

Dynamics of applied phosphorus and transformations between different forms of phosphorus in some Syrian soils: Study of soil –P fractionation

Dr. Ghiath A. Alloush¹
Osama A. Hatta²

(Received 9 / 1 / 2017. Accepted 11 / 5 / 2017)

□ ABSTRACT □

A pot experiment was conducted in a greenhouse at Tishreen University location. The experiment included three soils differ in their chemical properties: 1) heavy clay red soil rich in iron oxides; 2) a silt loam basaltic soil rich in manganese oxides; 3) clay red soil rich in calcium carbonate (34.8 %). Treatments included application of different levels of triple super phosphate (TSP, 46 % P₂O₅) ranged from 0, 20, 40, 60, 80, to 100, mg P/kg soil were added to 0.5 kg soil. Pots were randomized in a green house, watered regularly to maintained 75% of the water holding capacity. Sub-samples were taken from each pot at times (0-30-60-90-120-150-180-210-240 Day). Soil P fractionation was only preformed for samples withdrawn at times 0 and 240 days.

The incubation of the native soils led to an increase in available P in all soils after 240 day of incubation. The increase in extracted soil Pi differed mainly in phosphorus extracted with 0.5M NaOH and 1M HCl. This may be due to variation in soil properties and the range of TSP that was applied. Most of added phosphorus was presence in red and basaltic soils were extracted in 0.5M NaOH. In red calcareous soil, added P was mainly fixed starting from the application rate of 60 mg P/kg. Fixed P in calcareous soil constituted 14.5% at the rate of 60 mg P/kg soil, and increased to reach 25.4% at the rate of 100 mgP/kg. These rates of P-fixation with Ca are higher than those fixed with oxides and hydroxides Fe-P and Al-P.

There was a decline in the residual organic phosphorus forms in all soils and at all different rates of TSP application. This was probably due to the transformation of residual-Po into other forms of organic or inorganic P forms that are more available for plant uptake.

Keywords: Phosphorus dynamics, Phosphorus Fractionation, Phosphorus Fixation, Organic Phosphorus.

¹Professor at the Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria.

²Postgraduate Master, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University , Lattakia, Syria.

حركية الفوسفور المضاف وتحولاته بين الأشكال المختلفة للفوسفور في بعض الترب السورية: دراسة تجزئة الفوسفور في التربة

د. غياث علوش³

أسامة حتى⁴

(تاريخ الإيداع 9 / 1 / 2017. قبل للنشر في 11 / 5 / 2017)

□ ملخص □

أجريت تجربة تحضين في البيت البلاستيكي في موقع مشتل جامعة تشرين، استخدم في الدراسة ثلاثة ترب مختلفة في خواصها الفيزيائية والكيميائية تم جمعها من مناطق مختلفة في سوريا: 1- تربة حمراء طينية ثقيلة تتميز بمحتواها العالي من الأكاسيد، 2- تربة بازلتية سلتية لومية، 3- تربة حمراء طينية تتميز بمحتواها العالي من كربونات الكالسيوم (34.8%). تضمنت التجربة تسميد فوسفاتي باستخدام سوبر فوسفات مركز (TSP) تركيز 46% P_2O_5 بمعدلات متدرجة (0-20-40-60-80 و 100 مغ/كغ تربة) وإضافتها إلى 0.5 كغ تربة. وزعت الأوصص عشوائياً على مربع التجربة مع المحافظة على 75% من سعة حمولة التربة للماء، أخذت عينات من كل أصيص في الأزمنة (0-30-60-90-120-150-180-210-240 يوم)، وأجريت تحاليل تجزئة الفوسفور للزمنين 0 و 240 يوم.

ارتفعت قيم الفوسفور المتاح بشقيه العضوي والمعدني في معاملة الشاهد لجميع الترب المدروسة بعد 240 يوم من التحضين، اختلفت الزيادة في الأشكال اللاعضوية للفوسفور المستخلصة بـ 0.5 M من NaOH و 1 M من HCl، وذلك بحسب خواص كل تربة ومستويات الإضافة من الـ TSP. لقد تواجد الجزء الأكبر من الفوسفور المضاف الذي تعرض للتثبيت في الترتين الحمراء والبارلتية في مستخلص NaOH.

لقد بدأ تثبيت الفوسفور المضاف في التربة الحمراء الكلسية بدءاً من معدل الإضافة 60 مغ/كغ حيث تكون نسبة الفوسفور المثبتة من المضاف 14.5%، وتزداد لتصبح 25.4% عند معدل الإضافة 100 مغ/كغ، مع تفوق الجزء المرتبط بالكالسيوم Ca-P مقارنة بما تم تثبيته حديثاً على سطوح الأكاسيد والهيدروكسيدات Fe-P، Al-P. لقد انخفض الشكل العضوي للفوسفور المتبقي في معادن التربة Residual-Po في جميع الترب المدروسة وعلى اختلاف مستويات التسميد حيث تحولت لأشكال أخرى معدنية أو عضوية أكثر إتاحة.

الكلمات المفتاحية: حركية الفوسفور - تجزئة الفوسفور - تثبيت الفوسفور - الفوسفور العضوي.

³ أستاذ - قسم علوم التربة والمياه - كلية الزراعة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

⁴ طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم علوم التربة والمياه - كلية الزراعة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:**الدراسة المرجعية:**

يعد الفوسفور P عنصر ضروري لجميع الكائنات الحية فهو وعلى الرغم من توزيعه الواسع في الطبيعة يعتبر من أهم العناصر الغذائية المحددة لنمو النبات، وانخفاض إنتاجه تعتبر مشكلة أساسية مسببة انخفاض الإنتاجية في أكثر الترب الزراعية (Ayaga et al., 2006; Redel et al., 2011)، يلعب الفوسفور دوراً مهماً في العديد من العمليات الفيزيولوجية المهمة ضمن النبات ويدخل في التفاعلات الأنزيمية، وكجزء هام للبناء الهيكلي كيميائياً وحيوياً (Devau et al., 2011).

يتغلب المزارعون على ضعف مصادر الفوسفور في التربة عبر إضافة السماد الفوسفاتي، إلا أن غلاء أسعاره وقف عائقاً أمام المزارعين الفقراء، كما أن احتياطي العالم من الفوسفات يمكن أن يستنفذ في غضون 60-80 سنة (Runge and Metzger, 1995)، ويجب عدم تجاهل مخاطر استمرار هذه الإضافات المتزايدة من السماد الفوسفاتي حيث يزيد ذلك من كمية الفوسفور المتحركة بين منظومة التربة والبيئة المحيطة (الماء) مسببة تلوث المسطحات المائية وحدوث ظاهرة الإثراء الغذائي Eutrophication (Devau et al., 2011).

يكن الهدف من إجراء تجارب تحضين التربة لتتبع وتقييم تحولات العناصر المضافة ضمن ظروف مماثلة لظروف التربة المتواجدة في منطقة انتشار الجذور من حيث (نسبة الرطوبة، درجة الحرارة، معدل CO₂ المتوفر، رقم الأكسدة ارجاع Eh). تؤثر هذه العوامل على حركية العناصر وتحولاتها في التربة، فقد لوحظ ارتفاع لكمية الفوسفور المتاح عند تحضين تربة تتراوح نسبة الرطوبة فيها بين 40-80% (Ivanove and Shakhzhakban, 1993). ويعود السبب الرئيسي لإعادة توزيع الفوسفور في تجارب التحضين إلى: (1) التغيرات الكيميائية للتربة أثناء التحضين الرطب حيث يعدل أشكال الفوسفور المتاح فيها، (2) تحول الفوسفور المتواجد إلى الشكل الميكروبي حيث أن التحضين يحفز النشاط الميكروبي حتى في معاملة الشاهد (Chauhan et al., 1981) فيساعد ذلك على حدوث تحولات للفوسفور، كما ويتحرر الفوسفور للتربة بعد موت الخلايا البكتيرية، (3) أوضحت الدراسات أيضاً من قبل Skinner (1979) أنه بتحضين التربة تتدمر تجمعات التربة aggregates وأيضاً الجزء العضوي من الفوسفور المستخلص بـ (NaOH-Po و NaHCO₃-Po) المتواجد في تلك التجمعات.

يرتبط انخفاض P المتاح بتفاعلات الامصاص adsorption والترسيب precipitation في التربة الكلسية وذلك لكل من الفوسفور الأصلي Native والمضاف بالتسميد، وذلك بسبب ارتباطه مع مركبات الكالسيوم أو مع مركبات الحديد والألمنيوم للتربة (Brady and Weil, 2008)، حيث تساهم أكاسيد الحديد والألمنيوم في امتصاص الفوسفور بالتربة ذات الطبيعة القلوية وتعتبر أكثر أهمية من أشكال مركبات P-Ca في هذه الترب (Berteand et al., 2003)، فأكاسيد الحديد والألمنيوم نشطة جداً في عملية امتصاص P بسبب شحنة شبكتهم الإيجابية بمعظم الترب والسطوح النوعية الكبيرة لها (Schwertmann and Taylor, 1989). ويكون ارتباط الفوسفور مع سطوح الطين أو الكاتيونات المتبادلة عليها أكثر من ارتباطها مع أكاسيد الحديد في بعض الترب التي تمتلك نسبة طين مرتفعة، حيث يكون الارتباط ليس فقط على سطوح الطين، بل أيضاً في الفراغات بين معادن الطين والتي تجعلها أكثر قدرة على امتصاص الفوسفور (White, 1981).

انتشرت طريقة الإستخلاص المتتابع للفوسفور لـ (Hedley et al., 1982) والتي كانت أول خطوة لتحديد كل من الفوسفور اللاعضوي (المعدني Pi) و الفوسفور العضوي (Po) وبعدها الفوسفور المعدني والعضوي الأكثر ثباتاً

وفي مدى إلتاحتهم للكائنات الحية الدقيقة والنبات (Redel et al., 2008)، وذلك باستخدام محاليل استخلاص تستند على انتقائية الاستخلاص للمحلول المحضر ليشغل قسم من P باستخدام مستخلصات منفردة وبطريقة متتابعة، حيث جذبت كثيراً من الانتباه كأداة تفيد لفحص أشكال مختلفة من P التربة وتشمل تقييماً لمدى توفر الفوسفور المتاح في الترب كما لخصها مؤخراً (Pierzynski et al., 2005).

