فريندليج (K) كانت لتر ب أشتفينا وبلغت قيمة (81.4).

يوضح الجدول رقم (3) القيمة القصوى الإدمصاصية للفسفور Maximum Phosphate adsorption (M) باستخدام معادلة Langmuir، حيث تراوحت القيم بين 625 ملجم P/كجم تربة لتربة غرب الرمثا رقم (7) و 161.3 ملجم P/كجم تربة لتربة ذيبان رقم (11). تمتلك الترب المختبرة سعة تنظيمية قصوى Maximum (capacity buffering) (mbc) تختلف بشكل كبير فيما بينها ويدل هذا التباين في قيمها على استجابة الترب بشكل مختلف لإضافة الفسفور حيث كلما زادت السعة التنظيمية للتربة كلما زاد معدل الفسفور الذي يحتاج اليه لزيادة تركيزه في محلول التربة حيث كانت أعلى قيمة 144.8 لتر/ملجم لتربة مادبا وادناها 19.6 لتر/ملجم لتربة المزار الجنوبي.

يوضح الجدول رقم (4) معاملات الارتباط بين خواص التربة المختلفة ومحددات تحاور الإدمصاص. كما ويوضح العلاقة المعنوية العالية بين إدمصاص الفسفور كقيمة متوسطة لجميع المعاملات التي أضيفت للتربة وبين محتوى الترب من الطين وكانت القيمة 0.664^{**} ومحتوى التربة من أكاسيد الحديد غير المتبلور Amorphous Iron (Fe_0) 0.698^{**} . هنالك علاقة معنوية بين إدمصاص الفسفور مع محتوى الطين عند المعاملة 100 ملجم P/ لتر مقدارها 0.599^* وكذلك بين النسبة المئوية للطين والسعة التنظيمية القصوى (mbc) مقدارها 0.657^* .

يوضح الجدول رقم (4) كذلك العلاقة المعنوية العالية سالبة القيمة بين رقم التفاعل pH وبين عامل قوة الارتباط (K) وكانت 0.684^{**} وعامل الارتباط R^2 مقدارها 0.730^{**} وكذلك السعة التنظيمية القصوى 0.685^{**} - لمعادلة Langmuir وكذلك مع ثابت معادلة Freundlich مقدارها 0.680^{**} .

يوضح الجدول رقم (5) بيانات الإنطلاق للفسفور P-desorption، حيث أن الإضافات القليلة للفسفور حتى تركيز 20 ملجم P/ لتر يصاحب بإنطلاق قليل من الفسفور من التربة إلى المحلول، ويستدل من ذلك بأن قدرة تزويد وتحرك الفسفور إلى المحلول قد استنفذ بشكل ملحوظ عكس ذلك في حالة زيادة الإضافة من الفسفور من 20 ملجم P/ لتر إلى 100 ملجم P/ لتر، إن كميات من الفسفور ذات قيمة عالية تذهب إلى محلول التربة، وهذا مؤشر على أن كميات الفسفور التي حدث لها إدمصاص جزء منها قابل للإنطلاق والحركة إلى المحلول.

Langmuir-Equation

$$C/X = C/M + 1/KM$$

X = كمية الفسفور المدمصة ملجم P/كجم تربة.
C = تركيز المحلول عند الإتران ملجم P/ لتر.
K = ثابت الإدمصاص (له علاقة بقوة الارتباط (Binding energy).

M = الكمية العظمى من الفسفور المدمص Maximum phosphate adsorption

3. النتائج

يوضح الشكل رقم (1) علاقة التحاور الإدمصاصية بين كميات الفسفور المدمصة وبين تراكيز الإتران في المحلول لترب مختارة من التجربة. يتبين من الشكل أن منحنيات الإدمصاص للترب الأربع ينطبق عليها المنحني من نوع L-shaped Isotherm (L-curve) حيث يقل الميل بشكل واضح بزيادة تركيز المحلول المضاف للتربة ونتيجة لذلك تقل مواقع الإدمصاص الخالية نتيجة إشغال هذه المواقع بالتركيزات المنخفضة وكننتيجة فان الإدمصاص يقل بزيادة التركيزات.

يوضح الشكل رقم (1) والجدول رقم (5) إن تربة الرمثا رقم (7) عند المعاملة 100 ملجم P/لتر تحقق أعلى قيمة من الإدمصاص للفسفور حيث بلغت 318.6 ملجم P/كجم تربة وبزيادة مقدارها 31% و20% مقارنة مع الترب رقم (11 و5) وإن أقل قيمة لإدمصاص الفسفور كانت تربة ذيبان رقم (11) وبلغت عند نفس المعاملة 242.3 ملجم P/كجم تربة.

تزداد مع زيادة تركيزات الفسفور المضاف إلى التربة كميات الفسفور المدمص لكل أنواع الترب التي استخدمت بالتجربة ويصاحب ذلك بزيادة قليلة جداً لتركيز الفسفور في محلول الإتران والسبب في ذلك أن معظم الفسفور يحدث له إدمصاص.

يصاحب الزيادة في كميات الفسفور المضاف (0.0-100 ملجم P/لتر) بتناقص واضح بالنسبة المئوية لإدمصاص الفسفور، إن نسبة إدمصاص الفسفور عند المعاملة 10 ملجم P/لتر، يكون مقدارها 73% للتربة رقم (2) و 94.6% للتربة رقم (8). زيادة تركيز الفسفور المضاف من 10 ملجم P/لتر إلى 100 ملجم P/لتر يرافق ذلك بتراجع في نسبة الإدمصاص من 94.5% إلى 59% للتربة رقم (5) و 94.6% إلى 71.8% للتربة رقم (8).

