تأثير المادة العضوية في حركية الفوسفور وانغساله عبر آفاق التربة في الزراعة المحمية: دراسة أعمدة

صبا سعيد*[1] وغياث علوش[1] وجهاد ابراهيم[1]

[1] قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة اللاذقية، سورية.

(*للمراسلة: م. صبا سعيد، البريد الإلكتروني: siba.saeed29@gmail.com)

تاريخ الاستلام: 12/7 / 2025 تاريخ القبول: 03/12 / 2026

الملخّص

أجريت الدراسة في أعمدة (قطر 25 سم ملئت بتربة لومية لعمق 40 سم) في بيت بلاستيكي في موقع جامعة اللاذقية عام 2021، بإضافة ثلاث مستويات من المادة العضوية OM (زبل الأبقار المتخمر 0– 4 و8%)، ووزعت الأعمدة وفق التوزع العشوائي الكامل. هدفت التجربة إلى تقصي تأثير OM في حركة الفوسفور عبر آفاق التربة (10 – 20 و30 سم) باستخدام الليزومترات (Lysimiters)، وشكّل العمق 40 سم الماء المنغسل، وذلك أسبوعياً ولمدة 70 يوماً. كما تم سحب عينات من التربة في الآفاق المدروسة وأجري عليها تجزئة للفوسفور لتتبع حركية الفوسفور وتحولاته في التربة. للمادة العضوية دور في زيادة تركيز MRP (الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات) في محاليل التربة للأعماق المدروسة، وتزداد التراكيز مع زيادة معدل اضافة OM، كما ساهمت OM في حركة الفوسفور العضوي حيث كان التركيز الأعلى له في الأفقين 20 و30 سم، والذي ارتبط بعلاقة خطية وثيقة مع الكربون العضوي. ساهمت OM في بقاء الفوسفور المضاف متاحاً للنبات، وذلك بزيادة تراكيز الفوسفور المتاح بيولوجياً والعضوي والمتبادل، وحقق المعدل 8% OM أعلى تركيز في كل عمق. بلغت الكمية الإجمالية المنغسلة من الفوسفور الكلي الذائب في ماء الصرف بعد 70 يوم من عمر التجربة 25.3 – 62.4 و96.2 مغ TDP/عمود لمعاملات المادة العضوية 0– 4 و8%، على التتالي، الأمر الذي يشكل خطراً بيئياً على المسطحات المائية القريبة.لقد عزيت الزيادة في حركة الفوسفور إلى الادمصاص التنافسي والتعقيد العضوي وتحسين النشاط المكروبي بتأثير إضافة المادة العضوية.

الكلمات المفتاحية: تجزئة الفوسفور، المادة العضوية، الفوسفور المتاح، انغسال–P، الكربون الذائب.

المقدمة:

يمكن أن يتحرك الفوسفور (P) من التربة السطحية في أشكال غير عضوية وعضوية. وأظهرت العديد من الدراسات أن الفوسفور غير العضوي (الأورثوفوسفات) يمكن أن يتسرب إلى العمق في بعض الترب، وإن الحديث عن الفوسفور المعدني وحركته آخذ بالتناقص في حين لا يُعرف سوى القليل عن الفوسفور العضوي الذائب (DOP, Dissolved organic P). لقد تمت الإشارة إلى أن DOP أكثر حركة وبتراكيز أكبر من الفوسفور المتفاعل الذائب (DRP, Dissolved reactive P) (Giles *et al*., 2011)،

بينما وجد آخرون العكس (Berg and Joern, 2006). وقد نُسبت حالات الامتصاص الأكبر وانخفاض انغسال DOP من خلال التربة السطحية إلى وجود مجموعات فوسفات متعددة، كما هو الحال في سداسي فوسفات الإينوزيتول (Giles *et al*., 2011) في حين من المرجح أن تكون مركبات DOP الأخرى مثل ثنائي الأسترات ضعيفة الامتصاص وبالتالي أكثر حركة من DRP (McDowell and Koopmans, 2006). وقد وجدت بعض الدراسات أيضًا أن DOP بشكل (96٪ من إجمالي الفسفور) في مياه شبكات الصرف الزراعي التي تقع عادةً على عمق 0.5–1 متر تحت سطح التربة (Andersen *et al*., 2016).

وإذا كان DOP شديد الحركة، فقد يكون من الممكن أن يتسرب إلى المياه الجوفية. وبالتالي يصبح الفوسفور العضوي (Po) مصدراً متاحاً للفوسفور للأحياء الدقيقة في النظم البيئية المائية (MacDowell *et al*., 2021)، فالتسميد الفوسفاتي أمر مرغوب فيه للغاية (Becher et al.,2020)، كونه يعتبر من العناصر الأساسية وضرورية لتأمين الاحتياجات الغذائية للنباتات، ولكن من ناحية أخرى، يمكن أن يشكل أيضًا تهديداً من حيث التغذية المفرطة بكميات زائدة (Becher *et al*., 2020).

يؤدي الإفراط في استخدام الفوسفور في إنتاج النباتات إلى تراكم الفوسفور في التربة ويخلق خطرًا من حيث خسائر الفسفور في المسطحات المائية (Zhou *et al*., 2021 ؛Rowe *et al*., 2016). وهنا لا بد من الإشارة إلى أنه في البيوت البلاستيكية حيث يتم اعتماد الزراعات التكثيفية على مدار العام وسعي المزارع في المقام الأول إلى الربحية، وعليه تتم الإضافات السمادية المعدنية والعضوية بشكل غير مدروس، وهذا ربما يكون له أثر في زيادة المنغسل من العناصر وخاصة الفوسفور، ولاسيما الفوسفور العضوي (Po, Organic-P) وقد تم التأكيد على أهميته، وإمكانية حركته عبر آفاق التربة وصولاً إلى بيئات الماء العذب (MacDowell *et al*., 2021).

يعتبر ضياع الفوسفور مع ماء الصرف ذو أهمية قصوى في الأراضي المسمدة بكثافة في المناطق الزراعية، فتحرك الفوسفور والتبدلات في أشكاله الأيونية سوف تعتمد على مصدر التسميد العضوي، ومن المرجح أن تلعب كل من كمية ونوعية المواد العضوية والظروف التي يحدث فيها ادمصاص الفوسفور دوراً حاسماً في هذه العملية مما يؤثر على ارتباطه بالتربة، اعتماداً على الظروف البيئية وخصائص وجودة المواد العضوية (Sokolowska *et al*., 2011)، وكذلك درجة تشبع التربة بالفوسفور ضمن أفق التربة. ففي دراسة أجراها Giles وآخرون (2015) امتدت لـ 10 أسابيع تم خلالها تتبع حركة الفوسفور مع ماء الصرف، وتبين في الأسبوع الرابع من الدراسة أن صرف الفوسفور (بشكليه المعدني والعضوي) كان أعظمياً وكان ذلك واضحاً عند ظروف إشباع التربة بالفوسفور (P-saturated condition). وفي الحالات التي لا يكون فيها تشبع لمواقع الادمصاص فهي ستتعرض لتنافس مع الأحماض العضوية على هذه المواقع (Guppy *et al*. 2005)، وفي هذه الحالة، قد يحدث تسرب للفوسفات.

من المفترض أن تؤدي العلاقة التنافسية بين المواد العضوية في التربة والفوسفور إلى زيادة توفر الفوسفور نتيجة لحجب مواقع الامتصاص للفوسفور بواسطة مكونات المواد العضوية (Wang *et al*., 2016). وقد فسر الباحثون زيادة إنغسال الفوسفور في معاملات المادة العضوية إلى النشاط الميكروبي والمعقدات العضوية–المعدنية وتغليف (Coating) مواقع ادمصاص الفوسفور على حبيبات الطين بالمركبات العضوية، إضافة إلى تفاعل الفوسفور مع كل من الكالسيوم والألمنيوم (Tarkalson and Leytem, 2009).

تختلف حركية الفوسفور وتحولاته في التربة الزراعية تبعاً لخواص الترب وللتغيرات في خصائصها التي تتغير وفقاً لإدارة التربة (Nobile *et al*., 2020). حيث لا تؤثر فقط معدلات التسميد الفوسفاتي وإنما سعة ادمصاص الفوسفور في التربة السطحية وتحت السطحية (Rashmi *et al*., 2017). ففي دراسة حقلية مترافقة مع دراسة أعمدة تمت فيهما إضافة روث الأبقار لمقارنة الفوسفور

العضوي في ماء الصرف وتبين أن Po قد شكل قيمة أكبر من 90% من الفوسفور الكلي المنغسل من الأعمدة التي تلقت إضافة من المادة العضوية، وقيمة أكبر من 70% من الفوسفور الكلي المنغسل في تربة الحقل والتي جمعت باستخدام الليزومترات (Chardon *et al.*, 1997). أن الإضافة المتكررة من الفوسفور العضوي تزيد بشكل مهم من الفوسفور العضوي المنغسل إلى الماء الجوفي (Wang *et al.*, 2022). وكون الدمج بين السماد العضوي والسماد المعدني بالفوسفور أصبح ممارسة شائعة للتسميد (Liu *et al.*, 2020)، الزراعة المكثفة في الزراعة المحمية مثالاً، فهي تحدد حركة أشكال الفوسفور عبر الآفاق، ويعد استقصاءها اجراء مفيد يساهم في معرفة مصير الفوسفور المضاف، وماهو متاح للنبات؟ وماهو متفاعل مع مكونات التربة؟ وهذا يمكن الحصول عليه من خلال عملية التجزئة للفوسفور في التربة وذلك باستخدام محاليل استخلاص بشكل متتابع لتحديد أشكال الفوسفور ومعرفتها كمّاً ونوعا (Hedley *et al.*, 1982).