أهمية البحث وأهدافه:

تساعد تحاليل تجزئة الفوسفور في التربة على توضيح سرعة التحولات التي تطرأ على الفوسفور في التربة بصورة عامة، وبالتالي يمكن تقدير مايتبقى منه بحالة قابلة للامتصاص، وتقدير مدى الحاجة للتسميد الفوسفاتي، وبالتالي توفير كميات من الفوسفات التي تضاف دورياً للتربة الزراعية وتتخلص أهداف هذا البحث بـ:

1. تحديد توزيع كميات الفوسفور المضاف بين الأشكال المختلفة في الترب الثلاث المدروسة.
2. دراسة تأثير خواص كل تربة على توزيع أشكال الفوسفور في الترب المدروسة.

طرائق البحث و مواد

الترب المستخدمة: استخدم في هذه الدراسة ثلاثة ترب تختلف في خواصها الفيزيائية والكيميائية وهي: (1) تربة حمراء: جمعت من محافظة اللاذقية قضاء الحفة وهي غنية بأكاسيد الحديد؛ (2) تربة بازلتية: جمعت من محافظة حمص - صهرالقصير - شين، و (3) تربة كلسية حمراء: جمعت من محافظة اللاذقية على طريق برج اسلام-الشامية، والتي تسمى في النص اصطلاحاً تربة كلسية. جمعت الترب الثلاثة من العمق 0-30 سم ونقلت إلى موقع العمل في مشتل جامعة تشرين حيث جففت هوائياً ونخلت لتمر من منخل ذو فتحات 2 مم لإزالة الشوائب وحفظت في أكياس لحين الاستخدام. خضعت ترب الدراسة للتحليل المخبري (Ryan et al., 2003) لتحديد قوامها وبعض خواصها الكيميائية التي يبينها الجدول (1).

جدول 1: بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لترب الدراسة.

CEC meq/100 g	CaCO ₃ (%)		Olsen-P ppm	OM %	pH _w	القوام	التركيب الحبيبي %			التربة
	فعالة	كلية					رمل	سلا ت	طين	
47.8	1.75	2.3	Trace	0.94	8.1	طينية ثقيلة	11	26	63	حمراء
37.0	0.67	1.1	9.54	0.19	7.11	سلتية لومية	17	59	24	بازلتية
34.8	3.58	34.8	1.47	0.48	8.33	طينية متوسطة إلى خفيفة	38	17	45	كلسية
الكاتيونات المتبادلة (meq/100 g)				الكاتيونات الذاتية (ppm)						

Na	K	Mg	Ca	Na	K	Mg	Ca	
0.8	0.8	9.1	25.7	29.1	13.2	112	267	حمراء
0.8	0.5	9.4	13.2	49.4	5	72	107	بازلتية
0.9	1.5	3.5	27.7	30.1	9.1	32	280	كلسية

مخطط التجربة: نفذت التجربة بتحضير 0.5 كغ لكل نوع من ترب الدراسة الثلاثة مع إضافة مستويات متدرجة

من الفوسفور (0 - 20 - 40 - 60 - 80 - 100 مغ/P كغ تربة) وذلك بصورته السامدية سوبر فوسفات الثلاثية TSP (46 % P_2O_5)، فكان عدد المعاملات 6 معاملات لكل تربة وثلاثة مكررات لكل معاملة فيصبح العدد الإجمالي لأصص التجربة 54 أصيص.

العناية بالتجربة: رطب الأصبص إلى 75% من سعة حمولة التربة من الماء (Water-holding capacity)

محسوبة على أساس الوزن و وزعت عشوائياً على مربع التجربة في البيت البلاستيكي ابتداءً من 16 / 12 / 2013. سحبت عينات تربة من كل أصيص في الزمن 0-30 - 60- 90- 120- 150 - 180 - 210 - 240 يوم، وذلك بعد خلط تربة كل أصيص منفرداً بشكل جيداً وأخذ 15 غ تربة تكون ممثلة لتربة الأصبص. تم ترطيب الأصبص مرتين أسبوعياً بالماء المقطر للمحافظة على 75% من سعة حمولة التربة من الماء.

تقدير الفوسفور في التربة:

تجزئة الفوسفور:

يتم تجزئة الفوسفور بالاستخلاص المتتابع لعينة 0.5 غ تربة جافة هوائياً، وذلك في كل مرة، تخض التربة بـ 30 مل من محلول الاستخلاص لمدة 16 ساعة والطرء المركزي لمدة 15 دقيقة بسرعة 5000 دورة/دقيقة. في البداية يتم خض العينات بالماء المقطر (30 مل) بوجود أكياس الرزن من نوع IRA-402 المشبعة بشوارد HCO_3^- . تزال أكياس الرزن وتخضع العبوات للطرء المركزي والتخلص من الرائق. تتم إزاحة الفوسفور المدمص على الرزن بخض أكياس الرزن بـ 30 مل من 0.5M HCl لمدة 2 ساعة ويحفظ المحلول لقياس الفوسفور المعدني (Inorganic P, Pi)، ويعاد تنشيط الرزن بنقع أكياسه بمحلول 0.5M $NaHCO_3$ لمدة 48 ساعة على الأقل، ومن ثم الغسيل بالماء المقطر حتى تعادل درجة pH الماء، يتم بعد ذلك استخلاص عينات التربة بمحاليل 0.5M $NaHCO_3$ ، ثم NaOH 0.5M، ثم 1M HCl بشكل متتابع، يرشح رائق محاليل الاستخلاص في كل مرة وتحفظ العينات على درجة حرارة 5° لحين تقدير الفوسفور. ويقدر الفوسفور المتبقي (Residual-P) بنقل عينات التربة كميّاً إلى أنابيب الهضم وباستخدام خلطة من حمضي البيروكلوريك والكبريت (10:1) هضمت هضماً رطباً وتم تقدير الفوسفور بطريقة الموليبيدات فاندات (Ryan et al., 2003).

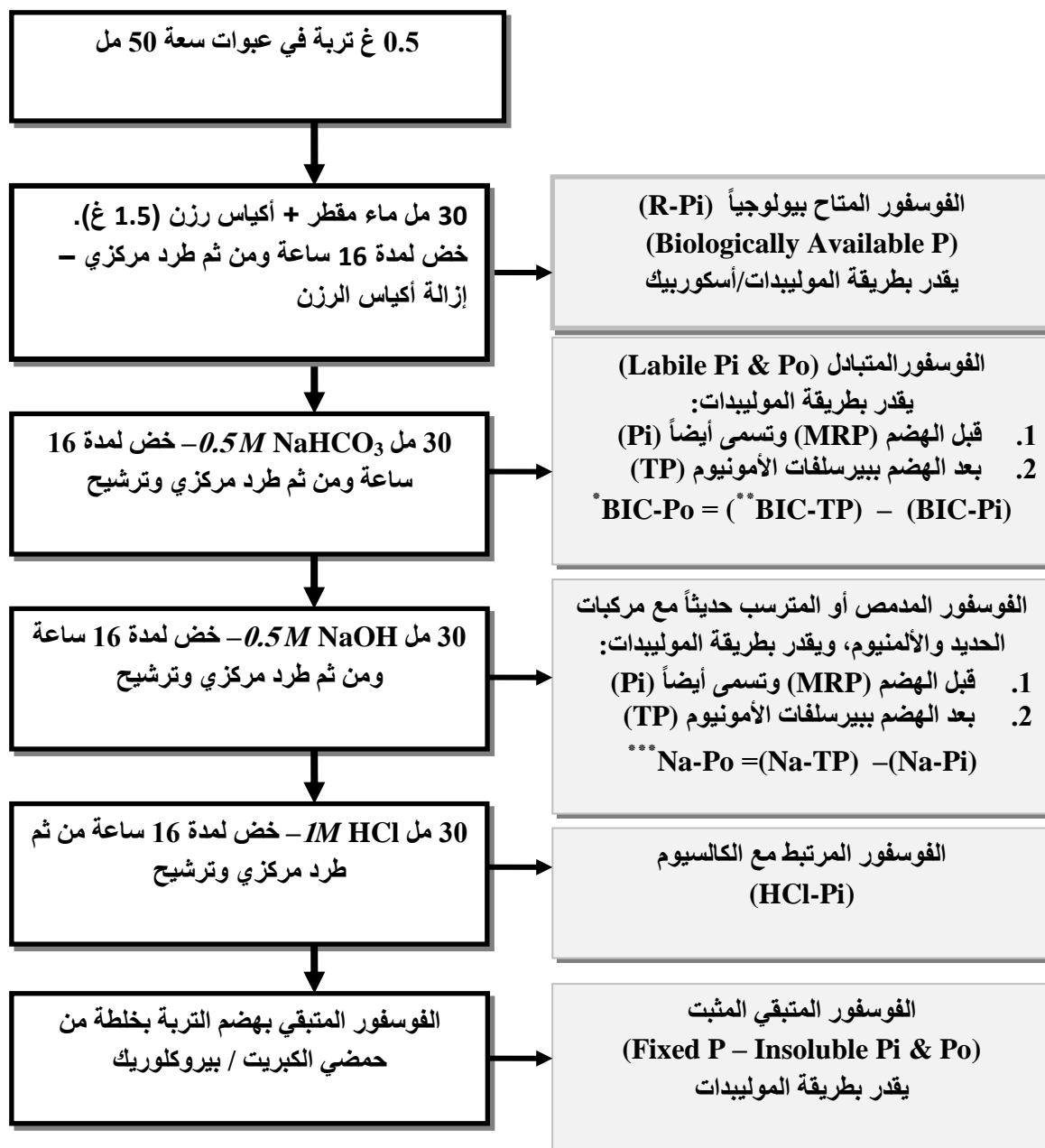
تقدير الفوسفور المعدني (Pi) أو المتفاعل مع الموليبيدات (MRP): تم تقدير الفوسفور المتفاعل مع

الموليبيدات (Molybdate Reactive P, MRP) في جميع المستخلصات بطريقة موليبيدات الأمونيوم - حمض الأسكوبيك (Murphy and Riley, 1962). وتعود تسمية الفوسفور المقدر بطريقة الموليبيدات في مستخلصي البيكربونات بـ MRP على اعتبار أن الموليبيدات تتفاعل مع الفوسفور المعدني وجزء من الفوسفور العضوي الذي تحصل له حلمهة (Hydrolysis) في هذا المستخلصين نتيجة الحموضة في وسط التفاعل التي تتطلبها طريقة تحضير

محلول موليبديات الأمونيوم (Hens and Merckx, 2001) وبحسب دراسات سابقة (Taranto et al., 2000) فإن حوالي 90% من الفوسفور المستخلص بأكياس الرينز (Pi) قد كان مطابقاً لنتائج الفوسفور المقدر بتقنية Spectroscopy.