توضح الجداول رقم (2)، (3) معادلات الإدمصاص والإنطلاق للفسفور، وعوامل الارتباط، وثوابت الإتران، والإدمصاص الأقصى للفسفور (M) والسعة التنظيمية القصوى للتربة المختبرة (mbc). تثبت نتائج التجربة إن استخدام معادلات فريندليج ولانجموير Freundlich and Langmuir-Equations ملائمة بشكل جيد جداً لوصف إدمصاص الفسفور في حدود

التركيزات التي تم اختيارها. بلغ معامل الارتباط R^2

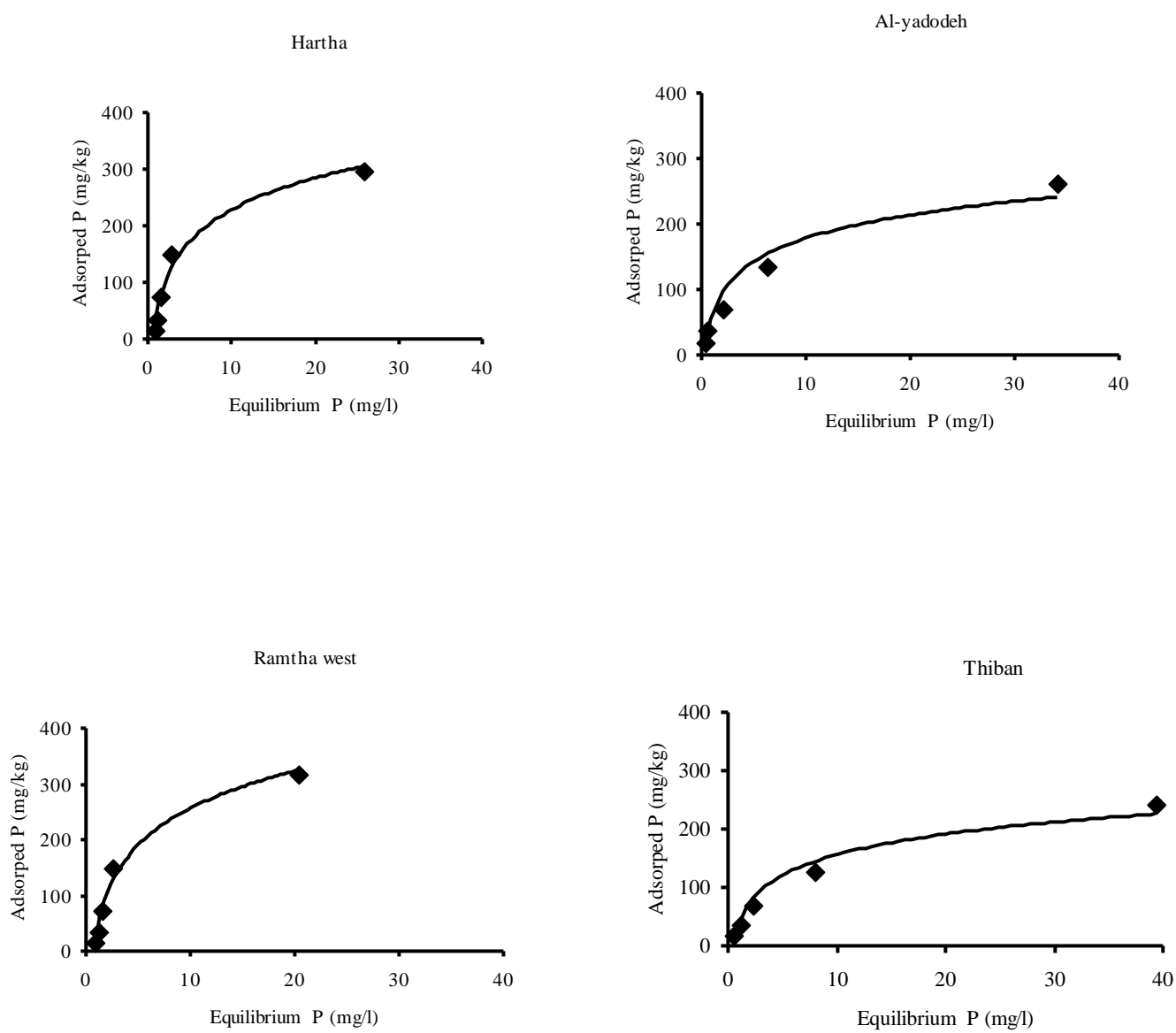


Fig. (1): Phosphate adsorption-isotherm for some of the tested soils.

Table (2) : Freundlich-adsorption- and desorption – Isotherms- equations, correlation coefficients and equilibrium constants of the tested soils.

