The Effect of Compositing Poultry manure with Zeolite on N, P, and K leaching in Greenhouse Agriculture: Column Study

Suliman Younes*
Dr. Ghiath Alloush**
Dr.Leila Habib***

(Received 4 / 5 / 2023. Accepted 30 / 7 /2023)

□ ABSTRACT □

A column study was conducted (25 cm Diameter) filled with Al-Hatra soil for a depth of 40 cm, in a greenhouse located in Tishreen University in 2022. Treatments were: poultry manure compost (OM), poultry manure composted with zeolite (OMZ), poultry manure compost and zeolite added after composted to the cultivation medium (OM + Z), In addition to the control treatment without adding compost (CONTROL). OM treatments received Poultry manure at a rate of 8%. All treatments received basic N, P, and K fertilization and columns were planted with tomato seedlings (Bastona Hybred), one plant per column and drip irrigated regularly weekly which contained additional 2 g soluble fertilizer every 15 days as according to stage of plant growth. Leachates were collected weekly and over 98 days, in which ammonium, Molybdate reactive P (MRP), potassium and the electrical conductivity (EC) were measured.

Leaching of ammonium, phosphorus and potassium was higher in the presence of compost compared to the control treatment. Ammonium leaching start rapidly at start and then decline. The cumulative leaching of Ammonium from compost treatment was (OM) 472.5 mg NH4-N/plant/column, of which 88% leached within 28 days of the start of the experiment. Phosphorus leaching increased over time, and constitute after 98 days 22.8 and 37.7 mg/plant/column in the control and OM treatments, respectively, whereas, leaching of potassium remains constant over time. The addition of zeolite during composting (OMZ) or after composting (OM+Z) reduced ammonium leaching by 48% and 36% and potassium by 21% and 19%, respectively, compared with the OM treatment. Zeolite did not reduce phosphorus leached from columns. The cumulative quantities of leached NH4, MRP, and K correlated linearly with the amounts of leached water. Correlation coefficients were $R2 \geq 0.882$ for phosphorus and $R2 \geq 0.986$ for potassium in the OM treatments. As for NH4, the amount leached increased with increasing water leaching to 5.74 liter, in which carried 88% of the total quantity of leached NH4.

Key Word: Zeolite, Poultry manure, Leaching, Greenhouse Agriculture, Column, Ammonium.

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Postgraduate (Ph.D) student, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria. Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy**
****Professor -Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria. galloush@scs-net.org**
*****Professor -Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria. leilahabib@tishreen.edu.sy**

تأثير تخمير الزيولايت مع مخلفات المداجن في إنغسال الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم تحت ظروف الزراعة المحمية: دراسة أعمدة

سليمان يونس*

د. غياث علوش**

د. ليلى حبيب***

(تاريخ الإيداع 4 / 5 / 2023. قبل للنشر في 30 / 7 / 2023)

□ ملخّص □

نفذت دراسة أعمدة (قطر 25 سم)، مُلئت بالحترة لعمق 40 سم كوسط لزراعة نبات البندورة في البيت البلاستيكي في موقع جامعة تشرين في العام 2022. تضمنت المعاملات: إضافة كمبوست مخلفات المداجن (OM)، كمبوست مخلفات المداجن التي تم تخميرها مع الزيولايت (OMZ)، كمبوست مخلفات المداجن والزيولايت المضاف بعد التخمير لوسط الزراعة (OM+Z)، إضافة لمعاملة الشاهد دون إضافة كمبوست (CONTROL). تلقت معاملات التسميد العضوي كمبوست مخلفات المداجن بمعدل 8%، كما تلقت جميع المعاملات تسميداً أساسياً (K, P, N)، وزرعت شتول البندورة (هجين بستونا) بمعدل نبات في كل عمود، نفذت رية أسبوعياً بالتنقيط متضمناً تسميداً إضافياً بمعدل 2 غ سماد ذواب/نبات كل 15 يوم بحسب مراحل نمو النبات. جمع ماء الصرف أسبوعياً ولمدة 98 يوم من أسفل كل عمود، وتم تتبع تراكيز الأمونيوم، الفوسفور المتفاعل مع الموليبدات MRP، والبوتاسيوم بالإضافة للناقلية الكهربائية EC في ماء الصرف.