تقدير الفوسفور العضوي (Po): ولذلك تم تقدير الفوسفور الكلي (TP) في هذه المستخلصات في وسط حمضي (1 مل $11M H_2SO_4$) وبوجود مادة مؤكسدة من بيروسلفات الأمونيوم (0.3 غ) لتحطيم مركبات الفوسفور العضوية، ويتبع ذلك تقدير الفوسفور في محلول الهضم بطريقة الموليبيدات-أسكوريك. ويتم حساب قيم الفوسفور العضوي بطريقة الفرق وفق مايلي: $Po = TP - MRP$

تقدير الفوسفور العضوي الكلي (Total-Po): يؤخذ وزنين 0.5 غ من التربة الجافة هوائياً ويتم هضمها بحسب الطريقة التي اقترحها (Kuo, 1996)، يستخلص الفوسفور العضوي من كلا العينات المرمدة (Ignited 550 م° لمدة 1 ساعة) وغير المرمدة (Unignited 30 مل من محلول $1M H_2SO_4$ مع الرج لمدة 16 ساعة، وبحسب Total-Po بطرح كمية الفوسفور المقدر في العينة غير مرمدة من العينة المرمدة.



الشكل 1: خطوات الاستخلاص المتتابع للفوسفور في التربة (Hedley et al., 1982).
 $^*BIC-Po$ = الفوسفور العضوي المتواجد في مستخلص البيكربونات $0.5M NaHCO_3$.
 $^{**}BIC-TP$ = الفوسفور الكلي الموجود في مستخلص البيكربونات $0.5 M NaHCO_3$.
 $^{***}Na-Po$ = الفوسفور العضوي المتواجد في مستخلص المئات $0.5M NaOH$.

النتائج والمناقشة

1. ديناميكية الفوسفور في التربة الحمراء:

تميزت التربة الحمراء الطينية قبل التحضين بانخفاض محتواها من الفوسفور المتاح، حيث بلغ متاح $\sum P$ والذي يتوزع بين الأشكال التي يتم استخلاصها بالرزن ومستخلص البيكربونات بشقيه المعدني والعضوي إلى حوالي 1.8 مغ/P كغ وهو تركيز منخفض جداً (جدول 2)، كما انخفضت تراكيز الفوسفور التي تم استخلاصها بمحلول

0.5M NaOH بشقيه المرتبط حديثاً بأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم (NaOH-MRP = 53.9 مغ/P/كغ) والمرتبطة مع المركبات العضوية مرتفعة الوزن الجزيئي (NaOH-Po = 39 مغ/P/كغ)، وليس بالمستغرب أن ينخفض تركيز الفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم في التربة الحمراء (Ca-P = 27.8 مغ/P/كغ) على اعتبار أن التربة تحتوي على كميات قليلة من كربونات الكالسيوم والفعالة (جدول 1). ويتقدير الفوسفور المتبقي في معادن التربة الحمراء والمركبات العضوية التي قاومت التحلل وجدت كميات منخفضة أيضاً (Residual-P = 682.2 مغ/P/كغ)، لقد انعكست كل هذه النتائج على قيمة الفوسفور الكلي المتواجد في التربة الحمراء فكانت بحدود 804.7 مغ/P/كغ خاصة وأن التربة لم يسبق تسميدها بالمركبات الفوسفورية وأن محتواها من الفوسفور هو Native-P الموجود في الصخر الأم الناشئة عنه.

لقد أدى تحضين التربة عند 75% من حمولة التربة للماء ولمدة 240 يوم إلى تغيرات في تراكيز الأجزاء المختلفة للفوسفور في التربة، حيث ازدادت تراكيز الفوسفور المتاح في مستخلصي الرزن (المتاح بيولوجياً = 9.4 مغ/P/كغ) ومستخلص البيكربونات بشقيه المتفاعل مع الموليبدات (MRP = 11.2 مغ/P/كغ) والعضوي (= 33.3 مغ/P/كغ NaHCO₃-Po) وذلك بالمقارنة مع الفوسفور المتاح في التربة الأصلية عند الزمن 0 (قبل التحضين) والتي كانت 0، 0.8، و 1.0 مغ/P/كغ، على التوالي (جدول 2). ربما تعود هذه الزيادات إلى التغيرات الحاصلة في جزء الفوسفور المتبقي في التربة (Residual-P) الذي انخفض من 682.2 إلى 613.2 مغ/P/كغ بعد فترة التحضين 240 يوم. لقد تركز الانخفاض في الفوسفور المتبقي على الجزء العضوي منه حيث انخفضت القيم من 221.6 مغ/P/كغ في الزمن 0 إلى 167.5 مغ/P/كغ بعد 240 يوم من التحضين (جدول 3).

جدول 2: تجزئة الفوسفور في التربة الحمراء الطينية في زمن التحضين 240 يوم من عمر التحضين مع سماد السوبر فوسفات (TSP) بتراكيز تتدرج بين 0 و 100 مغ/P/كغ تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

Total-P (مغ/P/كغ)	Residual-P (مغ/P/كغ)	HCl-Pi (مغ/P/كغ)	NaOH-P (مغ/P/كغ)		NaHCO ₃ -P (مغ/P/كغ)		Resin-Pi (مغ/P/كغ)	الزمن (يوم)	TSP (مغ/P/كغ تربة)
			Po	MRP	Po	MRP			
804.7	682.2	27.8	39.0	53.9	1.0	0.8	0.0	0	
802.4	613.2	40.0	31.8	63.5	33.3	11.2	9.4		0
822.5	615.5	41.4	35.1	66.6	32.1	22.4	9.4		20
844.6	613.3	50.0	36.2	70.6	39.2	21.2	14.1	240	40
866.2	612.3	52.7	39.3	76.8	44.4	21.2	19.5		60
884.3	608.5	54.0	41.3	79.8	50.4	25.2	25.1		80
902.8	605.3	55.3	39.3	81.9	64.7	27.2	29.1		100

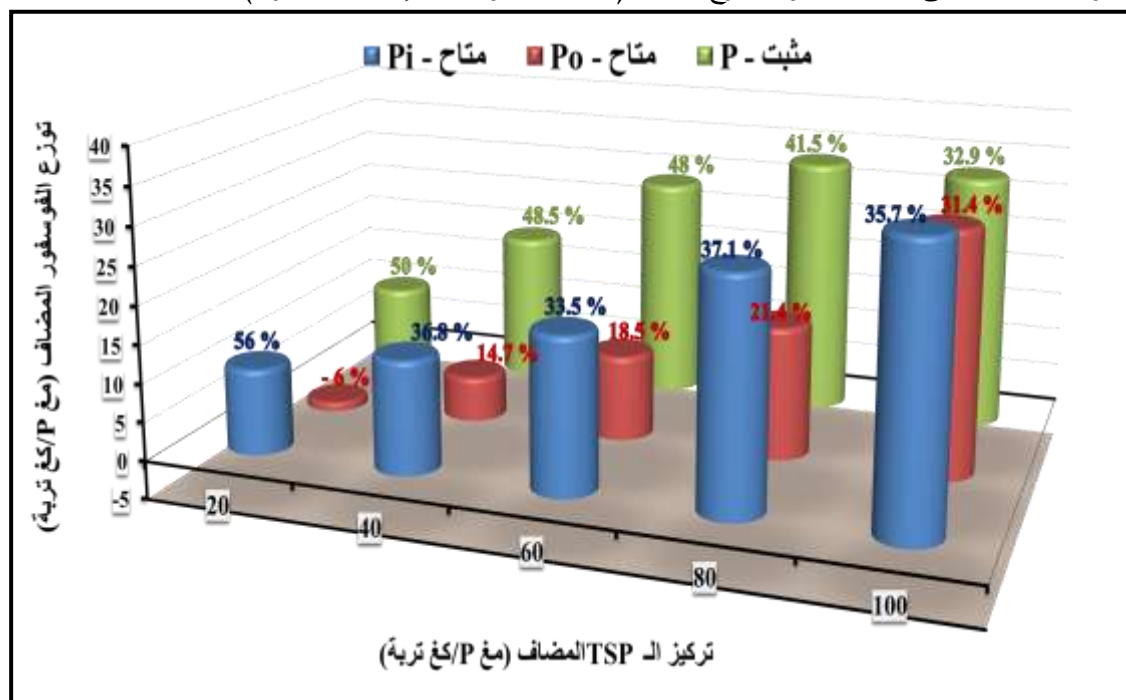
إن لنشاط ميكروبات التربة البكتيرية والفطرية الأثر البالغ في تحطيم المركبات الفوسفورية الثابتة وتحول الفوسفور التي تحتويها هذه المركبات إلى أشكال أكثر إتاحة في التربة (Hu, 2008; Skinner, 1979)، وفي تجربة تحضين لـ 12 نوع من الترب مختلفة الخواص، لوحظ زيادة في تركيز الفوسفور المتاح وزيادة في الأشكال اللاعضوية

للفوسفور التي كانت مرتبطة بأشكال متبلورة قابله انخفاض في الشكل العضوي لفوسفور التربة (Scalenghe et al., 2010).