		Adsorption process			Desorption process				
Soil No.	Location	Equation	R ²	K	n	Equation	R ²	K	n
1	Huwarah	Y=0.5751x + 1.7173	0.923	52.15	1.74	Y=0.9497x + 0.6644	0.989	1.05	1.94
2	Almazar south	Y=0.8141x + 1.2746	0.951	18.81	1.23	Y=0.6100x + 1.7813	0.845	1.64	5.94
3	Hartha	Y=0.7912x + 1.5644	0.846	36.67	1.26	Y=0.6714x + 1.4076	0.896	1.49	4.09
4	Alhuson	Y=0.5267x + 1.7745	0.965	59.49	1.89	Y=0.7116x + 1.0792	0.953	1.41	2.94
5	Alyadodeh	Y=0.5505x + 1.6819	0.921	48.07	1.82	Y=0.9645x + 0.6097	0.940	1.04	1.84
6	Ishtafainah	Y=0.5186x + 1.9107	0.936	81.41	1.93	Y=0.7591x + 1.0849	0.993	1.30	2.96
7	Ramtha west	Y=0.9414x + 1.1506	0.889	32.08	1.06	Y=0.8447x + 1.5857	0.969	1.18	4.88
8	Hibras	Y=0.6346x + 1.6973	0.686	49.80	1.58	Y=.8863x + 0.7663	0.951	1.13	2.15
9	Madaba	Y=0.4697x + 1.7303	0.970	53.74	2.13	Y=0.8428x + 1.1268	0.982	1.19	3.04
10	Alnmaymeh	Y=0.5601x + 1.6794	0.912	47.79	1.79	Y=0.8776x + 0.4414	0.913	1.14	1.55
11	Thiban	Y=0.6657x + 1.4807	0.920	30.24	1.50	Y=0.7367x + 1.1017	0.961	1.36	3.00
12	Alrabbah	Y=0.6442x + 1.6048	0.953	40.25	1.55	Y=0.7773x + 1.1017	0.954	1.29	2.76

Table (3): Langmuir- ad and desorptin-isotherms equations, correlation coefficients and equilibrium constants of the tested soils.

Soil No..	Location	Adsorptin process	R ²	M	K	mbc	Desorptin process	R ²	M	K
		Equation					Equation			
				mg /kg	L /mg				mg/kg	l/mg
1	Huwarah	$Y = 0.0029x + 0.0148$	0.993	344.8	0.196	67.6	$Y = 0.0098x + 0.4595$	0.934	102	0.02
2	Almazar South	$Y = 0.0024x + 0.0504$	0.871	416.6	0.047	19.6	$Y = 0.0191x + 0.1618$	0.920	52	0.21
3	Hartha	$Y = 0.0023x + 0.0235$	0.850	434.8	0.097	42.2	$Y = 0.0132x + 0.2008$	0.956	76	0.07
4	Alhuson	$Y = 0.0029x + 0.0129$	0.990	344.8	0.225	77.6	$Y = 0.0316x + 0.2680$	0.976	32	0.12
5	Alyadodeh	$Y = 0.0032x + 0.0154$	0.986	315.0	0.207	65.2	$Y = 0.0237x + 0.4009$	0.997	42	0.06
6	Ishtafainah	$Y = 0.0026x + 0.0079$	0.991	384.6	0.329	126.5	$Y = 0.0247x + 0.2537$	0.972	40	0.1
7	Ramtha West	$Y = 0.0016x + 0.0286$	0.516	625.0	0.056	35.0	$Y = 0.0117x + 0.1744$	0.923	85	0.07
8	Hibras	$Y = 0.0029x + 0.0141$	0.970	344.3	0.205	70.6	$Y = 0.0315x + 0.3136$	0.998	32	0.1
9	Madaba	$Y = 0.0031x + 0.0207$	0.974	322.6	0.449	144.8	$Y = 0.0088x + 0.3024$	0.967	114	0.03
10	Alnnaymeh	$Y = 0.0039x + 0.0147$	0.993	256.4	0.265	67.9	$Y = 0.0212x + 0.5451$	0.927	47	0.04
11	Thiban	$Y = 0.0062x + 0.0197$	0.993	161.3	0.314	50.6	$Y = 0.0169x + 0.2690$	0.974	59	0.06
12	Alrabbh	$Y = 0.0027x + 0.0214$	0.987	370.4	0.126	46.6	$Y = 0.0227x + 0.2971$	0.989	44	0.08

M= adsorption maximum

K= binding energy

mbc= maximum buffering capacity

mbc= M * K (Holford and Mattingly, 1976)

Table (4) : The correlation coefficients between soil properties and the adsorption parameters.

Ads. Param.	Clay %	pH	EC dS/m	OM %	CaCO ₃ %	Area m ² /g	CEC meq/100g	Al _d ppm	Fe _a ppm	Al _o ppm	Fe _o ppm	Olsen P ppm
Ads.ø	0.664**	-0.217	-0.134	-0.241	-0.284	0.009	0.428	0.067	-0.369	0.527	0.698**	0.224
Ads. 100 ppm	0.599*	0.008	-0.124	-0.184	-0.429	0.142	0.375	0.102	-0.256	0.371	0.503	0.088
Ads. 5 ppm	0.130	-0.369	0.133	0.097	-0.129	-0.434	-0.147	-0.233	0.612*	0.171	0.195	0.337
M _{mg/kg}	0.186	0.331	-0.429	-0.15	-0.149	0.343	0.360	0.051	0.258	0.033	-0.012	-0.151
K _{lang. l/mg}	0.238	-0.684**	0.035	-0.258	0.057	0.043	-0.564	-0.099	-0.478	0.187	0.508	0.844**
R ² _{lang.}	-0.022	-0.730**	0.443	-0.019	0.278	-0.179	-0.254	0.121	-0.176	-0.124	0.124	0.479
mbc	0.657*	-0.685**	0.003	-0.079	0.047	-0.542	-0.412	-0.035	-0.475	0.487	0.523	0.273
n _{Freu.}	-0.231	-0.637*	0.118	-0.086	0.274	0.071	-0.307	-0.166	-0.351	-0.178	0.086	0.833***
k _{Freu.}	0.237	-0.680**	0.033	-0.258	0.057	0.042	-0.105	-0.1	-0.478	0.187	0.508	0.844***
R ² _{Freu.}	-0.730**	0.117	-0.200	-0.396	0.492	0.745**	-0.421	0.049	0.284	-0.281	-0.205	0.455

* Significant p < 5%

** Significant p < 1%

*** Significant p < 0.1%

Table (5) : The adsorbed and desorbed amount of phosphate from the tested soils.