كان انغسال الأمونيوم والفوسفور والبوتاسيوم أعلى بوجود الكمبوست مقارنة بمعاملة الشاهد، حيث ينغسل الأمونيوم سريعاً عند الأزمنة الأولى، ومن ثم يتباطأ، وقدرت الكمية التراكمية 472.5 مغ NH4-N/نبات/عمود مع ماء الغسيل في معاملة الكومبوست (OM)، شكل منها 88% من هذه الكمية خلال 28 يوم على بداية التجربة. لقد ازداد انغسال الفوسفور مع الزمن لتبلغ الكمية الكلية المنغسلة بعد 98 يوم 22.8 و37.7 مغ/نبات/عمود لمعاملة الشاهد ومعاملة الـ (OM) على التتالي، في حين بقي انغسال البوتاسيوم ثابتاً مع الزمن. لقد أدت إضافة الزيولايت خلال التخمير OMZ أو بعد التخمير OM+Z إلى خفض انغسال الأمونيوم بنسب 48% و 36%، وخفضت انغسال البوتاسيوم 21% و19%، على التتالي، ودوماً للمعاملتين المذكورتين مقارنة مع الكمية التراكمية المنغسلة من المعاملة OM، ولم يؤدي الزيولايت إلى خفض كمية الفوسفور المنغسلة من الأعمدة. لقد ارتبطت الكميات التراكمية المنغسلة من العناصر المدروسة خطياً مع كميات ماء الصرف، وكانت ذات جودة $R^2 \geq 0.882$ للفوسفور و $R^2 \leq 0.986$ للبوتاسيوم في معاملات المادة العضوية. أما بالنسبة للأمونيوم فقد ازدادت كميته بزيادة ماء الصرف حتى 5.74 ليتر والتي حملت معها 88% من الكمية الكلية للأمونيوم المنغسلة.

الكلمات المفتاحية: الزيولايت، مخلفات المداجن، انغسال، الزراعة المحمية، الأعمدة، الأمونيوم.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

*طالب دراسات عليا لدرجة الدكتوراه في قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة- جامعة تشرين- سورية. Suliman.a.younes@tishreen.edu.sy

**أستاذ في قسم علوم التربة والمياه- كلية الزراعة – جامعة تشرين-اللاذقية-سورية galloush@scs-net.org

***أستاذ في قسم علوم التربة والمياه – كلية الزراعة – جامعة تشرين-اللاذقية-سورية leilahabib@tishreen.edu.sy

مقدمة:

تعد الزراعة المحمية نظام زراعي تكثيفي لإنتاج الخضار لتلبية احتياجات السكان المتزايدة على مدار العام. تستخدم في هذا النظام كميات كبيرة من الأسمدة المعدنية لتغذية الأصناف الهجينة المزروعة غير محدودة النمو وذات الإنتاجية العالية، حسب رغبة المزارع وقدرته المادية دون ضوابط أو قواعد سمادية.