جدول 3: توزيع الفوسفور العضوي في التربة الحمراء الطينية في زمن التحضين 240 يوم مع سماد السوبر فوسفات (TSP) بتركيز تتدرج بين 0 و 100 مغ/P تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

Residual-Po	NaOH-Po	NaHCO ₃ -Po	Total-Po	الزمن	TSP
(مغ/P كغ تربة)	(مغ/P كغ)	(مغ/P كغ)	(مغ/P كغ)	(يوم)	(مغ/P كغ تربة)
221.6	39.0	1.0	261.6	0	
167.5	31.8	33.3	232.6	240	0
151.0	35.1	32.1	218.2		20
142.9	36.2	39.2	218.3		40
185.9	39.2	44.4	269.6		60
159.8	41.3	50.4	251.5		80
140.3	39.3	64.7	244.3		100

تم حساب توزيع الفوسفور الذي تمت إضافته بين الأشكال المختلفة الناتجة عن التجزئة المتتابعة للفوسفور، وحساب الفوسفور العائد لـ TSP كنسبة مئوية من الفوسفور المضاف بين الأشكال المتاحة أو التي تعرضت للتثبيت في التربة بالاعتماد على حسابات الفرق بطرح الشاهد (بتحضير التربة دون إضافة فوسفورية).



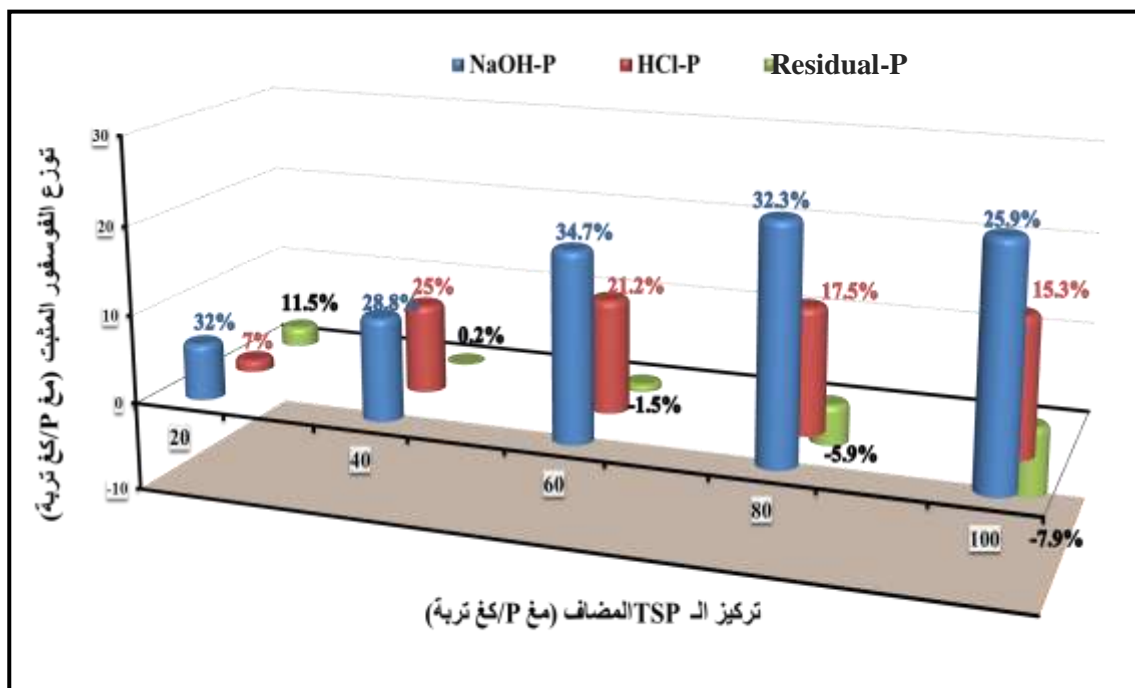
شكل 2: توزيع الفوسفور المضاف في التربة الحمراء الطينية في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري من المعدل المضاف.

يشكل الفوسفور المتاح ($\text{Resin-Pi} + \text{NaHCO}_3\text{-MRP} + \text{NaHCO}_3\text{-Po}$) إذا ما حسب كنسبة مئوية من الفوسفور المضاف حوالي 50، 51.5 و 52 % وذلك عند مستويات إضافة 20، 40 و 60 مغ/P تربة على التوالي، وتزداد هذه النسبة إلى 58.5 و 67.1 % عند مستويي الإضافة 80 و 100 مغ/P تربة، على التوالي (شكل 2).

لقد تركزت التغيرات الحاصلة بعد 240 يوم على الشكل المعدني من الفوسفور المتاح ($\text{Resin-Pi} + \text{NaHCO}_3\text{-MRP}$) مقارنة بالشكل العضوي $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ حتى الوصول لمستوى إضافة 80 مغ/P تربة، بينما لوحظ تساؤل ذلك الفارق وارتفاع للشكل العضوي من الفوسفور المتاح عند مستوى إضافة 100 مغ/P تربة ليصبح 35.7 % معدني و 31.4 % عضوي (شكل 2)، مع الإشارة أن أغلب ما هو متاح فيها قد تواجد بالشكل العضوي Po والذي لا يمكن أن يستفيد منه النبات في احتياجاته إلا بعد حدوث عمليات التمعدن، يبرز هنا زيادة النشاط الحيوي خلال فترة التحضين والذي أدى لحدوث تحولات للجزء العضوي من الفوسفور من أشكال مثبتة إلى أشكال أكثر إتاحة للنبات، ولا ننسى أن عمليات معدنة الـ Po تتعلق بحاجة الميكروبات للفوسفور أكثر من حاجتها للطاقة (McGill and Cole, 1981).

لقد ارتبط حوالي 30% (تزيد أو تنقص قليلاً) من الفوسفور المضاف مع الأكاسيد والهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم وهو فوسفور مترسب حديثاً (Cross and Schlesinger, 2001)، مع العلم أنه يمكن أن يصبح بعض من هذا الجزء من الفوسفور متاحاً عند توفر ظروف الأكسدة والإرجاع المناسبة، فعند انخفاض قيم Eh في التربة السطحية (0-25 سم) سيعمل على تحويل أشكال الـ Fe و Mn من أشكالها غير ذائبة إلى أشكال ذائبة مما سيؤدي بالمحصلة لتحرر الفوسفور من تلك المركبات (Filep, 1999; Hu, 2008)، ولهذا وصف ذلك الجزء من الفوسفور بشكله العضوي والمعدني بالشكل معتدل الإتاحة $\text{moderately available-P}$ (Yang and Post, 2011). بينما انخفضت عموماً قيم الفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم المتواجد في مستخلص HCl/IM على اختلاف مستويات تسميد الفوسفور، فكانت القيم كنسبة مئوية من المضاف 7% عند مستوى الإضافة 20 مغ/P تربة ووصلت إلى 25 و 21.2 % عند مستوى الإضافة 40 و 60 مغ/P تربة، ومن ثم تنخفض إلى 17.5 و 15.3 % عند مستويي الإضافة 80 و 100 مغ/P تربة (شكل 3).

تشير نتائج توزيع الفوسفور في التربة الحمراء إلى أن الجزء الأكبر من الفوسفور المضاف الذي تعرض للتثبيت قد تواجد في مستخلص $\text{NaOH } 0.5M$ أي أنه ارتبط بشكل أساسي مع أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم وليس مع الكالسيوم أو مع معادن التربة (جدول 2) وذلك على اختلاف مستويات الإضافة من الـ TSP المطبقة في دراستنا (الشكل 3). هذا ليس بالأمر المستغرب على اعتبار أن التربة حمراء غنية بأكاسيد الحديد حيث يتفوق فيها الفوسفور المتواجد في مستخلص $\text{NaOH } 0.5M$ مقارنة بالفوسفور المتواجدة في مستخلص HCl/IM للتربة الحمراء، لقد بينت الكثير من الدراسات التي أجريت سابقاً في منطقة البحر الأبيض المتوسط وفي سورية خاصةً (Matar et al., 1992) أن لأكاسيد الحديد تأثيراً عالياً في التفاعلات الأولية لنويان السماد الفوسفاتي في التربة بالرغم من الكميات المنخفضة (Ryan et al., 1985)، وكذلك الحال في التفاعلات على فترات طويلة الأمد (Ryan et al., 1985)، حيث أثرت هذه التفاعلات على كفاءة استخدام الفوسفور.



شكل 3: توزيع الفوسفور المثبت في التربة الحمراء الطينية في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري المثبت من المعدل المضاف.

كما أن للمادة العضوية الموجودة في التربة الحمراء أهمية بالغة في ربط الفوسفور عضوياً مع أكاسيد الحديد والألومنيوم بعملية ادمصاص كيميائي أو عبر جسور، حيث تتواجد بعض أيونات الفوسفور في مستخلص NaOH 0.5M بشكلها العضوي فتكون مرتبطة مع مركبات التربة العضوية مثل أحماض الهيوميك مرتفعة الوزن الجزيئي لتشكل هيوميك فوسفات وتصبح أكثر ثباتاً (Sharpley and Rekolainen, 1997)، كما أنه من الممكن أن يحدث انحلال لبعض الفوسفور المعدني Pi المدمص على باقي مكونات التربة وليرتبط عضوياً مع الهيوميك مؤدياً ذلك لارتفاع قيم الـ NaOH-Po (Wang et al, 2006; Reddy et al., 2005)، وهذا ما توضح لدينا من نتائج الجزء العضوي المرتبط مع الأكاسيد فقد تراوحت قيمة الزيادة الحاصلة لـ NaOH-Po نتيجة الإضافة المتدرجة من الفوسفور بعد طرح الشاهد بين 3.3 و 7.5 في المعاملتين 20 و 100 مغ/P/كغ على التوالي. تمتلك مركبات الـ Po القدرة أيضاً على تشكيل معقدات أو تترسب مع الكاتيونات المعدنية حيث يعتمد ذلك على نوع الفوسفور العضوي (Celi and Barberis, 2005)، وهذا ما يزيد من استقرار وثباتية مركبات الـ Po ويجعلها بعيدة عن مهاجمتها من قبل الأحياء الميكروبية (House and Denison, 2002).