أهمية وأهداف الدراسة:

أُجريت هذه الدراسة لتقصي دور المادة العضوية في حركية عنصر الفوسفور المضاف وانغساله نتيجة لبرامج تسميد البندورة المتبعة في الزراعة المحمية في سورية. لقد هدفت هذه الدراسة إلى تقصي:

1. تقييم مدى تأثير المادة العضوية بمستويين (4 و8%) في حركة الفوسفور بأشكاله الأيونية المختلفة عبر آفاق التربة.
2. تقييم توزيع الفوسفور (P) على أعماق مختلفة من التربة من خلال تجزئة الفوسفور المتتابع الأمر الذي يوفر رؤية واضحة نسبياً حول توافر الفوسفور وأشكاله ضمن مقطع التربة.
3. ربط الأشكال الفوسفورية المتحركة بالانغسال الكمي وما قد يسببه من مخاطر على بيئة المياه.

مواد وطرائق العمل:

- *وسط الزراعة:*

1. **التربة:** جمعت التربة من الطبقة السطحية 0–30 سم من قرية الهنادي التي تبعد 10 كم جنوب شرق مدينة اللاذقية.
2. **الزبل البلدي:** عبارة عن زبل أبقار تم الحصول عليه من مبقرة جب رملة – الغاب التابعة للمؤسسة العامة للمباقر.

أزيلت الشوائب من أعشاب وحصى من التربتين والزبل البلدي، جُففت هوائياً، طُحنت لتمر من منخل ذو فتحات 4 ملم، بينما الزبل تم تنخيله عل أقطار 2 ملم وحفظت في أكياس لحين الاستخدام.

زرعت التربة لموسم واحد باستخدام الأعمدة في البيت البلاستيكي بالبندورة وخضعت للتسميد الأساسي واللاحق خلال موسم النمو (نيسان–تموز 2021) وفق البرنامج التسميد المشار له لاحقاً.

خضعت التربة والزبل البلدي للتحليل المخبري لتحديد أهم الخواص الخصوبية ومحتواها من العناصر الغذائية (Ryan *et al.*, 2001)، والتي يوضحها الجدول (1).

الجدول (1): الخواص الخصوبية لتربة الدراسة وزبل الأبقار. القيم هي متوسط ثلاث عينات أخذت عشوائياً.

الخواص		تربة الهنادي	زبل أبقار
تحليل ميكانيكي (%)	طين	20.23	-
	سلت	2.91	-
	رمل	76.86	-
	نوع التربة *	لومية L	-
	pH (2.5:1 تربة:ماء)	7.52	7.71
	EC (2.5:1 تربة:ماء) ميليموس/سم	0.165	8.84
	C-عضوي (%)	0.88	24.94

	(%) OM	1.5	43.0
	(%) $CaCO_3$	1.17	20.75
	CEC (ميليمكافىء/100 غ تربة)	21.85	-
الآزوت	(%) TN	0.074	1.213
	NO_3(مغ/كغ تربة)	56.1	
	NH_4(مغ/كغ تربة)	20.0	
العناصر المتاحة (مغ/كغ تربة)	P	18.1	1020.3
	K	201.4	592.5
	Ca	4240	4053
	Mg	624	2544
	C/N	11.69	20.56

ملاحظة: تم تحديد نوع الترب باستخدام مثلث القوام الألماني (TGL 24300/05) (1985).

التربة ذات pH وEC مناسبتين لزراعة البندورة، وذات محتوى عالي من العناصر الغذائية (Mg, Ca, K, P, N)، وذات محتوى منخفض من المادة العضوية، وزبل الأبقار ذو درجة تخمر جيدة حيث أن نسبة N/C 20.56 ومحتوى جيد من العناصر الغذائية الكبرى.

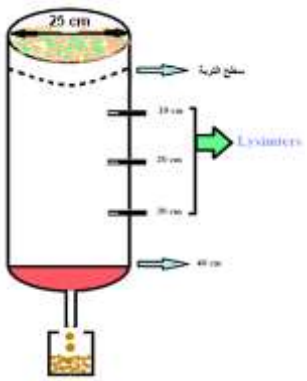
- **معاملات التجربة:**

تضمنت التجربة وسط للزراعة عبارة عن تربة وتحت ثلاث مستويات من التسميد العضوي بالزبل البقري 0 و4 و8%، وهي النسب التي تستخدم من قبل المزارعين، وبالتالي كان هنالك 3 معاملات وبثلاثة مكررات مما يجعل عدد الأعمدة الكلي 9 أعمدة.

وسط الزراعة	زبل الأبقار (%)	المكررات	عدد الأعمدة الكلي
تربة (Soil)	(S)0		
	($S+OM_1$)4	3	9 = أعمدة
	($S+OM_2$)8		

- **تصميم التجربة:**

تمّ تصميم تجربة لزراعة البندورة في أعمدة في لدراسة حركة الفوسفور في أفق التربة وكذلك كميات الفوسفور والكربون العضوي المنغسلة مع ماء الصرف. الأعمدة المستخدمة بلاستيكية بسماكة 7 ملم وقطرها 25 سم وارتفاع الأعمدة 50 سم. يوضح الشكل (1) تصميم الأعمدة التي تنتصب على حوامل خشبية ويتم استقبال ماء الصرف في أوعية بلاستيكية أسفل الأعمدة. وضعت الليزومترات (Lysimters) على الأعماق 10 – 20 و30 سم لسحب محلول التربة ودراسة تبدلاته وحركية الفوسفور في أفق التربة. يمثل العمق 40 سم ماء الصرف.



الشكل (1): تصميم أعمدة الزراعة في البيت البلاستيكي بنظام التربة

- **تصنيع الليزومترات:**

تم تصنيع الليزومترات (Suction Lysimeters') في المخبر وذلك باستخدام معدن طين الكاولينايت النقي بطول 4 سم مجوفة بقطر داخلي 2 مم، وسماكة جدرانها 3 مم. يتم أولا تحضير عجينة مع الماء المقطر ويتم تشكيلها كما في (الصورة 1) تجفف هوائياً ومن ثم يتم تحويلها إلى فخار بالحرق على درجة حرارة 1100 °م، يتم في البداية رفع درجة حرارة المرمدة بمعدل 100°م كل نصف ساعة حتى 400 °م ومن ثم ترفع إلى درجة الحرارة 1100 °م لمدة 8 ساعات متواصلة. تترك الليزومترات لتبرد في المرمدة إلى درجة الحرارة 100 °م قبل إخراجها الصورة (1). يتم وصل فوهات الليزومترات بأنابيب شفافة باللاصق ويتم وضع سيرنغ (Syring) تحت قوة تفريغ لضمان آلية عملها بقدرتها تحت التفريغ على سحب المحلول وليس الهواء الصورة (1).

الصورة (1): مراحل تصنيع الليزومترات (Lysimter) في المخبر.

- **البرنامج التسميدي:**

تمّ خلط الأسمدة الأساسية من نترات الأمونيوم (33% N)، سوبر فوسفات الثلاثي (46% P_2O_5)، وسلفات البوتاسيوم (50% K_2O) وذلك بالكميات التي يشير لها الجدول (2) لجميع الأعمدة، وتمت إضافة الزبل البقري بالنسب 0، 4، و8% بحسب المعاملة. بلغ وزن التربة التي تتسع لها الأعمدة 25 كغ في معاملات الشاهد بدون تسميد عضوي، وتمت إزاحة وزن الزبل البقري المضاف من وزن التربة 1 كغ تربة في المعاملات 4% مادة عضوية و2 كغ في المعاملات 8% مادة عضوية). مُلئت الأعمدة لارتفاع 40 سم مع الرص لتحقيق كثافة ظاهرية تقارب 1.25 غ/سم^3.

الجدول (2): البرنامج التسميدي المتبع في دراسة الأعمدة.

الإضافات السمادية/العمود الواحد	بعد التشتيل (أسبوع)
سوبر فوسفات مثلث (TSP, 46% P_2O_5)=25غ سلفات البوتاسيوم (50% K_2O)= 20 غ نترات الأمونيوم (33% N)= 20 غ	تسميد أساسي 0 – 4 – 8% زبل بقري بحسب المعاملة
عالي الفوسفور K_2O–P_2O_5–N(13:40:13) = 2 غ	2
عالي الفوسفور K_2O–P_2O_5–N (13:40:13) = 2 غ	4
متوازن K_2O–P_2O_5–N (20:20:20) = 2 غ	6
متوازن K_2O–P_2O_5–N (20:20:20) = 2 غ	8
متوازن K_2O–P_2O_5–N (20:20:20) = 2 غ	10

عالي البوتاس $K_2O–P_2O_5–N$ (30:15:15) = 2 غ	12
عالي البوتاس $K_2O–P_2O_5–N$ (30:15:15) = 2 غ	14
عالي البوتاس $K_2O–P_2O_5–N$ (30:15:15) = 2 غ	16 – النهاية

- ***الزراعة والعناية بالتجربة:***

خضعت الأعمدة بعد ملئها بالتربة للسقاية يومية بمعدل 1 ليتر بالتنقيط للسماح للتربة للتموضع البنائي، واستمرت عملية الري حتى بدء ظهور قطرات ماء الصرف في العبوات أسفل الأعمدة. تُركت التربة للتوازن لمدة أسبوعين قبل زراعة شتول البندورة (صنف هجين روز)، وهي شتول متجانسة بعمر 4–6 أوراق حقيقية. تمّت الزراعة بتاريخ 2021/4/15.