Treatments p/l	Soil No. 1		Soil No. 2		Soil No. 3		Soil No. 4	
	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg
0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.3
5	17.1	1.1	15.6	2.1	16.5	2.3	18.3	0.7
10	36.1	1.3	29.2	7.5	35.9	2.4	36.5	1.9
20	74.7	1.5	64.8	10.4	74.4	2.9	72.0	3.9
40	139.4	6.0	133.4	11.7	149.0	3.5	138.7	7.8
100	278.1	38.3	252.7	40.3	296.3	36.4	282.8	23.4
Treatments p/l	Soil No. 5		Soil No. 6		Soil No. 7		Soil No. 8	
	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg
0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.2
5	18.5	0.4	18.4	0.9	16.8	1.6	18.8	0.5
10	37.8	1.0	37.8	1.1	35.3	3.0	37.8	0.9
20	71.6	1.7	73.9	2.9	73.9	3.6	73.9	1.7
40	134.6	9.4	149.1	3.9	149.6	5.6	154.3	3.4
100	263.4	41.0	313.0	24.6	318.6	36.8	287.5	40.8
Treatments p/l	Soil No. 9		Soil No. 10		Soil No. 11		Soil No. 12	
	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg	P ads.mg/kg	P des.mg/kg
0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.3
5	18.1	0.8	18.5	0.3	18.2	1.1	16.3	1.7
10	35.1	2.2	36.5	1.6	35.5	2.2	34.9	2.4
20	70.3	3.2	73.7	2.0	70.6	3.2	71.9	3.3
40	123.1	15.3	140.0	4.0	128.3	8.1	137.4	5.5
100	250.6	48.8	284.2	25.0	242.3	47.8	277.0	37.6

Table (6): The correlation coefficients between the tested soil properties and the desorption parameters.

Des. Param.	Clay %	pH	EC dS/m	OM %	CaCO₃ %	Area m²/g	CEC meq/100g	Al_d ppm	Fe_d ppm	Al_o ppm	Fe_o ppm	Olsen P ppm
Des. θ	-0.226	0.248	-0.304	-0.101	0.089	-0.147	-0.315	-0.176	0.415	-0.261	-228	-0.238
Des._{100ppm}	-0.436	0.211	-0.33	0.419	0.305	-0.367	-0.247	-0.483	-0.018	0.055	-0.365	-0.351
Des._{5ppm}	-0.017	0.325	-0.202	-0.086	0.062	0.275	0.067	172	0.471	0.407	0.074	-0.365
M_{mg/kg}	-0.1312	0.156	0.352	-0.133	-0.211	0.272	-0.043	-0.254	0.075	-0.179	-0.083	0.176
k_{Lang.}	0.174	-0.045	-0.427	-0.163	0.264	-0.046	-0.022	0.375	0.678**	-0.205	-0.132	-0.197
R²_{Lang.}	0.005	-0.595*	0.176	0.226	0.286	-0.476	-0.311	-0.151	-0.511	0.287	0.067	0.239
n_{Fren.}	-0.097	0.468	-0.611*	-0.116	0.126	0.217	-0.044	0.072	0.627*	-0.083	-0.077	-0.369
k_{Fren.}	-0.041	0.121	-0.364	-0.143	0.164	0.136	-0.189	0.293	0.604*	-0.168	0.074	-0.173
R²_{Fren.}	-0.121	-0.142	0.129	0.138	-0.026	-0.147	-0.272	-0.668**	-0.723**	0.406	0.179	0.562*

* Significant p <5%

** Significant p < 1%

المنخفضة تكون مواقع الإدمصاص على سطوح غرويات التربة نشطة جداً، بينما مع زيادة التركيزات المضافة تتخفض طاقة الإدمصاص للفسفور، ومن خلال ذلك تقل كمية الفسفور المدمصة.

تيرهن نتائج التجربة أن معادلات تحاور كل من Freundlich- Langmuir-Isotherm كانت ملائمة بشكل كبير لوصف تجارب إدمصاص الفسفور ضمن حدود التركيزات التي تم اختيارها (جداول رقم 2 و3). تتطابق هذه النتائج مع نتائج كثير من الباحثين الذين أجروا تجاربهم على الترب الكلسية المشابه لترب التجربة (Berigari, 1988, Pena and Torrent, 1990; Shailaja and Sahrawat, 1990; Pena and Torrent, 1984), Ghosal *et al.*, (2003) وصف سلوك التحاور مع معادلة Freundlich-Equation لإدمصاص الفسفور ولكن لم تتشابه وصف سلوك معادلة Langmuir-Equation. لقد تمكن Leytem and Westermann, (2003) من الحصول على نتائج جيدة مع تحاور فريندليخ للترب الكلسية عند تركيزات الإتران بين 0.0-150 ملجم P/لتر وكانت قيم معامل الإرتباط بين 0.0-0.928 (R²=0.998-0.928). أجري Moughli *et al.*, (1993) تجارب لإدمصاص الفسفور للترب المغربية ذات المحتوى العالي من الكلس، وأثبتوا إن عملية الإدمصاص وصفت بشكل جيد مع تحاور معادلة Langmuir-Equation.