اللافت في الأمر أنه عند تقدير الفوسفور المتبقي في معادن التربة الحمراء بشكله العضوي والمعدني لوحظ أن معدل الفوسفور المتواجد بالجزء المتبقي Residual-P ضئيل 11.5 % كنسبة مئوية من مستوى الإضافة (20 مغ/P/كغ تربة)، ومن ثم تأخذ قيم سلبية لتصل إلى -7.9% عند مستوى إضافة 100 مغ/P/كغ تربة. أكد انخفاض قيم Residual-P مع زيادة مستويات الإضافة من TSP عند 240 يوم تحضين حدوث تحولات لذلك الجزء المثبت من الفوسفور باتجاه أشكال أخرى (شكل 3)، بينما تركز أغلب التحولات فيه على الجزء العضوي منه Residual-Po لأشكال أخرى أكثر إتاحة ضمن ظروف التحضين، وهذا ما أكدته ارتفاع قيم المتاح-ΣP بعد 240 يوم من تحضين التربة الحمراء (جدول 2).

2. حركية الفوسفور في التربة البازلتية:

تتميز التربة البازلتية بأن تركيز الفوسفور في جميع أجزائه أعلى من تلك في التريتين الحمراء الطينية والكلسية وانعكس ذلك على نتائج الفوسفور الكلي Total-P فكان محتواها مرتفع بحدود 2667.4 مغ/P كغ تربة مقارنة بـ 804.7 و 469.3 مغ/P كغ في التريتين الحمراء والكلسية (جداول 2، 4، 6). أما محتواها من الفوسفور المتاح (Resin-Pi + NaHCO₃-MRP + NaHCO₃-Po) فهو 23 مغ/P كغ مقارنة بـ 1.8 و 5.4 مغ/P كغ في باقي التريتين، على التوالي. كما يرتفع فيها تركيز الفوسفور المرتبط مع مركبات الكالسيوم Ca-P لتصل إلى حدود 1183.1 مغ/P كغ مقارنة بـ 27.8 و 170 مغ/P كغ في التريتين الحمراء الطينية والكلسية على التوالي (جدول 4)، هذا على العلم أن نسبة CaCO₃% الكلية والفعالة في التربة البازلتية هي أقل من تلك في التريتين الحمراء أو الكلسية (جدول 1). ربما ما يميّز التربة البازلتية أنها ناشئة عن صخور بازلتية بالتالي فإن محتواها من الفلزات التي تحتوي على الفوسفور أعلى مقارنة بالتريتين الحمراء والكلسية الناشئين أصلاً عن تجوية صخور كلسية، كما أكدت دراسات رقية (1991) التي أجريت على تربة بازلتية سورية كان محتواها من أكاسيد الألمنيوم وأكاسيد الحديد بنسبة تصل إلى 23.22%، 18.83% من التربة في الطبقة (0-30 سم)، على التوالي. بينما وصلت فيها أكاسيد الحديد السليكاتية والمتبلورة والأمورفية (غير المتبلورة) 46.88%، 31.49% و 3.61% من الحديد الكلي، على التوالي. حيث تعتبر هذه النسب كبيرة في الترب الزراعية.

جدول 4: تجزئة الفوسفور في التربة البازلتية في الأزمنة 0 و 240 يوم من عمر التحضين مع سماد السوبر فوسفات (TSP) بتراكيز

تتدرج بين 0 و 100 مغ/P كغ تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

Total-P (مغ/P كغ)	Residual-P (مغ/P كغ)	HCl -Pi (مغ/P كغ)	NaOH -P (مغ/P كغ)		NaHCO ₃ -P (مغ/P كغ)		Resin -Pi (مغ/P كغ)	الزمن (يوم)	TSP (مغ/P كغ تربة)
			Po	MRP	Po	MRP			
			2667.4	1163.7	1183.1	10.7			
2674.9	1013.7	1260.0	33.8	229.9	52.6	36.1	48.8	0	
2697.0	1016.0	1267.8	31.1	226.9	60.7	40.9	53.6	20	
2718.2	1012.3	1274.4	31.1	232.1	65.4	45.6	57.3	40	
2738.9	1005.0	1275.9	33.8	238.1	71.2	50.4	64.5	60	
2755.6	990.3	1279.4	35.7	245.3	77.2	55.6	72.1	80	
2777.1	976.9	1275.7	44.8	258.7	80.5	62.4	78.1	100	

أدت ظروف تحضين التربة البازلتية بدون أي إضافة فوسفورية (معاملة الشاهد) ولمدة 240 يوم إلى تغيرات واضحة في أشكال الفوسفور في التربة، حيث انخفض وبشكل واضح الفوسفور المرتبط حديثاً بأكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم Fe-P و Al-P، وربما بأكاسيد المنغنيز (Boyle and Lindsay, 1986)، من 286.9 إلى 229.9 مغ/P كغ تربة، وانخفضت أيضاً قيم الفوسفور المتبقي في معادن التربة (Residual-P) من 1163.3 إلى 1013.7 مغ/P كغ تربة (جدول 4). قابله زيادة تم تسجيلها في الفوسفور المتاح المتواجد في مستخلص الرزن (من 13.9 إلى 48.8 مغ/P كغ) ومستخلص البيكربونات بشكله NaHCO₃-MRP (من 7.5 إلى 36.1 مغ/P كغ) و

NaHCO₃-Po (من 1.6 إلى 52.6 مغ/P كغ)، وبذلك يكون مجموع الفوسفور المتاح بعد 240 يوم تحضين 137.5 مغ/P كغ تربة مقارنة بـ 23 مغ/P كغ وهي زيادة بمقدار 6 مرات.

وعند دراسة توزع الفوسفور العضوي بين الأشكال المختلفة في التربة البازلتية (جدول 5) تبين أن مرد الزيادات الحاصلة في الفوسفور المتاح بأشكاله المختلفة آتية الذكر أو في الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم إلى معدنة الفوسفور العضوي الذي كان متواجداً في الجزء المتبقي في معادن التربة (Residual-Po) وإمكانية وجود تبدلات كمون الأكسدة والإرجاع خلال 240 يوم من التحضين، مع العلم أن الأساس في حدوث تلك التبدلات هو تحفيز ميكروبات التربة والذي يكون ذو علاقة ارتباط معنوي مع انخفاض قيمة Eh، بينما يعمل انخفاض Eh على زيادة تركيز الفوسفور الذائب في التربة (Hu, 2008). وتستمر ظهور هذه التغيرات في كمية الفوسفور العضوي المتواجدة في الجزء المتبقي (Residual-Po) حتى بوجود التسميد المعدني TSP.

انعكست هذه التغيرات في الـ Residual-Po إيجاباً على تراكيز الفوسفور التي يتم استخلاصها في باقي الأشكال سواء بشكلها العضوي أو المعدني (جدول 4). انخفضت قيم الـ Residual-Po عند التركيز 100 مغ/P كغ مقارنة بالشاهد (دون إضافة) بحوالي 65 مغ/P كغ، بالمقابل فقد كان حاصل الانخفاض الناتج في الفوسفور الكلي العضوي Total-Po = 26.8 مغ/P كغ فقط، أي أن الفاقد من الفوسفور العضوي الذي كان ضمن معادن التربة Residual-Po قد تحول لأشكال أخرى معدنية (وهي الأكبر)، إضافة لأشكال عضوية والتي تركزت أغلبها في الجزء المتاح NaHCO₃-Po (جدول 5).

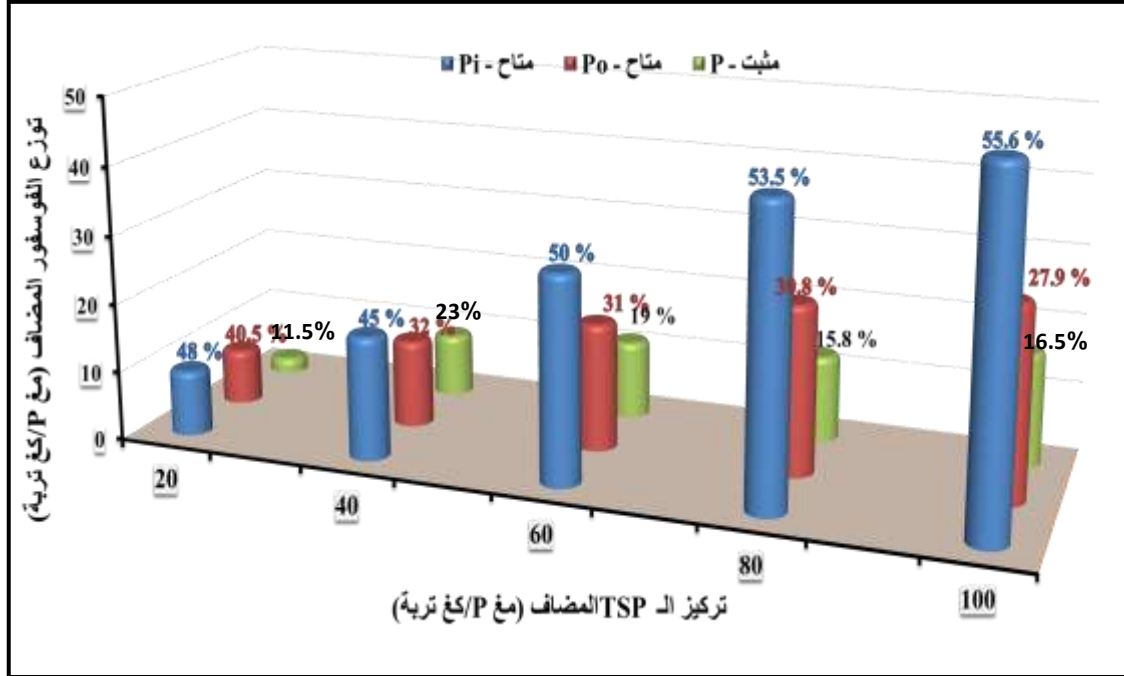
جدول 5: توزع الفوسفور العضوي في التربة البازلتية في زمن التحضين 240 يوم