الري: تمّ ترطيب تربة الأعمدة بمعدل مرتين أسبوعياً في مراحل النمو الأولى حتى ظهور العنقود الزهري الثالث، ومن ثم كل يومين حتى نهاية التجربة.

- ***التحاليل المخبرية لماء الصرف ومحلول التربة:***

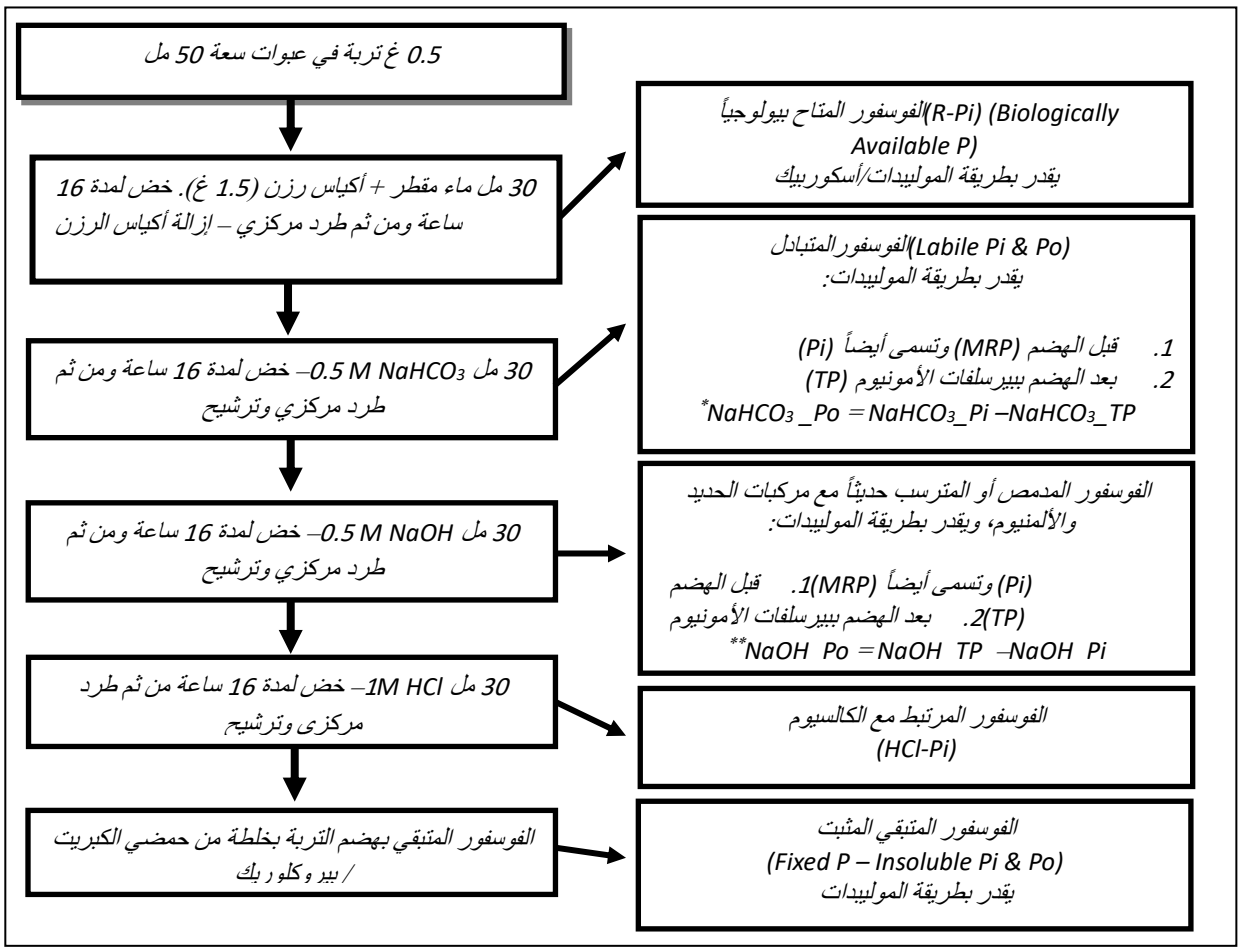
تمّ جمع ماء الصرف (بعد 40 سم من عمق التربة) ومحلول التربة باستخدام الليزومترات على الأعماق 10– 20– و30 سم مرة كل أسبوع بعد ريّه بالتنقيط بمعدل تراوح بين 1 ليتر في المراحل الأولى لعمر النبات وحتى 5 ليتر في المراحل المتقدمة الثمرية للنباتات. فالراشح في الأسبوع الأول كان بعد ري بدون تسميد ومن ثم مع التسميد في الأسبوع الثاني، وهكذا بالتناوب حتى الأسبوع العاشر (حتى اليوم 70 من عمر التجربة) كما هو مشار له في الجدول (2).

سُجل حجم ماء الري المستخدم في كل عمود وقياس كمية الماء الراشح بعد 12 ساعة من الري الذي تم استقباله في عبوات أسفل الأعمدة. تمّ إجراء التحاليل المخبرية التالية على ماء الصرف:

- تقدير الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات (MRP) بطريقة الموليبدنيوم الأزرق (Ryan *et al*., 2001)
- تقدير الفوسفور الكلي (TP) بعد الهضم بحمض الكبريت وبيرسلفات الأمونيوم بطريقة الموليبدنيوم الأزرق (Hedley *et al*., 1982).
- تقدير الكربون العضوي بالطريقة اللونية باستخدام ديكرومات البوتاسيوم المعدلة والقياس على جهاز الطيف الضوئي عند طول موجة 600 نانومتر (Sims and Haby, 1971)

- ***تجزئة الفوسفور في عينات أعماق التربة 10 و20 و30 سم:***

تم سحب عينات التربة من الأعماق 10 و20 و30 سم باستخدام مسبر قطر 1 سم من فتحات جانبية وذلك على كامل مقطع التربة 25 سم وهو قطر العمود. جففت عينات التربة هوائياً وطحنت لتمر من منخل 100 mesh (160 ميكرون)، تحضيرا للاستخلاص المتتابع (Soil P-Fractionation) بحسب طريقة (Hedley *et al*., 1982). يوضح المخطط 1، خطوات الاستخلاص المتتابع للفوسفور.



المخطط (1): خطوات الاستخلاص المتتابع للفوسفور المتاح في التربة (Hedley, *et al.*, 1982).

*NaHCO$_3$-P = الفوسفور المستخلص بواسطة محلول البيكربونات *0.5M* NaHCO$_3$

**NaOH-Po = الفوسفور العضوي المتواجد في مستخلص الماءات *0.5M* NaOH.

خضعت العينات للاستخلاص المتتابع للفوسفور (Hedley, *et al.*, 1982)، وذلك بأخذ 0.5 غ من التربة، تخض بـ 30 مل من محلول الاستخلاص لمدة 16 ساعة والطرد المركزي لمدة 15 دقيقة بسرعة 5000 دورة/دقيقة المخطط (1) 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 للطرد المركزي والتخلص من الرائق. تتم إزاحة الفوسفور المدمص على الرزن بخض أكياس الرزن ب 30 مل من HCl *0.5M* لمدة 2 ساعة ويحفظ المحلول لقياس الفوسفور المعدني (Inorganic P, Pi)، ويعاد تنشيط الرزن بنقع أكياسه بمحلول NaHCO$_3$ *0.5M* لمدة 48 ساعة على الأقل، ومن ثم الغسيل بالماء المقطر حتى تعادل درجة pH الماء، يتم بعد ذلك استخلاص عينات التربة بمحاليل NaHCO$_3$ *0.5M*، ثم NaOH *0.5M*، ثم HCl *1M* بشكل متتابع، يرشح رائق محاليل الاستخلاص في كل مرة وتحفظ العينات على درجة حرارة 5م° لحين تقدير الفوسفور. ويقدر الفوسفور المتبقي (Residual-P) بنقل عينات التربة كمياً إلى أنابيب الهضم وباستخدام خلطة من حمضي البيروكلوريك والكبريت (10:1) هضمت هضماً رطباً. ويتم تقدير الفوسفور في المستخلصات بطريقة موليبدات الأمونيوم– حمض الأسكوربيك (Murphly and Riley., 1962).

1. ***تقدير الفوسفور المعدني:*** تقدير الفوسفور المعدني (Pi) أو المتفاعل مع الموليبدات (MRP): تم تقدير الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات (Molybdate Reactive P, MRP) في جميع المستخلصات بطريقة موليبدات الأمونيوم – حمض الأسكوبيك. وتعود تسمية الفوسفور المقدر بطريقة الموليبدات في مستخلصي البيكربونات بـ MRP على اعتبار أن الموليبدات تتفاعل مع الفوسفور

المعدني وجزء من الفوسفور العضوي الذي تحصل له حلمأة (Hydrolysis) في هذا المستخلصين نتيجة الحموضة في وسط التفاعل التي تتطلبها طريقة تحضير محلول موليبدات الأمونيوم (Hens and Merckx, 2001).