إن إدمصاص الفسفور في الترب الحمراء الكلسية Vertisols يتأثر بشكل واضح -ح بمحتوى التربة من الطين ومن أكاسيد الحديد غير المتبلورة (Fe_o) وإن هذه النتائج تؤكد ما توصل إليه كل من Ryan *et al.*, (1988; Borrero *et al.*, 1988; Pana and Torrent, 1984 & 1990; Sahrawat, 1990; Shailaja and Hamad, *et al.*, 1992; Castro and Torrent, Said and (1998; Khare *et al.*, 2004; Dakermanji, 1993) إن محتوى الطين بالتربة مسؤول عن إدمصاص 69% من الفسفور عند تركيز 40 ملجم P/لتر، عكس ذلك وجد Manikandan and Sastry, (1988) أن هناك علاقة ضعيفة بين محتوى الطين وإدمصاص الفسفور في الترب الكلسية. أثبت Soils and Torrent, (1989) إن أكسيد الحديد يؤثر على إدمصاص الفسفور أكثر من تأثير أكسيد الألمنيوم. وفسر Blokhusis *et al.*, (1968); Hamad *et al.*, (1992) ذلك بأن أكسيد الحديد يغلف الكربونات بالترب الحمراء حيث إن الأكاسيد وليس الكربونات مسؤولة عن إدمصاص الفسفور.

لم يوجد أية تأثير يذكر لكربونات الكالسيوم في التربة وبين إدمصاص الفسفور من قبل التربة ولقد توصل الى نتائج مشابهة كل من Ryan *et al.*, 1985)

تراوحت النسب المئوية لإطلاق الفسفور (P-desorption rate) بين 7.8% للتربة رقم (6) و 19.7% للتربة رقم (11) عند المعاملة 100 ملجم P/لتر. إن بيانات انطلاق الفسفور سجلت معامل ارتباط مقداره (R²=0.993-0.845) باستخدام معادلة Freundlich-Equation ومعامل ارتباط مقداره (R²=0.998-0.92) باستخدام معادلة Langmuir-Equation (جدول رقم 2 و3). يبين الجدول رقم (6) العلاقة بين محددات تحاور الإنطلاق للفسفور وبين خواص التربة، حيث وجت علاقة معنوية عالية بين محتوى التربة من أكسيد الحديد المقدر بطريقة Dithionite (Fe_d) وبين ثابت قوة الإرتباط (K) لمعادلة Langmuir ذات قيمة 0.678** وكذلك هناك علاقة معنوية مع ثوابت معادلة Freundlich (k,n) مقدارها 0.627* و 0.604* وتوجد علاقة معنوية عالية سالبة القيمة بين معامل الإرتباط (R²) لمعادلة Freundlich مع أكاسيد الحديد والألمنيوم (Al_d, Fe_d) مقدارها 0.723** و -0.668**.

4. المناقشة

تشابه جميع عينات التربة التي درست من حيث سلوك منحنيات التحاور لإدمصاص الفسفور وإن الميل يقل للمنحنيات مع زيادة التركيزات الفسفورية المحلول المضاف وينطبق عليها نوع المنحنى L-curve (Sparks, 2003). لقد توصل Dossa *et al.*, (2008) في تجربة باستخدام تربة من موقعين مختلفين في السنغال عن طريق حضن التربة لمدة 75 يوم إلى ان سلوك منحنيات التحاور لمعادلة Freundlich تشابه وصف المنحنى L-shaped Isotherm. لقد ذكر في كثير من المراجع أن هناك زيادة في إدمصاص الفسفور مع زيادة كميات الفسفور التي تضاف للتربة لحد معين (Sui and Thompson, 2000; Zhou and Li, 2001; and Said and Samadi, 2003). لقد استطاع Dakermanji, (1993) بتجربة باستخدام ترب كلسية في سوريا من إثبات إنه بزيادة الفسفور للتربة من 2.5 إلى 30 ملجم P/لتر زادت كميات الفسفور التي إدمصت على سطوح غرويات التربة من 45.2 إلى 350 ملجم P/كجم تربة. في التركيزات المنخفضة للفسفور المضاف للتربة تستطيع الترب إدمصاص نسبة مئوية عالية من الفسفور، بينما على العكس من ذلك في الإضافات العالية التركيزات تقل النسبة المئوية للفسفور المدمص بشكل واضح لكل الترب المستخدمة بالتجربة Amrani *et al.*, 2003; Ghosal *et al.*, (1999a). في الترب الكلسية المزروعة بالصنوبر يمكن Zhou and Li, (2001) إثبات إنه في تركيزات الفسفور المضاف للتربة في 0.1 إلى 5.0 ملجم P/لتر أكثر من 99% من الكميات المضافة حدث لها إدمصاص من قبل التربة. لقد فسر Rajan and Fox, (1975) ذلك بأنه في التركيزات

بين 0.0-19% وقد وجدوا علاقة معنوية بين كربونات الكالسيوم وبين قيمة الإدمصاص القصوى للفسفور بمقدار *0.53. لقد وجد Litaor *et al.*, (2005) أن هناك علاقة معنوية بين الإدمصاص الأقصى للفسفور (M) مع Fe_d و Al_0 وكانت القيم *0.33 و *0.47 في ترب كلسية في منطقة نهر الاردن ولم يجدوا تأثير لكربونات الكالسيوم.