مع سماد السوبر فوسفات (TSP) بتركيز تتدرج بين 0 و 100 مغ/P كغ تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

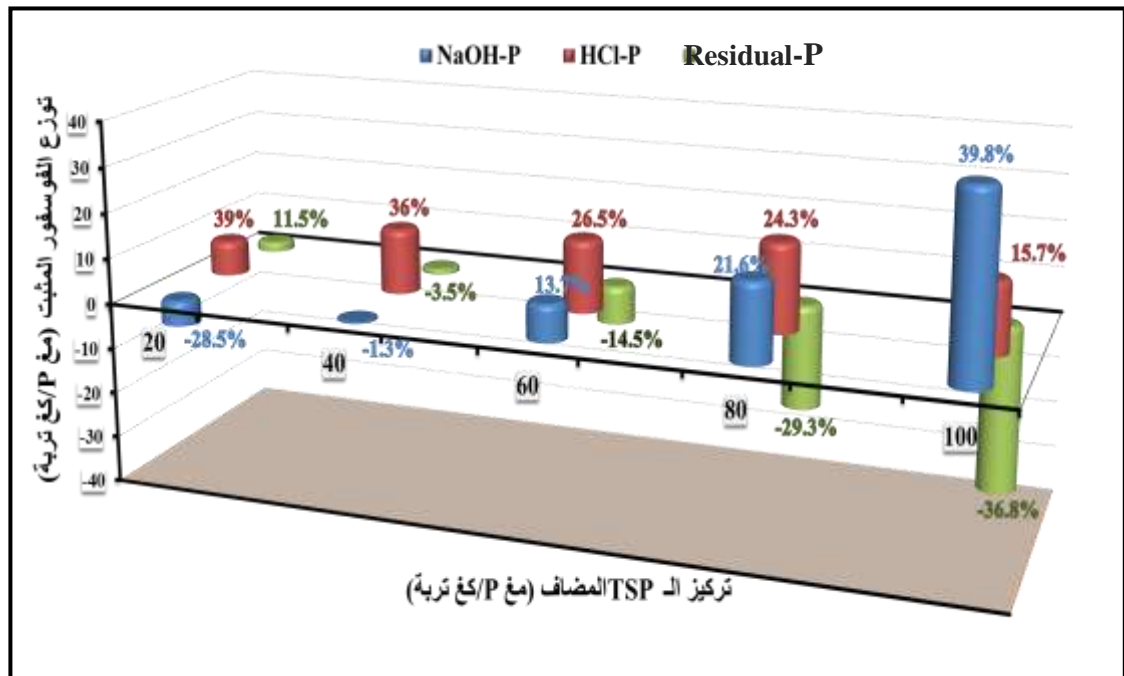
Residual-Po (مغ/P كغ تربة)	NaOH-Po (مغ/P كغ)	NaHCO ₃ -Po (مغ/P كغ)	Total-Po (مغ/P كغ)	الزمن (يوم)	TSP (مغ/P كغ تربة)
372.3	10.7	1.6	384.6	0	
-29.2	33.8	52.6	57.2	240	0
-41.1	33.1	60.7	50.7		20
-8.7	33.1	65.4	87.8		40
-39.2	33.8	71.2	65.8		60
-79.2	35.7	77.2	33.7		80
-94.9	44.8	80.5	30.4		100

تميزت التربة البازلتية ببقاء أغلب الفوسفور المضاف إليها بشكله المتاح وبنسبة عالية بلغت حتى 88.5، 77، 81، 84.2 و 83.5 % من الفوسفور المضاف في معاملات التسميد 20، 40، 60، 80، و 100 مغ/P كغ تربة، على التوالي. وبذلك فقد تحول جزءاً منخفضاً من الفوسفور المضاف إلى أشكال أخرى أقل إتاحة ومثبته (شكل 4). يشكل الفوسفور المعدني (اصطلاحاً) المتواجد في الشكلين Resin-Pi و NaHCO₃-MRP حوالي 54، 58، 62، 64 و 67 % من مجموع الفوسفور المتاح، وبهذا فقد تفوق تواجد الفوسفور المضاف بالجزء المعدني المتاح عن الجزء

العضوي المتاح $\text{NaHCO}_3\text{-Po}$ في التربة البازلتية بعد 240 يوم تحضين. بينما تراوحت نسبة الفوسفور المضاف الذي تعرض للتنشيط بشكليه NaOH-P و HCl-P ما بين 11.5% في معاملة الإضافة 20 مغ/P تربة ووصل حتى 23% كحد أقصى في معاملة الإضافة 40 مغ/P تربة.



شكل 4: توزيع الفوسفور المضاف في التربة البازلتية في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري من المعدل المضاف.



شكل 5: توزيع الفوسفور المثبت في التربة البازلتية في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري المثبت من المعدل المضاف.

توضح دراسة توزع الفوسفور المثبت في التربة البازلتية أنه عندما أضيفت تراكيز منخفضة من الفوسفور للتربة (بمعدل 20 و 40 مغ/P كغ تربة) فإن الجزء الرئيسي الذي عمل على تثبيت الفوسفور هي مركبات الكالسيوم Ca-P والمستخلص بـ $1M\ HCl$ (شكل 5)، ولكن مع زيادة معدلات الفوسفور المضافة (من 60 إلى 100 مغ/P كغ تربة) يصبح الفوسفور متواجداً وبشكل سائد على معقدات الأكاسيد المعدنية والمركبات العضوية منه والتي يتم تقديرها باستخدام $0.5M\ NaOH$. وينسب متزايدة مع زيادة معدلات الفوسفور المضافة للتربة، لتصبح قيمه أعلى من تلك المرتبطة مع الكالسيوم عند معاملة الإضافة 100 مغ/P كغ تربة.

3. حركية الفوسفور في التربة الكلسية:

تميّزت التربة الكلسية بأنها لم يتم تسميدها سابقاً بالفوسفور وهذا ما أدى لانخفاض محتواها من الفوسفور عموماً عند تجزئة فوسفور التربة الكلسية قبل التحضين، فقد كان P-متاح Σ بحدود 5.4 مغ/P كغ تربة والمحتوى الكلي للتربة من الفوسفور Total-P 469.3 مغ/P كغ، وهي بذلك أقل الترب الثلاثة المدروسة في محتواها الكلي من الفوسفور مقارنة بالتربة الحمراء أو البازلتية (جدول 6). لقد شكّل الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم والذي تم استخلاصه بمحلول $1M\ HCl$ أكبر أشكال الفوسفور حيث بلغ 170 مغ/P كغ بينما شكّل الفوسفور المستخلص بماءات الصوديوم بشقيه العضوي والمعدني 41.3 مغ/P كغ على اعتبار أن التربة الكلسية حمراء اللون وبالتالي فهي تحتوي على كميات من أكاسيد الحديد.

جدول 6: تجزئة الفوسفور في التربة الكلسية الحمراء في الأزمنة 0 و 240 يوم من عمر التحضين مع سداد السوبر فوسفات (TSP) بتراكيز تتدرج بين 0 و 100 مغ/P كغ تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

Total-P (مغ/P كغ)	Residual-P (مغ/P كغ)	HCl-Pi (مغ/P كغ)	NaOH-P (مغ/P كغ)		NaHCO ₃ -P (مغ/P كغ)		Resin-Pi (مغ/P كغ)	الزمن (يوم)	TSP (مغ/P كغ تربة)
			Po	MRP	Po	MRP			
469.3	252.6	170.0	11.7	29.6	0.7	1.1	3.6	0	
470.2	239.2	121.5	31.0	46.1	12.6	8.9	10.9		0
495.0	239.0	122.3	33.0	48.2	21.1	14.9	16.5		20
514.6	231.2	129.5	33.0	48.2	28.5	22.4	21.8	240	40
534.4	229.0	142.7	29.8	49.2	34.5	20.4	28.8		60
555.9	229.0	146.6	35.3	51.3	33.9	25.0	34.8		80
578.5	226.9	148.0	44.3	52.3	36.5	31.5	39.0		100

لقد أدى تحضين التربة بدون إضافة فوسفورية وبوجود الرطوبة لمدة 240 يوم إلى حدوث تحولات في أشكال الفوسفور في التربة وانتقاله بين الأجزاء المختلفة كما هو الحال في الترب السابقة. فقد انخفض تركيز الفوسفور المرتبط مع الكالسيوم Ca-P والفوسفور المتبقي (Residual-P) من 170 و 252.6 إلى 121.5 و 239 مغ/P كغ وهو انخفاض بمقدار 61.9 مغ من الفوسفور، توزع هذا المقدار مناصفة تقريباً بين الأجزاء المتاحة التي (مستخلصي الريزن والبيكربونات (Po+MRP) ومستخلص ماءات الصوديوم بشقيه Po و MRP ليصبحا 32.4 و 77.1 مغ/P كغ تربة (جدول 6). أكد Hagin and Tucker (1982) أن الشكلين Fe-P و Al-P كان لهما الدور الأكبر في ربط الفوسفور المضاف كسداد وفسر ذلك إلى تفوق في سطوح الادمصاص وطاقة الادمصاص مقارنة بالشكل Ca-P.