2. ***تقدير الفوسفور العضوي (Po):*** تحتوي محاليل مستخلص البيكربونات على كمية من الفوسفور العضوي، ولذلك تم تقدير الفوسفور الكلي (TP) في هذه المستخلصات في وسط حمضي (1 مل من H_2SO_4 *11 N*) ووجود مادة مؤكسدة من بيرسلفات الأمونيوم (0.3 غ) لتحطيم مركبات الفوسفور العضوية، ويتبع ذلك تقدير الفوسفور في محلول الهضم بطريقة الموليبدات – اسكوربيك. ويتم حساب قيم الفوسفور العضوي بطريقة الفرق وفق ما يلي: **Po = TP – MRP** في كل من محلول أفاق التربة وماء الصرف ومستخلصات التربة (Alloush *et al*., 2003).

الحسابات والإحصاء:

تمّ حساب الفوسفور العضوي المنغسل بطريقة الفرق وفق التالي (Alloush *et al*., 2003):

الفوسفور العضوي (Org-P) = الفوسفور الكلي الذائب (TP)– الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات (MRP)

خضعت جميع معطيات التجربة للتحليل الإحصائي ANOVA على اعتبار أنّ مصدر التباين هو مستوى المادة العضوية (OM). كما تمّ فصل المتوسطات وحساب أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية 5%، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي SAS (SAS institute, 1999).

النتائج:

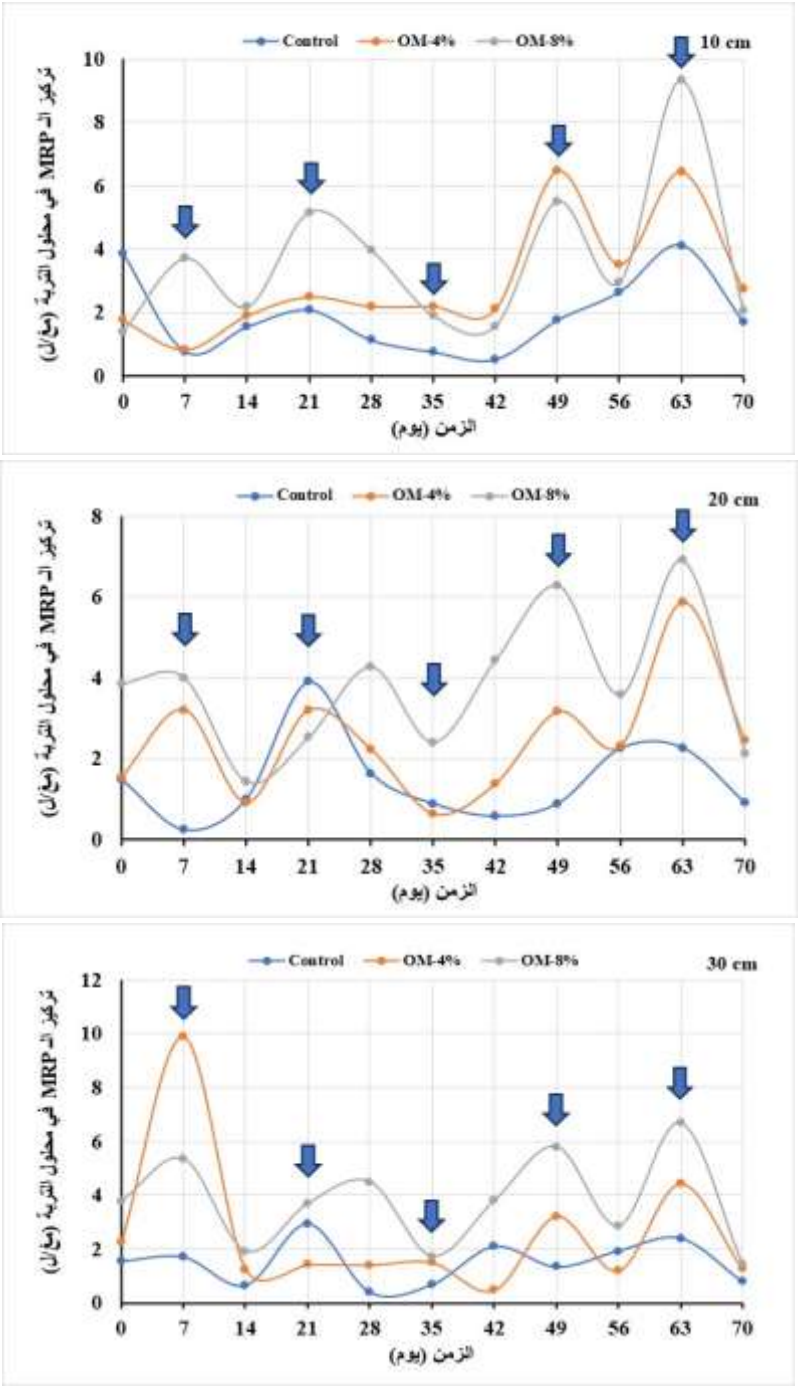
أ- ***تراكيز الفوسفور في محلول آفاق التربة:***

يتوزع الفوسفور الذائب في محلول التربة بين شكلين رئيسيين: الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات (MRP) والفوسفور العضوي الذائب (DPo)، وهو يكون بصورة مركبات سهلة التحلل نتيجة لنشاط الأحياء الدقيقة في التربة (Guppy *et al*., 2005).

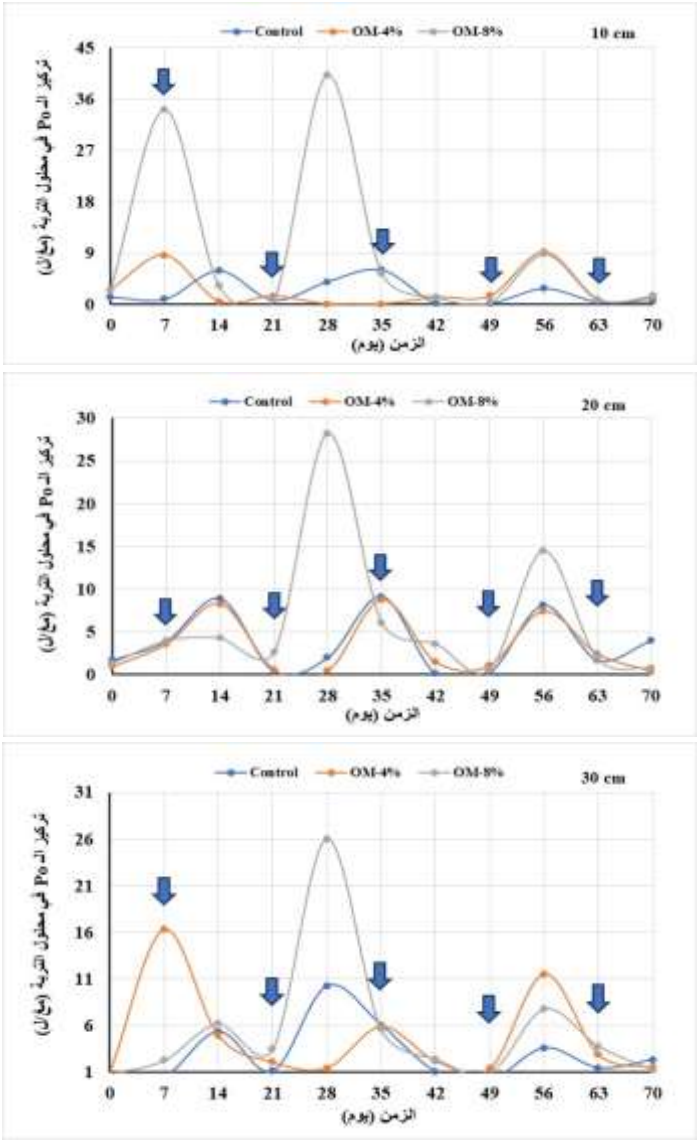
تبدأ تراكيز الـ MRP منخفضة في محلول التربة في كافة الأعماق 10 و20 و30 سم ولكافة المعاملات وهي بحدود 4 مغ/ل، ومن ثم تزداد تدريجياً ضمن نموذج متناوب مع تقدم زمن التجربة، ويكون النموذج المتناوب أكثر وضوحاً في معاملتي المادة العضوية 4 و8% الشكل (2) تتفوق تراكيز الـ MRP في معاملتي المادة العضوية OM 4 و8% على معاملة الشاهد Control في تراكيز الـ MRP، وهي أعلى في معاملة OM8% من معاملة OM4% في جميع الأعماق وأزمنة القياس. تصل تراكيز الـ MRP في الزمن 63 يوم والتي تتزامن مع موعد إضافة السماد الذواب إلى 9.3 و6.4 و4.1 في الأفق 10 سم والمعاملات OM8% وOM4% وControl، وتنخفض هذه التراكيز إلى 6.9 و5.9 و2.4 في الأفق 20 سم، وإلى 6.7 و4.4 و2.4 مغ/ل في الأفق 30 سم لذات المعاملات، على التتالي. لا فروقات تذكر في تراكيز الـ MRP بين الأفقين 20 و30 سم في كافة المعاملات. وتجدر الإشارة إلى أن التناوب المرتفع في تراكيز الـ MRP قد توافق مع موعد التسميد خلال فترة التجربة في معظم الحالات.