أوضح Amarani *et al.*, (1999a,b) أن السعة التنظيمية القصوى هي دلالة مهمة لتقيييم كمية التغير في السماد الذائب في محلول التربة عند اضافة السماد الفوسفاتي وإن اختلاف قيم mbc للترب المدروسة تدل على التباين لقدرة التربة لتزويد محلولها بكميات مختلفة من الفسفور حيث إن الترب ذات القيمة العالية من (mbc) يكون تركيز الفسفور في محلول الاتزان قليل مقارنة بالترب ذات ال (mbc) المنخفضة. هنالك ملاحظة وهي إن تركيز Olsen-P الموجود اصلا في التربة وبين قيمة (mbc) حيث إن الترب ذات القيم العالية من السعة التنظيمية القصوى هي الترب ذات المحتوى العالي من الفسفور الجاهز للنبات والعكس صحيح جدول رقم (1 و3) (Amrani *et al.*, 1999 b). لقد وجدت علاقة معنوية عالية مقدارها ***0.70 و رابط معنوي قيمته *0.53 من قبل Moughli *et al.*, (1993) بين محتوى الطين للتربة مع (mbc) في ترب كلسية في المغرب. إن ثابت الارتباط (binding energy) لمعادلة Langmuir ذات قيم منخفضة ولكنها متباينة للترب التي درست وإن هذه النتائج مشاب هة لما توصل له باحثين اخبروا ترب كلسية Moughli *et al.*, 1993; Amrani *et al.*, 1999a. اكد Litaor *et al.*, (2005) وجود علاقة معنوية مقدارها *0.58 بين ثابت الارتباط ومحتوي الحديد Fe_0 في ترب ذات محتوى عالي من الكلس.

هناك إختلافات في كميات الفسفور الذي حدث له إنطلاق من الترب الحمراء الغنية بالكلس حيث في الإضافات القليلة من 0.0 إلى 40 ملجم P/لتر تم إنطلاق كميات قليلة من الفسفور إلى محلول التربة وإن هذه الكميات قد زادت مع زيادة كميات الفسفور التي أضيفت للتربة (Said and Dakermanj, 1993) (Loch and Jaszbereny, 1995).

إن سلوك الإنطلاق للفسفور يمكن وصفه بشكل جيد مع معادلات تحاور فريندليخ ولانجموير Freundlich-Langmuir-Isotherm. توصل Shailaja and Sahrawat, (1990) إلى إن ه في الترب الحمراء للمناطق شبة الجافة بالهند إن معادلة Langmuir توصف بشكل جيد عملية إنطلاق الفسفور في التربة. درس Dossa *et al.*, (2008) عملية إنطلاق الفسفور من التربة وجدوا إن ما نسبته 30% من الفسفور المدمص مبدئيا والمضاف للتربة قد تم تحرره إلى

(Pena and Torrent 1990) والذين درسوا ترب مشابهة للترب المختبرة حيث اوضحوا بانة عند التركيزات المنخفضة هناك علاقة إيجابية ضعيفة بين محتوى الكلس وإدمصاص الفسفور وان الترب الحمراء الغنية بمحتواها من أكاسيد الحديد العالية جدا والتي تغلف كربونات الكالسيوم وتقلل من إدمصاص الفسفور على سطوح الكربونات بشكل مباشر. لقد ذكر Holford and Mattingly, (1975) إنه حتى في الترب الكلسية فان أكاسيد الحديد يمكن أن تؤثر على إدمصاص الفسفور.

إن رقم تفاعل التربة pH للترب المستخدمة بالتجربة يرتبط بعلاقة غير معنوية ضعيفة سالبة القيمة مع إدمصاص الفسفور في التركيزات المنخفضة من الفسفور المضاف، وإن هذه النتائج تثبت ما وجده كل من الباحثين الذين استخدموا الترب الكلسية Pena and Torrent, 2003; Leytem and Westermann, 1990. وجد Shailaja and Sahrawat, (1990) إن معامل الارتباط بين إدمصاص الفسفور عند تركيز الإيزان 0.2 ملجم P/لتر ورقم تفاعل التربة ذات قيمة مقدارها -0.487. أثبت Rhoton and Bigham, (2005) وجود ارتباط معنوي عالي ذو قيمة مقدارها **0.844 بين رقم تفاعل التربة pH وبين إدمصاص الفسفور في التربة الكلسية في تكساس، وعلى العكس من ذلك لم يجد Duffera and Robarge, (1999) اية علاقة بين رقم تفاعل التربة وبين إدمصاص الفسفور حيث فسرا ذلك إن قيمة ال pH للترب كانت متقاربة (7.9-8.4 pH). أظهرت ترب التجربة إختلافات واضحة بقيم الإدمصاص الأقصى للفسفور Maximum phosphate adsorption (M) وإن هذه النتائج تطابق نتائج كثير من الباحثين Moughli *et al.*, (1993). (Amrani *et al.*, 1999a,b) (Samadi, 2003) أوضح هؤلاء وغيرهم ان عند إضافة الفسفور بالتركيزات 0.0-54 ملجم P / لتر للترب المناطق الجافة وشبه ه الجافة في المغرب أن الإدمصاص الأقصى للفسفور تراوح بين 141-837 ملجم P/كجم تربة. في الترب التي استخدمت للتجربة جدول رقم (4) لم يتم إثبات وجود علاقة لتأثير صفات التربة على الإدمصاص الأقصى للفسفور باستخدام معادلة Langmuir-Equation على العكس من ذلك وجد كل من Zhou and Moughli *et al.*, (1993); Li, (2001) باستخدام نفس المعادلة وجود علاقة إيجابية بين محتوى الطين والإدمصاص الأقصى للفسفور. وجد Dossa *et al.*, (2008) أن هنالك علاقة معنوية عالية سالبة مقدارها **0.71- بين pH التربة والإدمصاص الأقصى (Maximum phosphate adsorption) وعلاقة قيمتها ***-0.77 مع الكربون العضوي في ترب درست من مناطق شمال ت السنغال. اختبر Moughli *et al.*, (1993) إحدى وعشرون تربة (21) مختلفة في المغرب و تراوحت نسبة الكلس