ارتفعت نتائج الفوسفور المتاح في التربة الكلسية في جميع مستويات الإضافة من الـ TSP، وكانت قيم مجموع الفوسفور المتاح للامتصاص من قبل جذور النبات كنسبة مئوية مما هو مضاف 76.6، 85.5، 100.8، 100.5، و74.6% في المعاملات الإضافة 20، 40، 60، 80 و100 مغ/P تربة، ويوضح الشكل (6) توزع الفوسفور المضاف كنسبة مئوية بين معدني (NaHCO₃-MRP + Resin-P) وبين عضوي (NaHCO₃-Po). بينما يعود ارتفاع قيم مجموع ما هو متاح من الفوسفور المتاح في معاملة الشاهد للزمن 240 يوم لارتفاع قيم الفوسفور المتاح بشكله العضوي NaHCO₃-Po (جداول 6 و 7)، وربما يعود ذلك لزيادة النشاط الحيوي بعد مرور 240 يوم من التحضين (Chauhan et al., 1981) حيث أن زيادة نشاط الميكروبات ستؤدي لتحولات بيوكيميائية في التربة مما يزيد بالمحصلة من معدنة جزء من الـ Po المرتبط مع الكالسيت (recalcitrant) (Nziguheba et al., 1998).

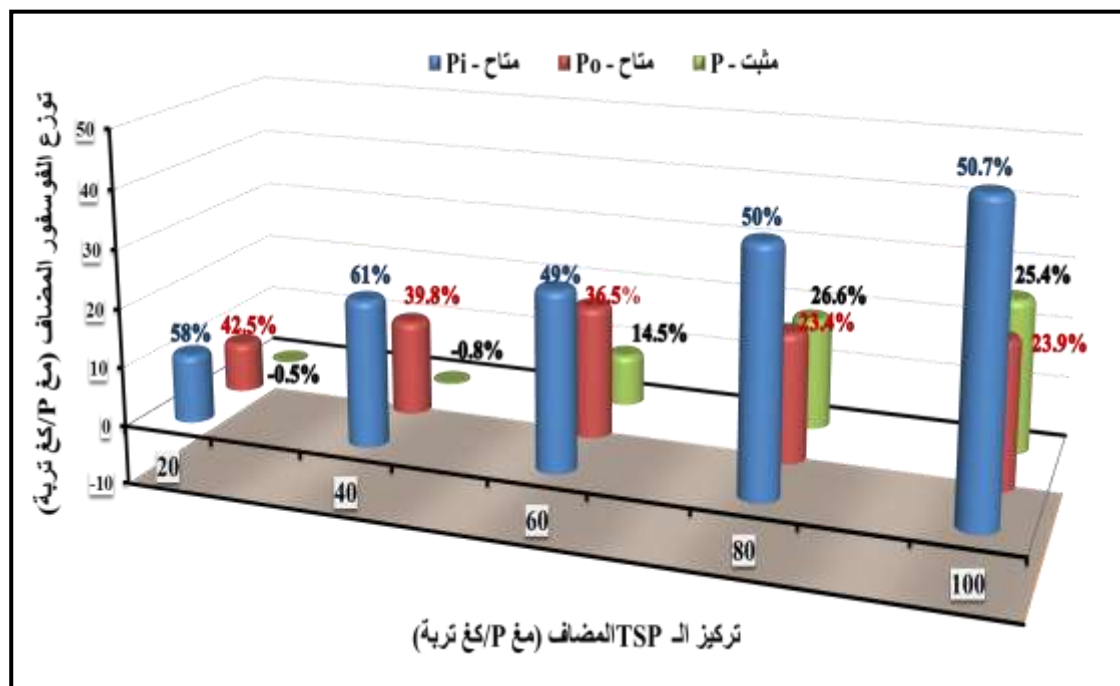
جدول 7: توزع الفوسفور العضوي في التربة الكلسية الحمراء في زمن التحضين 240 يوم

مع سداد السوبر فوسفات (TSP) بتركيز تتدرج بين 0 و 100 مغ/P تربة. القيم هي متوسطات الثلاثة مكررات.

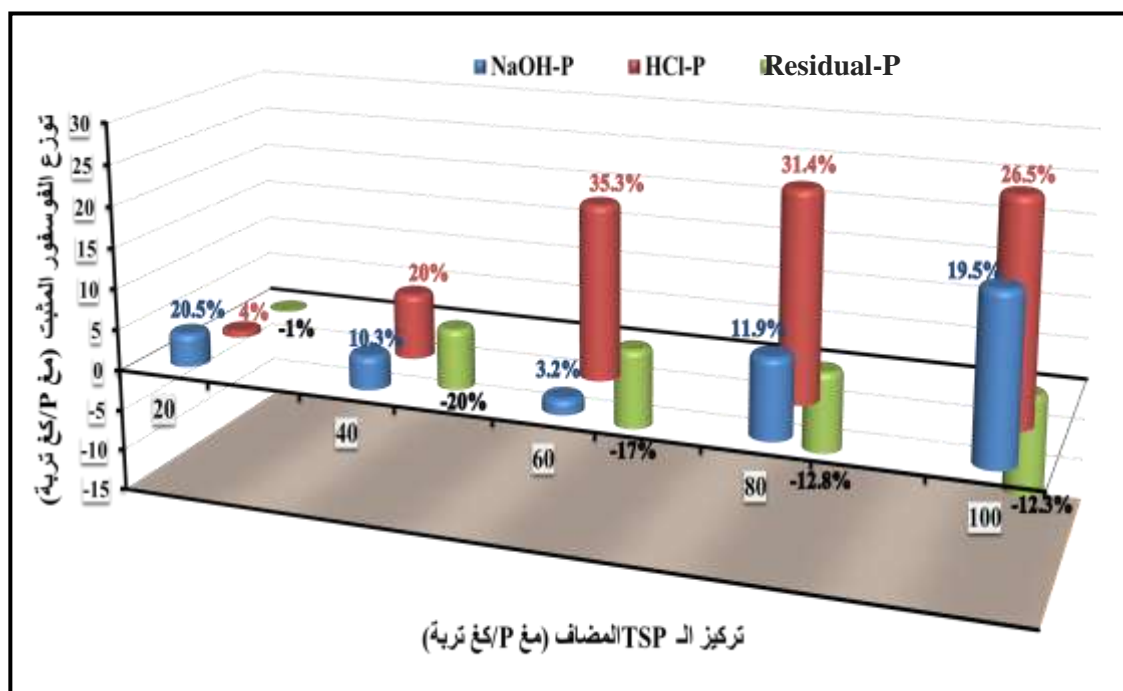
Residual -Po (مغ/P كغ تربة)	NaOH -Po (مغ/P كغ)	NaHCO ₃ -Po (مغ/P كغ)	Total -Po (مغ/P كغ)	الزمن (يوم)	TSP (مغ/P كغ تربة)
20.2	11.7	0.7	32.6	0	
-7.3	31.0	12.6	36.3	240	0
-17.5	33.0	21.1	36.6		20
-3.0	33.0	28.5	58.5		40
-38.3	29.8	34.5	26.0		60
-24.7	35.3	33.9	44.5		80
-32.7	44.3	36.5	48.1		100

لم تتغير قيم الفوسفور المتاح المتواجد بصورته المعدنية (NaHCO₃-MRP + Resin-P) نسبةً من الفوسفور المضاف بعد ظروف تحضين 240 يوم وفي كل معاملات الإضافة من الفوسفور، فقد تراوحت بين 60% في المعاملتين 20 و 40 مغ/P تربة، وتنخفض إلى حدود 50% في معاملات الإضافة 60 إلى 100 مغ/P كغ تربة. بينما ظهرت التبدلات في الجزء المتاح بشكله العضوي بحيث تكون أعلى في معاملة الإضافة 20 مغ/P كغ وهي 42.5% وتنخفض تدريجياً مع زيادة معدل الإضافة إلى 100 مغ/P كغ تربة (شكل 6). ويتعرض الفوسفور المضاف للتثبيت بدءاً من معدل الإضافة 60 مغ/P كغ حيث تكون نسبة الفوسفور المثبتة من المضاف 14.5%، وتزداد لتصبح 25.4% عند معدل الإضافة 100 مغ/P كغ، ويمكن التعبير عنها بقيم حقيقية بحوالي 8.7، 18.7 و 25.4 مغ P من كل 60، 80 و 100 مغ P أضيفت لـ كغ لتربة.

يتبين من الشكل (6) أن الفوسفور المتواجد في معادن التربة (Residual-P) والذي يعبر عنه بالقيم السالبة الناتجة قد توضع في كل من الشكلين اللذين تم استخلاصهما بمحلول NaOH و HCl-P، مع تفوق الجزء المرتبط بالكالسيوم Ca-P مقارنة بما تثبت حديثاً على سطوح الأكاسيد والهيدروكسيدات أو ما قد ارتبط مع المعقدات العضوية ذات الأوزان الجزيئية العالية.



شكل 6: توزيع الفوسفور المضاف في التربة الكلسية الحمراء في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري من المعدل المضاف.



شكل 7: توزيع الفوسفور المثبت في التربة الكلسية الحمراء في زمن التحضين 240 يوم. تشير قيم النسب المئوية فوق الأعمدة إلى النسبة التي يشكلها الشكل الفوسفوري المثبت من المعدل المضاف.

لقد بين الجدول (7) تحرر للفوسفور العضوي الموجود في الـ Residual-Po نتيجة لنشاط ميكروبات التربة، وينتجتها يتحرك الفوسفور المتبقي باتجاه الأشكال الأخرى المعدنية منها والعضوية. يتحكم بحركية الفوسفور في الترب

الكلسية بواسطة مركبين معدنيين هامين هما الكالسيت وأكاسيد الحديد (Matar et al., 1992)، حيث تساهم أكاسيد الحديد وأوكسي هيدروكسيد الحديد المتبلورة بنسبة كبيرة في ادمصاص Sorption الفوسفور في الترب الكلسية (Matar et al., 1992; Ryan et al., 1985).