كان التباين بين تراكيز الفوسفور العضوي Po بين المعاملات أو بحسب الآفاق أقل وضوحاً، بحيث لم تبين التراكيز تأثرها بشكل واضح بإضافة المادة العضوية الشكل (3) ظهر عدد من النبضات في تراكيز الفوسفور العضوي في محلول آفاق المعاملة OM8% والتي وصلت تراكيزها إلى 40 و28 و26 مغ/ل في الآفاق 10 و20 و30 سم، على التتالي. كانت تراكيز الفوسفور العضوي أعلى في معاملة المادة العضوية OM8% أعلى من OM4%، والتي بدورها كانت أعلى من قيم التراكيز في معاملة الشاهد Control. كانت تراكيز الفوسفور العضوي في محاليل التربة متقاربة مع تراكيز الـ MRP مما يجعل نسبة الفوسفور العضوي من الكلي، وبشكل متوسط عبر أزمنة القياس من 0 حتى الـ 70 يوماً، بحدود 39 و55 و47 % في الآفاق 10 و20 و30 سم لمعاملة الشاهد

Control، والنسب 34 و47 و56 % لمعاملة OM4%، والنسب 45 و47 و49% للمعاملة OM8%، وذلك لذات الآفاق على التتالي. وبالتالي كانت نسب الفوسفور العضوي أعلى في الأفقين 20 و30 سم بالمقارنة مع الأفق 10 سم. يشير ذلك إلى حركية أعلى للفوسفور العضوي عبر آفاق التربة وهو أمر يتوافق مع العديد من الدراسات التي تشير أن انغسال الفوسفور العضوي يكون بمعدلات أعلى من الفوسفور المعدني (Ojekanmi *et al.*, 2011)، فالفوسفور المرتبط عضوياً قليل الادمصاص على سطوح غرويات التربة الأمر الذي يسمح بحركته عميقاً في التربة (Wang *et al.*, 2021). لقد تماثلت تقريباً الكميات المنغسلة من الفوسفور العضوي Po والفوسفور المتفاعل مع المولبيدات MRP، وهي بذلك منسجمة مع تراكيز الفوسفور بشكليه في محاليل التربة في الآفاق. تراكيز الفوسفور العضوي أعلى في المعاملة OM8% مقارنة بالمعاملة OM4%.

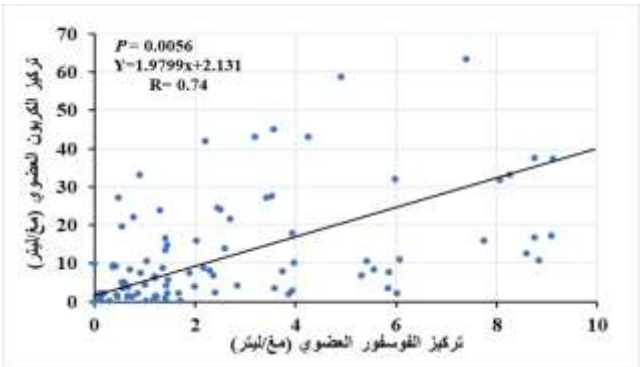


الشكل (2): تراكيز الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات (MRP) في محلول آفاق التربة على الأعماق (10 و20 و30 سم) متوافقة مع مواعيد الريات. تشير الأسهم على المنحنيات إلى مواعيد التسميد بالأسمدة الذوابة.



الشكل (3): تراكيز الفوسفور العضوي (Po) في محلول آفاق التربة على الأعماق (10 و20 و30 سم) متوافقة مع مواعيد الريات. تشير الأسهم على المنحنيات إلى مواعيد التسميد بالأسمدة الذوابة.

ولأثبات الافتراض أن الفوسفور العضوي ينتقل ضمن مركبات عضوية فقد تم قياس تراكيز الكربون العضوي في محاليل التربة في الآفاق المختلفة. ويشير الشكل (4) إلى علاق ارتباط وثيقة بين تراكيز الفوسفور العضوي والكربون العضوي في محاليل آفاق التربة (R= 0.74).



الشكل (4): العلاقة بين الفوسفور العضوي (Po) والكربون العضوي (Org-C) في محلول آفاق التربة على الأعماق (10 و20 و30 سم) في جميع المعاملات وأزمنة القياسات.

ويمكن الوقوف بشكل مفصل على تأثر حركة الفوسفور في آفاق التربة وتوازناته بدراسة تجزئة الفوسفور في الآفاق 10 و20 و30 سم التي شملتها الدراسة.

ب- تجزئة الفوسفور في آفاق التربة

تباينت تراكيز الأشكال المختلفة للفوسفور بحسب معدل إضافة المادة العضوية (OM) وكانت هذه التباينات معنوية فيما عدا الفوسفور العضوي في مستخلص ماءات الصوديوم (NaOH-Po) والفوسفور المتبقي. كما وتباينت التراكيز بشكل عالي المعنوية تبعاً للعمق في أفق التربة (Depth). أما تأثير المادة العضوية فقد تباين تبعاً للعمق فقط في شكلين للفوسفور : العضوي في مستخلص البيكربونات (Bic-Po)، والمعدني المترسب حديثاً مع أكاسيد وهيدوكسيدات الحديد والألمنيوم (NaOH-Pi) الجدول (3)

ت- تأثير المادة العضوية في تراكيز الفوسفور المتاح

يمثل الفوسفور المتاح تلك الأشكال المستخلصة بالريزن (Resin-Pi) والمستخلصة بمحلول بيكربونات الصوديوم بشقيه المتفاعل مع المولبيدات ونسميه اصطلاحاً (Bic-Pi) والفوسفور العضوي (Bic-Po).

الفوسفور المستخلص بالريزن (Resin-Pi) هو الفوسفور المتاح بيولوجياً والذي تتأثر تراكيزه تبعاً لمجموعة التوازنات الكيميائية ونشاط الأحياء الدقيقة في التربة، فهو الفوسفور المتاح للامتصاص بسهولة من قبل جذور النبات (Bowman *et al*., 1978). فلقد ازدادت تراكيز الفوسفور المتاح بيولوجياً في الأفق الأول (10 سم) بوجود المادة العضوية بمستوييها 4 و8% بالمقارنة مع معاملة الشاهد، حيث كانت القيم 541 و581 مغ/كغ بالمقارنة مع الشاهد (Control) التي بلغت 470 مغ/كغ، إلا أن هذه الزيادة ظاهرية ولم تصل لدرجة المعنوية. لقد انخفضت تراكيز Resin-Pi في العمقين 20 و30 سم إلى النصف تقريباً بالمقارنة مع التربة السطحية بعمق 10 سم في كافة المعاملات وهذا ربما يكون نتيجة لمحدودية حركة الفوسفور المعدني عبر آفاق التربة (Syers *et al*., 2008). الزيادة الحاصلة في تراكيز الـ Resin-Pi هي كبيرة جداً في كل الآفاق بالمقارنة مع تربة الأصل والبالغة 59 مغ/كغ وهي ناتجة عن إضافة الفوسفور في التسميد الأساسي وفي الجرعات التسميدية خلال موسم النمو الجدول (3)

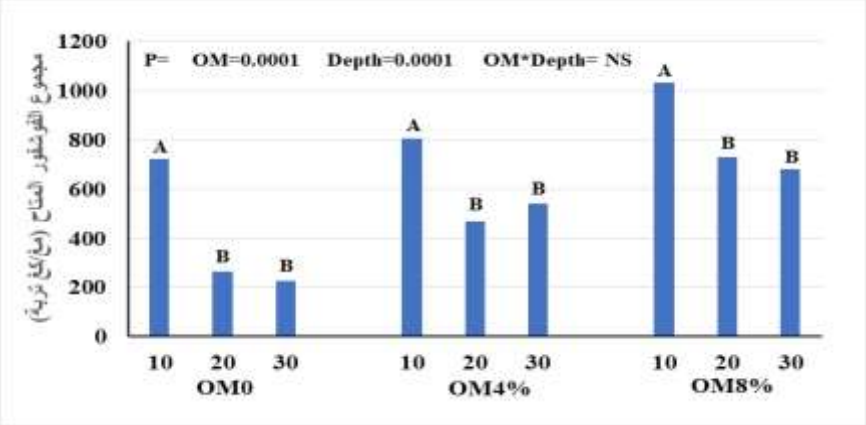
يمثل الفوسفور المستخلص بمحلول بيكربونات الصوديوم بشكليه المعدني والعضوي ذلك الفوسفور المتبادل على السطوح الغروية. فلقد كانت تراكيز الفوسفور المعدني في مستخلص البيكربونات (Bic-Pi) أعلى في العمق 10 سم بالمقارنة مع الآفاق 20 و30 سم في كافة المعاملات وبغض النظر عن إضافة المادة العضوية. بلغت القيم في معاملة الشاهد (Control) 132 مغ/كغ في العمق 10 سم، وتنخفض إلى 68 و69 مغ/كغ في العمقين 20 و30 سم على التتالي. وترتفع تراكيز الشكل المعدني في الأفق 10 سم في معاملتي المادة العضوية OM4% وOM8% إلى 205 و231 مغ/كغ، وهي زيادة بمعدل 55 و75% بالمقارنة مع معاملة الـ Control. وأيضاً في معاملتي المادة العضوية تنخفض تراكيز الفوسفور المعدني (Bic-Pi) مع العمق إلا أنها تبقى أعلى من التراكيز في معاملة الـ Control (جدول 3). بكل الأحوال، فإن تراكيز الـ Bic-Pi في جميع المعاملات أعلى بكثير من تركيزه في تربة الأصل قبل بداية التجربة والبالغة 34 مغ/كغ تربة.