ذات قيم متوسطة فيما يخص عمليات الإدمصاص والانطلاق للفسفور. أظهرت النتائج أن استخدام تحاور معادلات فريندليخ ولانجموير Freundlich-Langmuir-Isotherm يمكن أن يوصف بشكل جيد عملية إدمصاص الفسفور وذلك ضمن مجال التركيزات التي درست. إن استخدام التحاور يمكن أن يكون نقاط انطلاق لتقدير كميات السماد من الفسفور للوصول إلى تركيز الاتزان الموصى به، وإنه إذا ما أخذ تركيز 0.2 ملجم P/لتر من تركيز الإيزان لمحلل الفسفور كحد مقترح ملائم لنمو كثير من المحاصيل بشكل جيد فإن كميات السماد الفسفاتي الضرورية تتراوح بين 3802-5802 كجم P /هكتار للترب التي درست. إن محتوى الطين وأكاسيد الحديد هما العاملان الرئيسيان المؤثران على إدمصاص الفسفور بالتربة.

6. REFERENCES

- Amrani M., Westfall D.G. and Moughli L. (1999 a). Improving the soil test phosphorus calibration for calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 30:129-144.
- Amrani M., Westfall D.G. and Moughli L. (1999 b). Phosphate sorption in calcareous Moroccan soils as affected by soil properties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 30:1299-1314.
- Berigari M.S. (1988). Use of the Freundlich sorption equation for evaluating the phosphate requirements of arid-soils. *Proceeding, Second regional Workshop on Soil Test Calibration, Jordan, ICARDA, Aleppo, Syria.*
- Blokhus W.A., Pape T. and Slager S. (1968). Morphology and distribution of pedogenic carbonate in some Vertisols of the Sudan. *Geoderma* 2:173- 200.
- Borggaard O.K., Jorgensen J.P., Moberg J.P. and Rabenlange B. (1990). Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. *J. Soil Sci.* 41:443-449.
- 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.
- Castro B. and Torrent J. (1998). Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptisols as evaluated from extended P-sorption curves. *Eur. J. Soil Sci.* 49:661-667.
- Dossa, E.L. Baham, M. Sene M. Kizito F. and Dick, R.P. (2008). Phosphorus sorption and desorption in semiarid soils of Senegal

محلل التربة بعد إجراء ثلاث عمليات تحرر للفسفور (desorption) بينما الترب المضاف لها المادة العضوية على شكل (manure) تم إطلاق ما يعادل 98% من الفسفور المدمص مقارنة مع الشاهد. في تجربة أجريت من قبل (Raven and Hossner, 1994 b) لدراسة تحرر الفسفور وجد أن نسبة التحرر للفسفور (P desorption rate) تعتمد بالإسناد على نمو النبات و إمتصاصه للفسفور و أن عملية الإطلاق النهائية تعتبر أفضل دليل لجاهزية الفسفور. لقد وجد Sharpley (1983) أن إطلاق الفسفور مرتبط بكميات الكالسيوم ، نسبة الطين والمادة العضوية بالترب الكلسية قاعدية رقم التفاعل.

5. الخاتمة

تختلف الترب الحمراء الغنية بالكلس Vertisols في المناطق التي درست بالأردن فيما بينها باختلافات

- amended with native shrub residues. *Soil Sci.* 173:669-682.
- Duffera M. and Robarge W.P. (1999). Soil characteristics and management effect on phosphorus sorption by highland plateau soils of Ethiopia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1455-1462.
- Gerke J. (1993). Phosphate adsorption by humic / Fe-oxide mixtures aged at pH 4 and 7 and by poorly ordered Fe-oxide. *Geoderma* 59:279-288.
- Ghosal P.K., Chakraborty T., Bhattacharya B. and Bagchi D.K. (2003). Relative agronomic effectiveness of phosphate rock and P adsorption characteristics of an oxic Rhodustalf in Eastern India. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166:750-755.
- Hamad M.E., Rimmer D.L. and Syers J.K. (1992). Effect of iron oxide on phosphorus sorption by calcite and calcareous soils. *J. Soil sci.* 43:273-281.
- Holford I.C.R. (1979). Evaluation of soil phosphorus buffering indices. *Aust. J. Soil Res.* 17:495-504.
- Holford I.C.R. and Mattingly G.E.G. (1975). The high and low-energy phosphate adsorbing surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.* 26 :407-417.
- Holford I.C.R. and Mattingly G.E.G. (1976). A model for the behavior of labile phosphate in soil. *Plant Soil* 44:219-229.
- Inel O. and Tuemsek F. (2000). The measurement of surface areas of some silicates by solution adsorption. *Turk. J. Chem.* 24:9-19.