تشكل الترب المتوسطة إلى خفيفة القوام وسط الزراعة المفضل في الزراعة المحمية، وتتصف هذه الترب بتأمين خصائص فيزيائية جيدة للنمو لكنها قليلة الاحتفاظ بالماء فضلاً عن اتسامها بسعة ادمصاص للكاتيونات والأنيونات قليلة نسبياً مما يزيد من خسارة العناصر المعدنية بالانغسال، مشكلة بذلك خسارة اقتصادية ينتج عنها مشكلة بيئية حقيقية. عادة ما يتم خلط السماد العضوي الطبيعي مع التربة لتحسين الاحتفاظ بالماء والعناصر (Bigelow *et al.*, 2004)، مما ينتج عنه تحسن مباشر في نمو وإنتاج المحاصيل عن طريق توفير العناصر الغذائية، وبشكل غير مباشر عن طريق تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة وتحسين بيئة الجذور وتحفيز نمو النبات (Bandyopadhyay *et al.*, 2010). تشير الدراسات إلى وجود فقد بالغسيل للعناصر الغذائية وخاصة الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم عند وجود المصادر العضوية (Gebrim *et al.*, 2010; Li *et al*, 1997; Grey and Henry, 1999). قام Gebrim وآخرون (2010) بدراسة انغسال الفوسفور على تربتين طينية وأخرى رملية لومية في أعمدة بارتفاع 10سم وقطر 5 سم وبدون وجود النبات تحت أربع مستويات متزايدة من التسميد الفوسفاتي على شكل فوسفات البوتاسيوم (KH_2PO_4) للوصول حتى 50% من سعة ادمصاص التربة العظمى للفوسفور، وإضافة خمس مستويات من زرق الدواجن، حيث بينت الدراسة انغسال الفوسفور بشكليه العضوي والمعدني مع تفوق الشكل العضوي (Pi<Po) بحوالي 6.4 مرة عند معدل الإضافة الأعلى من زرق الدواجن 160طن/هـ، وأدى التسميد بكلا السمادين المعدني والعضوي إلى زيادة حركة الفوسفور في أفق تربة أعمدة الدراسة. لقد بلغت الكميات المنغسلة من الفوسفور والأمونيوم والنترات 7، 29، 246 مغ/ليتر على التتالي (Li *et al.*, 1997)، وذلك في تجربة أعمدة بارتفاع 20 سم وقطر داخلي 7.5 سم، حيث استقبلت هذه الأعمدة (تربة رملية) خمسة أنواع من الكمبوست بمعدل 100 طن/هكتار، رويت هذه الأعمدة بالماء المقطر يومياً لمدة خمسة أيام بمعدل 300 ml يومياً وهو ما يعادل 35 سم هطول مطري. غُسل 3.3–15.8% من محتوى الكمبوست من الآزوت و0.2–2.8% من محتواه الكلي من الفوسفور، والجدير بالذكر أن كمية النترات العظمى المنغسلة حصلت بمراحل مبكرة بعد إضافة 300–400 مل والتي تعادل 6.8–9.1 cm هطول مطري لتتناقص بشكل سريع، بينما استمرت قيم الفوسفور بالفقد لتزداد مع زيادة الكمية المضافة من المياه حتى النهاية 1500 مل، وبلغ الأمونيوم المفقود بالغسيل 28 مغ/ل عند الرية الثانية لينخفض إلى 4 مغ/ل عند الرية الأخيرة. وجد Grey و Henry (1999) أن أكثر من نصف الكميات المفقودة من الكالسيوم والمغنزيوم والبوتاسيوم حدثت خلال الغسلات الأربعة الأولى، واستمرت عمليات الفقد رغم انخفاضها ثابتة حتى الغسلة العاشرة، لقد تمت هذه الدراسة على نوعين من الكمبوست متوضعة في أنابيب بأقطار 6.35 سم وارتفاع 30 سم والغسل ب150 مل من الماء منزوع الأيونات. تزداد نسبة البوتاسيوم المتبادل 38% عند معاملة تربة سلتية رملية بنوعين من الكمبوست بمعدلات وصلت إلى 100 طن/هكتار (Courtney and Mullen, 2008)، ويتحرر 42% من البوتاسيوم بشكل قابل للاستخلاص بالماء عند استخدام كمبوست مخلفات المدن (Bhattacharyya *et al.*, 2007). إن هذه النسبة قابلة للغسيل عند توفر حمولة مائية فوق السعة الحقلية تبعاً للتوازنات الكيميائية لمحلول التربة.

إن التقليل من كميات العناصر الخارجة خارج المنظومات الزراعية أمر بغاية الأهمية، لإبقاء هذه العناصر ضمن المجال الحيوي لجذور النبات والزراعات اللاحقة مما يحسن من كفاءة استرداد هذه العناصر من قبل النبات وكفاءة الأسمدة المقدمة العضوية منها والمعدنية، فضلاً عن الوقاية البيئية من مخاطر انغسال هذه العناصر ووصولها للمياه الجوفية وخاصة الآزوت والفوسفور. قد يكون تزويد وسط الزراعة بمصادر عضوية مزودة بمبادل أيوني كالزيولايت (سيليكات الألمنيوم المائية) السبيل لذلك. يمتلك الزيولايت شحنة عامة سالبة نتيجة الاستبدال الأيوني المتماثل بين السليكون الرباعي التكافؤ والألمنيوم الثلاثي التكافؤ، يتم تعديل هذه الشحنة عبر الكاتيونات الأحادية والثنائية التي تستقر في الفجوات والقنوات عبر روابط التجاذب الكهربائي الساكنة والضعيفة نسبياً (Rozic *et al.*, 2000). تُكسب خصائص الزيولايت كالمسامية العالية والغربلة القدرة على التبادل الكاتيوني والانتقائية الأيونية (Santiago *et al.*, 2016)، حيث يمتاز الزيوليت الطبيعي بسعة تبادلية كاتيونية عالية 2–4 ميلي مكافئ لكل غرام، وذلك بحسب نقاوة الخام الزيوليتي، وانتقائية أيونية لبعض الأيونات كالبوتاسيوم والأمونيوم (Mumpton, 1999)، كما يمكن للزيوليتات أن تعمل كأسمدة بطيئة التحرير للمغذيات أو متحكم بها (Younes, 2018; Soltys *et al.*, 2020; Salameh *et al.*, 2024)، وتحسن محتوى التربة من المغذيات عن طريق تقليل الغسيل (Eprikashvili *et al.*, 2016). حاول الباحثون الاستفادة من خواص الزيولايت لتحسين كفاءة الأسمدة العضوية واستدامة محتواها من العناصر.