أما بالنسبة لشكل الفوسفور العضوي Bic-Po فتبقى التغيرات في تراكيزه محدودة للغاية مع تدرج عمق التربة بين 10 و20 و30 سم. الصورة مغايرة في المعاملتين اللتين تمت إضافة المادة العضوية لهما بمعدلين 4 و8%، حيث تزداد تراكيز الفوسفور العضوي مع العمق 20 و30 سم لتكون القيم 127 و235 مغ/كغ في المعاملة OM4%، و230 و322 مغ/كغ في المعاملة OM8% لذات الأعماق على التتالي. إن زيادة تراكيز الفوسفور العضوي في مستخلص البيكربونات (Bic-Po) مع العمق يشير إلى أن حركة الفوسفور العضوي غير محددة عبر آفاق التربة بآليات الادمصاص والتثبيت على مكونات التربة الفعالة في تثبيت الفوسفور في

التربة (Anderson and Magdoff, 2005; Chardon *et al*., 1997). وبذلك يكون مجموع الفوسفور المتاح في تربة الآفاق (مجموع الفوسفور المتاح بيولوجياً + الفوسفور المعدني والعضوي في مستخلص البيكربونات) أعلى في العمق 10 سم من العمقين 20 و30 سم وبشكل معنوي في المعاملات الثلاث المدروسة، وهو أعلى في المعاملة OM8% وفي كافة الأعماق بالمقارنة مع المعاملتين OM4% والشاهد Control. قيم مجموع الفوسفور المتاح في المعاملة OM8% هي 1031 و728 و679 مغ/كغ في الأعماق 10 و20 و30 سم بالمقارنة مع الشاهد 722 و469 و410 لذات الأعماق على التتالي. الزيادة في تركيز الفوسفور المتاح الكلي (∑P) متدرجة وخطية مع زيادة نسبة المادة العضوية المضافة وذلك في كل أعماق التربة المدروسة الشكل (5). لقد تمت إضافة 40.8 و81.6 مغ/كغ من الفوسفور المتاح مع المادة العضوية (جدول 1)، وهذه الفروقات بين المعاملات وفي كل الآفاق هي أعلى بكثير مما تمت إضافته مع المادة العضوية. لقد أشارت العديد من الدراسات إلى دور المادة العضوية في زيادة تراكيز الفوسفور المتاح في التربة من خلال تشجيع النشاط المكروبي وتحلل المادة العضوية ذاته (Tarkalson and Leytem, 2009). لقد تم اقتراح آليتين لتأثير المادة العضوية في زيادة التراكيز المتاحة من الفوسفور: 1) تقوم الجذور العضوية السالبة للمركبات الناتجة عن تحلل المادة العضوية بالتبادل مع الفوسفور المدمص وتحرر الفوسفور إلى محلول التربة، و2) تقوم الجذور العضوية السالبة بالادمصاص على مواقع يمكن أن تحتلها شوارد الفوسفات (Guppy *et al*., 2005)، ويمكن إضافة آلية ثالثة تتضمن تخليب الفوسفور في المركبات العضوية الذي يمنع ادمصاص الفوسفور أو ترسيبه في التربة (Guppy *et al*., 2005).

ث- تأثير المادة العضوية في تثبيت الفوسفور في التربة:

يشكل الفوسفور المستخلص بمحلول ماءات الصوديوم ذلك الجزء من الفوسفور المثبت حديثاً مع أكاسيد وهيدروكسيدات الحديد والألمنيوم، وهو ضمن شكلين معدني (NaOH-Pi) وعضوي (NaOH-Po). لقد احتوت تربة الأصل على 108 و94 مغ/كغ تربة من الفوسفور المعدني والعضوي، على التتالي. لقد ازداد تركيز الفوسفور المعدني في مستخلص الماءات إلى 161 في معاملة الشاهد (Control)، ولكن انخفضت قيمه في الأفقين 20 و30 سم لمعاملة الشاهد، وفي كافة الآفاق



الشكل (5): تأثير المادة العضوية في مجموع تركيز الفوسفور المتاح في التربة وتغيراته في أعماق التربة 10 و20 و30 سم. القيم ذات الأحرف المتشابهة ضمن كل معاملة غير مختلفة معنوياً.

في معاملتي المادة العضوية 4 و8% الجدول (3) أما الفوسفور العضوي في مستخلص الماءات (NaOH-Po) فلم تكن هنالك فروقات معنوية بين المعاملات تبعاً لإضافة المادة العضوية وإنما انحصرت الفروقات تبعاً للعمق والتي كانت أكثر وضوحاً في معاملتي المادة العضوية 4 و8% حيث تتفوق القيم معنوياً في العمق 30 سم على قيم الـ Po في العمقين 20 و10 سم. اللافت في الأمر أن قيم الفوسفور العضوي لمستخلص الماءات كانت أعلى في معاملة الشاهد بالمقارنة مع المعاملتين اللتين تمت إضافة المادة

العضوية 4 و8%. ربما يعود ذلك إلى تشجيع المادة العضوية على تحولات هذا الشكل من الفوسفور العضوي إلى أشكال، ربما عضوية أو معدنية متاحة، وهو ما بدا واضحاً في تبدلات الأشكال الفوسفورية المتاحة في معاملات المادة العضوية (Alloush *et al.*, 2021). يمثل الفوسفور المستخلص بحمض كلور الماء الشكل المعدني المترسب مع الكالسيوم وهو شكل غير متاح للامتصاص إلا بذوبان مركبات فوسفات الكالسيوم الرباعية أو الأباتايت. فتربة الدراسة ليست كلسية ($CaCO_3$= 1.17%) إلا أنها تحتوي على تركيز مرتفع من الكالسيوم المتاح (4240 مغ/كغ تربة) وبذلك كان الفوسفور المرتبط في التربة قبل بدء الدراسة منخفضاً نوعا ما (309 مغ/كغ تربة). لقد أدى التسميد الأساسي واللاحق خلال فترة نمو التجربة الجدول التسميد (3) إلى زيادة الفوسفور المترسب مع الكالسيوم والتي تركزت في العمق الأول 10 سم من 309 في تربة الأصل إلى 747، 1003، و1023 مغ/كغ في المعاملات Control و OM4% و OM8%، على التتالي. لقد تفوقت المعاملات العضوية OM4% و OM8% على الشاهد والذي ربما يعود لسببين أولهما أن الزبل البقري المضاف يحوي على 20.75% $CaCO_3$ وتركيز من الكالسيوم المتاح 4053 مغ/كغ الجدول (1) الفوسفور المتبقي Residual-P هو الفوسفور المرتبط في معادن التربة الأولية وهو ذلك الجزء الذي يصعب على النبات الاستفادة منه (Yang and Post, 2011)، ويتم استخلاصه بهضم كامل للتربة المخطط (1). لم يكن لإضافة المادة العضوية تأثير معنوي في زيادة تراكيزه في التربة، ولكن اختلفت التراكيز تبعاً للعمق في التربة حيث يكون التركيز أعلى في العمق 10 سم بالمقارنة مع العمقين 20 و30 سم.

الجدول (3): تجزئة الفوسفور في تربة آفاق أعمدة التربة في الأعماق 10 – 20 و30 سم. التراكيز مقدرة بالمغ/كغ تربة.

المعاملة	العمق سم	الفوسفور المتاح			متاح-∑	NaOH-P		HCl-Pi	P-متبقي	∑Pi	∑Po	P-كلي
		Resin-Pi	Bic-Pi	Bic-Po		Pi	Po					
تربة الأصل		59	34	51	144	108	94	309	175	510	145	830
OM0%	10	470^{A}	132^{A}	120^{A}	722^{A}	161^{A}	156^{A}	747^{A}	275^{A}	1509^{A}	276^{A}	2060^{A}
	20	275^{B}	68^{B}	126^{A}	469^{B}	72^{B}	139^{A}	177^{B}	181^{B}	591^{B}	165^{A}	1037^{B}
	30	238^{B}	69^{B}	103^{A}	410^{B}	78^{B}	123^{A}	115^{B}	192^{B}	499^{B}	225^{A}	917^{B}
LSD		**114**	**55**	**53**	**111**	**73**	**110**	**275**	**33**	**524**	**153**	**859**
OM4%	10	541^{A}	205^{A}	61^{C}	806^{A}	75^{A}	83^{B}	1003^{A}	280^{A}	1823^{A}	143^{C}	2246^{A}
	20	217^{B}	125^{B}	127^{B}	469^{B}	81^{A}	96^{B}	299^{B}	209^{B}	722^{B}	223^{B}	1153^{B}
	30	232^{B}	74^{C}	235^{A}	541^{B}	82^{A}	132^{A}	179^{C}	192^{B}	566^{C}	367^{A}	1126^{B}
LSD		**104**	**46**	**59**	**133**	**13**	**31**	**61**	**62**	**147**	**65**	**164**
OM8%	10	581^{A}	231^{A}	219^{B}	1031^{A}	65^{B}	93^{B}	1023^{A}	280^{A}	1900^{A}	312^{B}	2492^{A}
	20	329^{B}	159^{B}	230B	728^{B}	118^{A}	98^{B}	414^{B}	181^{B}	1021^{B}	338^{B}	1540^{B}
	30	225^{B}	133^{B}	322^{A}	679^{B}	77^{B}	188^{A}	396^{B}	193^{B}	831^{C}	510^{A}	1534^{B}
LSD		**134**	**54**	**90**	**160**	**25**	**88**	**83**	**82**	**141**	**92**	**125**
تحليل التباين العام ANOVA												
OM		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0315	NS	0.0071	NS	0.0240	0.0001	0.0009
Depth		0.0001	0.0001	0.0003	0.0001	0.0423	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001

NS	0.0025	NS	NS	NS	NS	0.0001	NS	0.0031	NS	NS	**OM*Depth**	

ملاحظة: **NS** غير معنوي، القيم ذات الأحرف المتشابهة بين الأعماق ضمن كل معاملة غير مختلفة معنوياً.