- Khare N., Hesterberg D., Beauchemin S. and Wangel S. (2004). Xanes determination of adsorbed phosphate distribution between Ferrihydrite and Boehmite in Mixtures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68: 460-469.
- Leytem A.B. and Westermann D.T. (2003). Phosphate sorption by Pacific Northwest Calcareous soils. *Soil Sci.* 168:368- 375.
- Litaor M.I. Reichmann O. Haim A. Auerswald K. and Shenker M. (2005). Sorption characteristics of phosphorus in peat soils of a semiarid altered wetland. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:1658-1665.
- Loch J. and Jaszbereny I. (1995). Untersuchung der Phosphatadsorption und – Desorption in Dauerdüngungsversuchen. *Agribiol. Res.* 48:53-62. Manikandan
- Manikandan P. and Sastry T.G. (1988). Role of different soil components in phosphate adsorption in some soils of Mysore Plateau. *J. Indian Soc. Soil sci.* 36:228-234.
- Mehra O.P. and Jackson M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: Swineford A (ed) *Clay Minerals(Proc 7th Nat Conf)*. pp. 317-327. Newyork; Pergamon Press.
- Mengel K. (1984). Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer Verlag, Stuttgart.
- Moughli L., Westfall D.G. and Boukhial A. (1993). Use of adsorption and buffer capacity in soil testing for Phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24:1959-1974.
- Obigbesan, G. O. and Mengel, K., (1981). Use of electroultrafiltration (EUF) method for investigating the behaviour of phosphate fertilizers in tropical soils. *Fertil. Res.*2:169-176.
- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S. and Dean L.A.(1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA circ. 939. U. S. Gov. print. Office, Washington. DC.
- Owusu-Bennoah E. and Acquaye D.K. (1989). Phosphate sorption characteristics of selected major Ghanaian soils. *Soil Sci.* 148:114-123.
- Pareitt R.L. (1978). Anion adsorption by soil and materials. *Adv.Agron.*30:1-50.
- Pena F. and Torrent J. (1984). Relationships between phosphate sorption and iron oxides in Alfisols from a river terrace sequence of Mediterranean Spain. *Geoderma* 33:283-296.
- Pena F. and Torrent J. (1990). Predicting phosphate sorption in soils of mediterranean regions. *Fertilizer Research* 23:173-179.
- Rajan S.S.S. and Fox R.L. (1975). Phosphate adsorption by soils .II. Reaction in tropical acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39:846-851.
- Raven K. P. and Hossner L. P. (1994 a) . Sorption and desorption quantity intensity parameters related to plant-available soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 405-410.
- Raven K.P. and Hossner L.R.(1994 b). Soil phosphorus desorption kinetics and its relationship with plant growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:416-423.
- Rhoton F.E. and Bigham J.M. (2005). Phosphate adsorption by Ferrihydrite-Amended soils. *J. Environ. Qual.* 34:890-896.
- Ryan J., Curtin D. and Cheema M.A. (1985). Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Sci Soc. Am. J.* 48:74-76.
- Sahrawat K.L. and Warren G.P. (1989). Sorption of labelled phosphate by a Vertisol and an Alfisol of the Semi-arid Zone of India. *Fert. Research* 20:17-25.
- Said M.B. and Dakermanji A. (1993). Phosphate adsorption and desorption by calcareous soils of Syria . *Commun. Soil Sci. plant Anal.* 24:197-210.
- Samadi A. (2003). Predicting phosphate fertilizer requirement using sorption isotherms in selected calcareous soils of western Azarbaijan province, Iran. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:2665-2899.
- Sanyal S.K., D.E. Datta S.K. and Chan P.Y. (1993). Phosphate sorption-desorption behavior of some acidic soil of south and southeast Asia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:937-945.
- Schwertmann U.(1964). The differentiation of iron oxide in the soils by a photochemical extraction with acid ammonium oxalate. *Z. Pflanzenernähr. Düngung Bödenk.* 105:194-201
- Shailaja S. and Sahrawat K.I. (1990). Adsorption and desorption of phosphate in some semi- arid tropical Indian Vertisols. *Fertilizer Research* 23:87-96.
- Sharpley A.N. (1983). Effect of soil properties on the kinetics of phosphorus desorption. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:462-467.

- Sparks L.D. (2003). Environmental soil Chemistry. Academic Press. San Diego. CA.
- Sui Y. and Thompson M.I. (2000). Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in a Biosolids- Amended Mollisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:164-169.
- Watanabe F.S. and Olsen S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soils. Soil Sci. Soc. Am.J. 29:677-678.
- Zhou M. and Li Y. (2001). Phosphorus-sorption characteristics of Calcareous soils and Limestone from the Southern Everglades and adjacent farmlands. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1404-1412.
- Sharpley A.N., Jones C.A., Gray C. and Cole C.V. (1984). A simplified soil and plant phosphorus model: II. Predication of labile, organic, and sorbed phosphorus. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:805-809.
- Sharpley A.N., Singh U., Uehara G. and Kimble J. (1989). Modeling soil and plant phosphorus dynamics in calcareous and highly weathered soils . Soil Sci. Soc. Am. J. 53:153-158.
- Soils P. and Torrent J. (1989). Phosphate sorption by Calcareous Vertisols and Inceptisol of Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:456-459.