يقتصر تقدير الـ Po عادةً وفقاً للطرق المقترحة من قبل (Hedley et al., 1982) في المستخلصات القلوية (NaOH و NaHCO₃)، ووفقاً للدراسات التي أجريت على الترب الكلسية يكون الـ Po مرتبطاً إيجابياً مع محتواها من الكالسيوم (Harrison, 1987)، فيما أقرت He وزملاؤها (2006) أن المستخلص الحامضي IMHCl المستخدم في طرق استخلاص المتتابع لـ (Hedley et al., 1982) يمكن أن تحتوي على كميات جيدة من Po. بينما ثبت بدراسة أخرى (Linguist et al., 2011) أن كمية P في HCl-Po تختلف بحسب تصنيف الترب. لم تتطرق دراستنا على هذا الجزء من الفوسفور العضوي حيث تمت دراسة ديناميكية الفوسفور في الترب من الناحية الخصوبية فتركز الاهتمام على الجزء المعدني والعضوي الهام في تغذية النبات.

الإستنتاجات والتوصيات:

1. ارتفع تركيز الفوسفور المتاح في كل المعاملات المسمدة بالفوسفور والغير مسمدة وذلك لجميع الترب المدروسة بعد 240 يوم تحضين، بينما اختلفت الزيادة في الأشكال اللاعضوية للفوسفور المستخلصة بـ NaOH 0.5M و HCl 1M بحسب خواص كل تربة.
2. تركزت أغلب تحولات الفوسفور بعد 240 يوم من التحضين في الجزء العضوي المتبقي في التربة Residual-Po حيث تحولت لأشكال أخرى معدنية أو عضوية أكثر إتاحة للنبات. بينما اختلفت حركتها باتجاه الأشكال الأخرى من سطوح ادمصاص بحسب الخواص الفيزيائية والكيميائية لهذه الترب.

المراجع:

1. رقية عادل. الخصائص المنشئية وتصنيف ترب Cinnamonic. موسكو. 1991، 253 صفحة.
2. AYAGA, G., TODD, A., BROOKES P.C. *Enhanced biological cycling of phosphorus increases its availability to crops in low-input sub-Saharan farming systems.* Soil Bio Biochem. 38, 2006. 81-90.
3. BERTRAND, I., HOLLOWAY, R.E., ARMSTRONG, R.D., MCLAUGHLIN, M.J. *Chemical characteristics of phosphorus in alkaline soils from southern Australia.* Australian Journal of Soil Research, 41. 2003. 61-76.
4. BOYLE, F.W. Jr. and W.L. LINDSAY. *Manganese phosphate equilibrium relationships in soils.* Soil Sci. Soc. Am. J. 1986. 505-593.
5. BRADY, N.C and WEIL, R.R. *The Nature and Properties of Soils.* 14th ed; Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. 2008. 490.
6. CELI, L. and BARBERIS, E. *Abiotic stabilization of organic phosphorus in the environment.* In: B.L. Turner et al., editors, *Organic phosphorus in the environment.* CABI Publ; Wallingford, UK. P.2005. 113-132.
7. CHAUHAN, B.S; STEWART, J.W.B.; PAUL, E.A. *Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils.* Can J Soil Sci, 61, 1981. 373-385.

8. CROSS, A.F. and W.H. SCHLESINGER. *Biological and geochemical controls on phosphorus fractions in semiarid soils*. Biogeochemistry, 52, 2001. 155-172.
9. DEVAU, N; HINSINGER, P; CADRE, E; GERARD, F. *Root-induced processes controlling phosphate availability in soils with contrasted P-fertilized treatments*. Plant and Soil, 348, 2011, 203-218.
10. FILEP, G. *Solubility and redox equilibrium*. In *Soil chemistry: processes and constituents* Budapest: Akademiai Kiado. 1999, (pp. 179).
11. HAGIN, J and TUCKER, B. *Fertilization of dry land and irrigated soils*, Springer-Verlag, New York 1982, 5–90.
12. HE, Z; OHNO, T; CADE-MENUN, B.J; ERICH, M.S; HONEYCUTT, C.W. *Spectral and chemical characterization of phosphates associated with humic substances*. Soil Science Society of American Journal, 70, 2006, 1741– 1751.
13. HEDLEY, M. J.; STEWRAT, J. W. B.; CHAUHAN, B. S. *Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations*. Soil Sci. Soc. Am. J, 46, 1992. 970–976.
14. HENS, M. and MERCKX, R. *Functional characterization of colloidal phosphorus species in the soil solution of sandy soils*. Environmental Science and Technology, 35, 2001. 493–500.
15. HOUSE, W.A and DENISON, F.H. *Exchange of inorganic phosphate between river waters and bed-sediments*. Environ. Sci. Technol. 36, 2002. 4295-4301
16. HAU, YAQIONG. *The Effects of Oxidation-Reduction Potential on the Solubility of Phosphorus in Agricultural Water Management Systems*. A thesis submitted of Master of Science. McGill University. 2008, 1-63.
17. IVANOVA, A. L. and SHAKHZHAKBAN, M. *Inactivation and mobilization of phosphates in soils*. Eurasian Soil Sci. 25, 1993, 37–45.
18. KUO, S. *Phosphorus*. In “*Methods of soil analysis*” Part 3- *Chemical methods*, SSSA Book Series No. 5. Madison, Wisconsin. 1996, pp. 869-919.
19. LINDQUIST, I.; JOHANSSON, I.; SEVERINSSON, E. *Evaluation of process-oriented supervision of student nurses: A Swedish case study*. Nursing & Health Sciences. 4(1), 2011, 2-7.
20. MATAR, A; TORRENT, J; RYAN, J. *Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dry land Mediterranean zone*. Adv. Soil Sci. 18, 1992, 81-146.
21. MATAR, E.; M. SAXENA, and S. N. SIHIM. *Soil testing as a guide phosphate fertilization of five legumes in Syria*. 1988
22. MCGILI, W.B. and COLE, C.V. *Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter*. Geoderma. 26, 1981, 267-286.
23. NZIGUHEBA, G.; PALM, C.A; BURESH, R.J. and SMITHSON, P.C. *Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources*. Plant Soil. 198, 1998, 159–168
24. OLSEN, S.R.; COLE, C.V; WATNABE, F.S. and DEAN, L.A. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. United States Department of Agriculture Circular, No. 1954, 939.
25. PIERZYNSKI, G.M; MCDOWELL, R.W.; SIMS, J.T. *Chemistry, cycling, and potential moment of inorganic phosphorus in soils*. Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Inc, Madison, WI. 2005, pp 53–86.
26. REDDY, K.R., R.G. WETZEL, and R.H. KADLEC. *Biogeochemistry of phosphorus in wetlands*. In: *J.T. Sims and A.N. Sharpley, editors, Phosphorus: Agriculture*

and the environment. Agron. Monogr. 46. ASA, CSSA, and SSSA, Madison WI. 2005, p 263–316

27. REDEL, Y., RUBIO, R., GODOY, R., BORIE, F. Phosphorus fractions and phosphatase activity in an Andisol sampled under different forest ecosystems. *Geoderma*. 145, 2008. 216–221.

28. REDLE, Y.D.; ESCUDEY, M.; ALVEAR, M.; CONRAD, J.; BORIE, F. *Effects of tillage and crop rotation on chemical phosphorus forms and some related biological activities in a Chilean Ultisol*. *Soil Use Manage.* 27, 2011, 221-228.

29. RUNGE-METZGER, A. Closing the cycle: obstacles to efficient P management for improved global security. In H Tiessen, ed, *Phosphorus in the Global Environment*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK. 1995, 27–42.

30. RYAN, J.; HASSAN, H. M; BASSIRI, M. and TABBARA, H. S. *Availability and Transformation of Applied Phosphorus in Calcareous Lebanese Soils*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49. 1985, 1215-1220.

31. RYAN, J.; YAN, J.; ESTEFAN, G.; RASHID, A. *Soil and Plant Analysis Laboratory Manual*2. ICARDA. NARC. 2003, 172p.

32. SCALENGHE, R.; EDWARDS, A. C.; BARBERIS, E. AJMONE; MARSAN, F. *The influence of pulsed redox conditions on soil phosphorus*. *Biogeosciences Discuss.* 7, 2010, 9009–9037.

33. SCHWERTMANN, U. and TAYLOR, R.M. *Iron Oxides In Minerals in soil environment*, 2nd edn. Eds J B Dixon and S B Weed. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. 1989, 379-438 pp.

34. SHARPLEY, A.N. & REKOLAINEN, S. *Phosphorus in agriculture and its environmental implications*. In: *Phosphorus loss from soil to water* (eds H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston). 1997, pp. 1–53.

35. SKINNER, B.J. *Earth resources. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States.* 76, 1979, 4212–4217.

36. TARANTO, M.P.; MEDICI, M.; PERDIGON, G.; RUIZ HOLGADO, A.P; VALDEZ, G. Effect of *Lactobacillus reuteri* on the prevention of hypercholesterolemia in mice. *J Dairy Sci.* 2000, 83(3), 401-403

37. WANG, W; B. T. ANDERSON; N, PHILLIPS; K, KAUFMANN; C, POTTER and R. B, MYNENI. *Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American Grasslands*. Part I: Statistical analysis. *Earth Interactions*, 2006, 10, in press.

38. WHITE, R. E. *Retention and Release of Phosphate by Soil Constituents*. In: *Soil and Agriculture. Critical Reports on Applied Chemistry*, Vol. 2 P. B. Tinker (ed). Oxford, Blackwell Scientific Publications. 1981, pp: 71-114.

39. YANG, X. and POST, W. M. *Phosphorus transformations as a function of pedogenesis. A synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method*, *Biogeosciences.* 8, 2011, 2907–2916.