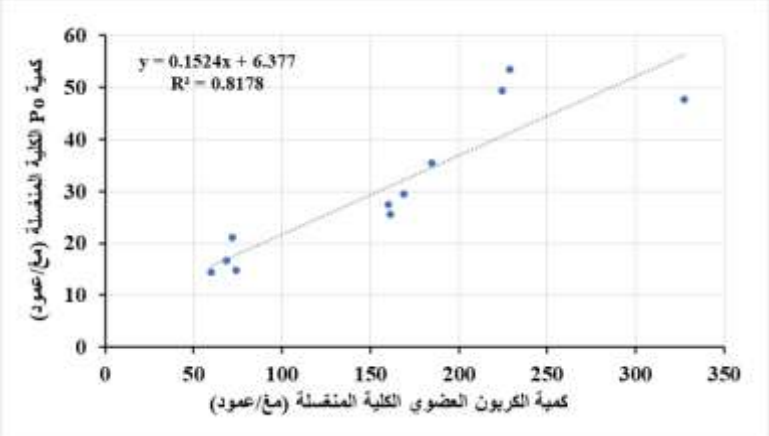
ج- الكمية المنغسلة من الفوسفور والكربون العضوي في ماء الصرف:

كان هنالك فروقات معنوية تبعاً لتأثير إضافة المادة العضوية في الكمية الإجمالية المنغسلة من الأعمدة الجدول (4) وقيم هذا الجدول مأخوذة من بحث منشور سابقاً (Alloush *et al.*,2024) ونعيدها هنا من أجل الربط بين حركية الفوسفور في الأفق مع كميته المنغسلة في ماء الصرف، حيث كانت الكمية المنغسلة من الفوسفور الكلي الذائب (TP) في معاملة الشاهد التي لم يضاف لها التسميد العضوي 25.3 مغ/عمود وازدادت معنوياً إلى 62.4 في المعاملة OM4% وإلى 96.2 مغ/عمود في المعاملة OM8%، وهي زيادة بمعدل 247 و380 % على التتالي. لقد سلك الشكلين الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات MRP والفوسفور العضوي Po ذات السلوك في الزيادة المعنوية والتي كانت مضطرة مع زيادة معدل الإضافة من المادة العضوية ليبلغان في المعاملة OM8% 46.2 و50.1 مغ/عمود على التتالي.

الجدول (4): الكمية الإجمالية لأشكال الفوسفور والكربون العضوي المنغسلة بعد 70 يوم من عمر التجربة (مغ/عمود).

TP من % Po	TP من % MRP	الكربون العضوي	الفوسفور الكلي الذائب			المعاملة
			Po	MRP	TP	
65.8^{A}	34.2^{B}	68.8^{C}	16.7^{C}	8.7^{C}	25.3^{C}	**OM0**
47.7^{A}	52.3^{A}	169.0^{B}	29.4^{B}	33.0^{AB}	62.4^{B}	**OM4%**
53.5^{A}	46.5^{A}	260.5^{A}	50.1^{A}	46.2^{A}	96.2^{A}	**OM8%**
23.6	**11.6**	**65.2**	**11.2**	**32.5**	**29.2**	**LSD**
P* ≤ *F						
NS	0.0211	0.0032	0.0030	0.0058	0.0066	**OM**

لقد ترافق انغسال الفوسفور بأشكاله المختلفة مع تزايد كميات انغسال الكربون العضوي مع زيادة معدل إضافة المادة العضوية وبشكل متدرج. أما كيف توزعت النسب المئوية لـ MRP من الكلي المنغسل، فهو يزاد معنوياً مع إضافة النسبة 4% (المعاملة OM4%)، ومن ثم لا زيادة في قيمه. ولم يكن هنالك فروقات معنوية في النسبة المئوية للفوسفور العضوي من الكلي المنغسل. فانغسال الفوسفور العضوي (Po) كان مرتبطاً بالكمية المنغسلة من الكربون العضوي وبعلاقة ارتباط قوية (R= 0.905)، مما يشير إلى حركية عالية للفوسفور العضوي على صورة مركبات عضوية.



الشكل (6): علاقة الارتباط بين الكمية الإجمالية التراكمية المنغسلة من الفوسفور العضوي مع الكربون العضوي بعد 70 يوم من التجربة.

تشير النتائج إلى دور المادة العضوية بمستوييها 4 و8% في زيادة الكمية الإجمالية من الفوسفور الكلي الذائب المنغسل مقارنة بالشاهد OM0. تتوافق هذه النتائج مع (Alloush *et al*., 2003; Ojekanmi *et al*., 2011; Kashem *et al*., 2004) اللذين أشاروا إلى زيادة انغسال الفوسفور بوجود المادة العضوية، ربما يكون ذلك ناتج عن زيادة إشباع السطوح فينتج عنها انخفاض ربط الفوسفور مما يؤدي إلى انغساله، وهذا ما أشار له أيضاً Kashem وآخرون (2004) عندما تمت إضافة زبل الأبقار للتربة بمعدل 20 طن/هـ.

تبدو كميات الفوسفور العضوي في ماء الصرف متقاربة مع دراسة Ojekanmi وآخرون (2011) التي بلغت 55–70% من الفوسفور الكلي المنغسل، وازدادت نسبته في ماء الصرف بزيادة معدل الإضافة من زبل الأبقار (0–30–60–120 طن/هـ)، وهو بصورة أسترات أحادية وثنائية للفوسفور العضوي وفوسفوليبيدات وMucliec، والتي تكون متاحة سريعاً لنشاط الأحياء الدقيقة في البيئات المائية مسببة ظاهرة الإثراء الغذائي. إن تكرار إضافة المادة العضوية تؤدي إلى زيادة الكمية المنغسلة من الفوسفور العضوي (Anderson and Magdoff, 2005)، هذا تطبيق متبع في الزراعات المحمية. لقد قدر Djodjic وآخرون (2004) كمية الفوسفور الكلي الذائب المنغسل من دراسة أعمدة ما بين 0.03–1.09 كغ P/هـ سنوياً، ويبدو أن الأمر ذو خطورة أكبر في الزراعات المحمية حيث يمكن حساب الكمية 2.9 كغ P/هـ /سنة (96.2 مغ TP/نبات x 1200 نبات/بيت بلاستيكي 400 م^2 x 400/10000).

تشير علاقة الارتباط القوية بين انغسال الفوسفور العضوي والكربون العضوي إلى حركة الفوسفور مرتبطاً مع المركبات العضوية التي هي أقل تفاعلاً مع مكونات التربة (Wang *et al*., 2021; Wang *et al*., 2022)، حيث تؤثر المركبات العضوية في حركة الفوسفور في الترب التي أضيف لها المادة العضوية، فمن المرجح أن شكل وكمية الكربون تؤثر في حركة الفوسفور في التربة من خلال عدة عوامل تتضمن النشاط الميكروبي والمعادن المعقدة عضوياً وتغليف مواقع ادمصاص الفوسفور على معادن الطين (Tarkalson and Leytem, 2009).

الاستنتاجات:

1. تزيد المادة العضوية تركيز MRP في محاليل التربة على الأعماق (10–20–30) سم، بشكل مترافق مع زيادة معدل اضافة المادة العضوية، كما ساهمت المادة العضوية في حركة P–العضوي حيث كان التركيز الأعلى له في الأفقين 20 و30 سم.
2. ساهمت المادة العضوية في بقاء الفوسفور المضاف متاحاً للنبات، ويشمل الفوسفور المتاح بيولوجياً (Biologically Available-P) والعضوي والمتبادل (Labile-P). وكان أعلى تركيز في معاملة المادة العضوية 8% وفي كافة الأعماق.
3. ارتفعت تراكيز الفوسفور العضوي مع العمق مما يشير إلى سهولة حركة الفوسفور العضوي عبر أفاق التربة، ووصوله لماء الصرف.
4. أدت إضافة المادة العضوية بالمستويين (4 و8 %) إلى زيادة الكمية الإجمالية المنغسلة من الأعمدة، حيث وصلت الكمية المنغسلة من الفوسفور الكلي الذائب (TP) في ماء الصرف من منظومة الزراعة إلى 96.2 مغ/عمود.

التوصيات:

1. ننصح بعدم الإسراف في إضافة المادة العضوية بسبب دورها في زيادة تلوث ماء الصرف في نظام الزراعة المحمية بالفوسفور، وهو العامل المحدد لنمو الأشنيات في المسطحات المائية القريبة من مناطق انتشار الزراعة المحمية في الساحل السوري.
2. تضمين الشكل العضوي في قياسات الفوسفور سواء في التربة أو المياه فهو الشكل الأكثر حركية للفوسفور.

المراجع:

Alloush, G.; J. Ibraheem; and S. Saeed. (2024). Mobility of Nitrogen and Phosphorus in Soil under Greenhouse System. Tishreen University Journal, 46 (4): 175-193. (In Arabic)

Alloush, G.; R. Zainah; and O. Hatta. (2021). Effect of Humic acid and P-Fertilization on P-Forms Distribution Organic / Inorganic in a calcareous Soil: Phosphorous Fractionation. Tishreen University Journal, 43 (3): 101-119. (In Arabic)

Alloush, GA.; DG. Boyer; DP. Belesky; JJ. Halvorson. (2003). Phosphorus mobility in a karst landscape under pasture grazing system. Agronomie: Agri. & Environ. November. 23(7): 593-600.

Andersen, H.E.; J. Windolf; B. Kronvang. (2016). Leaching of dissolved phosphorus from tile-drained agricultural areas. Water Sci. Technol. 73 (12): 2953–2958.

Anderson, BH.; FR. Magdoff. (2005). Relative movement and soil fixation of soluble organic and inorganic phosphorus. J. Environ. Qual. Nov 7; 34(6): 2228-2233.

Becher, M.; K. Pakuła; D. Jaremko. (2020). Phosphorus accumulation in the dehydrated peat soils of the Liwiec river valley. J. Ecol. Eng. 21: 213–220. [CrossRef]

Berg, A.S.; B.C. Joern. (2006). Sorption dynamics of organic and inorganic phosphorus compounds in soil. J. Environ. Qual. 35 (5): 1855–1862.

Bowman, R.A and C.V. Cole. (1978). Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by $NaHCO_3$ extractions. Soil Sci; 125: 49-54.

Chardon, WJ.; O. Oenema; P. Del. Castilho; R. Vriesema; J. Japenga; D. Blaauw. (1997). Organic phosphorus in solution and leachates from soils treated with animal slurries. J. Environ. Qual. March-April; 26(2):372-378.

Djodjic, F.; K. Borling; L. Bergstrom. (2004). Phosphorus leaching in relation to soil type and soil phosphorus content. J. Environ. Quality. March;33(2):678-684.

G. K. MacDonald; R. McDowell; A. Sharpley; N. Shen; J. Taheri; W. Wallenstein;

Giles, C.; B. Cade-Menum; C. Liu; J. Hill. (2015). Rapid transport and transformation of phosphorus species during the leaching of poultry manure amended soil. Geophysical Res. Abstracts. Apri;17; EGU2015-15655.

Giles, C.; B. Cade-Menun; J. Hill. (2011). The inositol phosphates in soils and manures: abundance; cycling; and measurement. Can. J. Soil Sci. 91 (3); 397–416.

Guppy, CN.; NW. Menzies; PW. Moody; FPC. Blamey. (2005) Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. Aust J Soil Res 43:189–202.

Hedley, MJ.; JWB. Stewart; BS. Chauhan. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J. September 1;46(5): 970-976.

Hens, M.; and R. Merckx. (2001). Functional characterization of colloidal phosphorus species in the soil solution of sandy soils; Environ. Sci. and Tech; 35; 493-500.

Kashem, MA.; OO. Akinremi; GJ. Racz. (2004). Phosphorus fractions in soil amended with organic and inorganic phosphorus sources. Cand. J. of Soil Sci.84(1):83-90.

Liu, J.; C. Han; Y. Zhao; J. Yang; B. Cade-Menun; Y. Hu; J. Li; H. Liu; P. Sui; Y. Chen; et al. (2020). The chemical nature of soil phosphorus in response to long-term fertilization practices: Implications for sustainable phosphorus management. J. Clean. Prod. 272; 123093.

M. Weintraub. (2016): Integrating legacy soil phosphorus into sustainable nutrient management strategies for future food; bioenergy; and water security. – Nutrient Cycling in Agroecosystems 104: 393-412. https://doi.org/10.1007/s10705-015-9726-1.

MacDowell, RW.; W. Worth; S. Carrick. (2021). Evidence for the leaching of dissolved organic phosphorus to depth. Science of the total Environment; 755; Part 1-2021; 142392. http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142392.

McDowell, R.W.; G.F. Koopmans. (2006). Assessing the bioavailability of dissolved organic phosphorus in pasture and cultivated soils treated with different rates of nitrogen fertiliser. Soil Biol. Biochem. 38 (1): 61–70.

Murphly, J.M and J.P. Riley. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters; Anal. Chim. Acta. 27: 31-36.

Nobile, C. M.; M. N. Bravin; T. Becquer; J.M. Paillat. (2020): Phosphorus sorption and availability in an andosol after a decade of organic or mineral fertilizer applications: importance of pH and organic carbon modifications in soil as compared to phosphorus accumulation.–Chemosphere 239: 124709. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere. 2019.124709.

Ojekanmi, A.; D. Ige; X. Hao; O. Akinermi. (2011). Phosphorus mobility in a soil with long term manure application. J. Agri. Science. September;3(3):25-38.

Rashmi, I.; AK. Biswas; KC. Shinogi; S. Kala; KS. Karthika; SP. Prabha; et al. (2017). Phosphorus movement and vertical distribution in four soil order of India: column leaching experiment. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 2017;6(4): 1919-1930.

Rowe, H.; P. J. A. Withers; P. Baas; N. I. Chan; D. Doody; J. Holiman; B. Jacobs; H. Li;

Ryan, J.; G. Astafan; A. Alrasheed. (2001). Analysis of soil and plant: A laboratory Manual; ICARDA; Syria. pp. 172.

SAS Institute SAS user's guide: Statistics. SAS Inst.; Cary; NC. 1999.

Sims, R.; VA. Haby. (1971). Simplified colorimetric determination of soil organic matter. Soil Sci. August;112(2):137-141.

Sokolowska, Z.; L. Szajdak; P. Boguta. (2011). Effect of phosphates on dissolved organic matter release from peat-muck soils. Int.Agrophysics 25; 173–180.

Syers, J.K.; A.E. Johnston; and D. Curtin. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: Reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bull. 18. FAO; Rome.

Tarkalson, D.; A. Leytem. (2009). Phosphorus mobility in soil column treated with dairy manures and commercial fertilizer. Soil Science; February;174(2):73-80.

TGL 24300/05 (1985). Aufnahme landwirtschaftlich genutzter standorte; Kornungsarten und Skelettgehalt. -6 S. Akad. Landw. -wiss. DDR; Berlin.

Wang, H.; J. Zhu; Q. Fu; C. Hong; H. Hu; A, Violante. (2016). Phosphate adsorption on uncoated and humic acid-coated iron oxides. J.Soils Sediments 16: 1911–1920.

Wang, H.; S. Zhang; C. Peng; G. Chi; X. Chen; B. Huang; et al. (2022). Quantify phosphorus leaching loss from Mollisol with organic amendments. Agronomy. 12; 2490.http://doi.org/10.3390/agronomy12102.490.

Wang, H.; X. Chen; G. Chi. (2021). Phosphorus leaching effects of organic and mineral fertilizers on a clay loam soil through in-situ soil columns. EGU General Assembly. online; 19-30 April 2021. EGU21-10712; http://doi.org/105194/egusphere-egu21-10712; 2021.

Yang, X.; and W.M. Post. (2011). Phosphorus transformations as a function of pedogenesis. A synthesis of soil phosphorus data using Hedley fractionation method; Biogeosciences. 2011; 8; 2907–2916.

Zhou, J.; Y. Zhang; K.Wu; M. Hu; H. Wu; D. Chen. (2021). National estimates of environmental thresholds for upland soil phosphorus in China based on a meta-analysis. Science of The Total Environment 780: 146677. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146677

The effect of organic matter on Phosphorus mobility and leaching through soil Horizon in greenhouses: A columns study

Siba saied*[1] , Ghiath alloush[1] and Jihad ibrahem[1]

[1] Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University, Lattakia, Syria.

(*Corresponding author: Siba saied, Email: siba.saeed29@gmail.com)

Received: 6/12 /2025 **Accepted:** 12/03 / 2026

Abstract

A column study was conducted (25 cm diameter filled with lomy soil 40 cm depth) in a greenhouse located Lattakia University in 2021. The experiment included three levels of organic matter (cow manure 0- 4 and 8%), and columns were completely randomized. The aim of the experiment was to investigate the effect of OM on P movement with depths 10- 20 and 30 cm using Lysimiters. The depth 40 cm constitutes water leachate. Measurements were followed weekly and up to 70 days. Soil sample from soil depths 10-20 and 30 cm were taken P-fractionation to study P-dynamic changes.Organic matter increased concentrations of MRP (molybdate reactive P) in soil solutions in depths (10-20-30) cm, which increased with increased OM application. Organic matter also increased the mobility of organic-P which was evident in the higher concentrations in the 20 and 30 cm soil depth, and closely correlated with organic carbon.Applied P remained more available for plants due to OM in which concentrations of biological available-P, organic P, and labile-P, being the highest in the 8% application of OM at all depths. Total amount of total dissolved P (TDP) leached over 70 days were 25.3- 62.4 and 96.2 mg P/column for treatments 0-4- and 8% organic matter, respectively, which possess an environmental hazard to nearby water surfaces. The increased P mobility was attributed to competitive sorption, organic complexation, and microbial activity stimulated by OM.

Keywords: P-fractionation, organic matter, available-P, P-leaching, dissolved carbon.