قام kithome (1998) بإضافة الزيولايت بمعدلين 35% و60% لمخلفات الدواجن أثناء التخمير لاصطياد الأمونيا المنبعثة خلال التخمير وإبقاءها ضمن منظومة التخمير، وبلغ مقدار تخفيض الفقد 44% بوجود الزيولايت. أُلحقت هذه النتائج بتجربة أصص في تربة رملية على نبات Italian ryegrass، حيث استقبلت الأصص السماد العضوي حسب محتواه من الآزوت بكمية تعادل 500 و250 كغ N/هـ والري مرتين أسبوعيا بـ 300 مل من محلول سماد متوازن (20–20–20) وغسلت الأصص مرتين أسبوعيا بـ 500مل من الماء منزوع الأيونات والتي تعادل 26 ملم هطول مطري، خلصت الدراسة إلى إمكانية استخدام الكمبوست المعامل بالزيولايت كسماد يحرر الآزوت ببطء ويقلل من انغسال الآزوت. وأضاف Gholamhoseini وآخرون (2013) الزيولايت لمخلفات الأبقار بمعدلات وصلت إلى 21% ليكون المعدل الأفضل في تخفيض فقد الآزوت بالغسيل، أدى إضافة هذا المعدل إلى جانب سماد اليوريا لتخفيض الآزوت المغسول 27% و36% عند مقارنته بمعاملة المخلفات مع اليوريا ومعاملة اليوريا لوحدها على الترتيب. ويشير Taheri–Soudejani وآخرون (2019) أن غسيل النترات يكون في الريات الأولى ومرتبطاً بكمية الري ونوع ومعدل الزيولايت، وأن تخفيض غسيل النترات في معاملات الكمبوست المعامل بالزيولايت يكون بسبب زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء وتحسين تغلغل وانتشار الجذور وحماية كاتيونات الأمونيوم من التفاعلات الكيميائية والحيوية التي تطرأ عليها كتفاعل النترجة، فادمصاص الأمونيوم المتاح على الزيولايت يحميه من نشاط البكتريا التي تحوله إلى نترات مما يقلل من انغساله وهذا ما أشار له Ferguson وPepper (1987)، حيث توصلا لإمكانية تقليل انغسال الأمونيوم في التربة باستخدام الزيولايت عن طريق الحماية الفيزيائية للأمونيوم عند ادمصاصه من فعل بكتريا النترجة. بنى Omar وآخرون (2015) على هذه النتائج فقللوا من الفقد الآزوتي بالغسيل من التربة بشكليه (NO_3^-،NH_4^+) عند تطبيق اليوريا إلى جانب الكمبوست والزيولايت سواء كل على حدى أو مجتمعين معاً، وكان دور الزيولايت جليّاً حيث بلغت الكمية التراكمية المفقودة بالغسيل من التربة في معاملة اليوريا حوالي325 و85 ppm من NH_4–N و NO_3–N على الترتيب ليخفضها وجود الزيولايت معنوياً إلى حوالي 225 و55 على التتالي.

اعتمد Moraetis وآخرون (2015) على ألفة وانتقائية الزيولايت للبوتاسيوم لتقليل الفاقد منه في تربة رملية أضيف لها كمبوست المخلفات البلدية، تضمنت الدراسة تجارب تحرير وأعمدة في الوقت الذي لم يؤثر الزيولايت على معدل البوتاسيوم المتحرر من خليط التربة والكمبوست لكنه زاد من البوتاسيوم المتاح حيوياً 18 مرة، وفي تجارب الأعمدة قلل الزيولايت 6 مرات من الكمية الكلية المغسولة من البوتاسيوم. وهنالك عدد محدود من الدراسات التي أشارت إلى دور الزيولايت الطبيعي في تقليل فقد الفوسفور من التربة والسماد العضوي، حيث أشار Gholamhoseini وآخرون (2013) إلى الدور المحتمل للزيوليت في تقليل فقد الفوسفور بالانغسال من تربة رملية استقبلت مخلفات الأبقار المعاملة بالزيولايت، لقد خفض الزيولايت بالمعدلين 21% و14% من كمية الفوسفور المنغسلة إلى 11 و10 كغ/هكتار على التتالي، ليفقد 15 كغ/هكتار من معاملة المخلفات دون زيولايت. قد يتشابه الأمونيوم والبوتاسيوم في آلية حفظهما بوجود الزيولايت كونه يملك سعة تبادلية كاتيونية وانتقائية موثقة لكل من البوتاسيوم والأمونيوم على عكس الفوسفور المشحون بشحنة سالبة (PO_4^{-3}) والذي يتطلب وجود سعة تبادلية أنيونية. لجأت الدراسات البيئية والزراعية التي استخدمت الزيولايت كسطح امتزاز للفوسفور لتعديله (Nakhli *et al.*, 2017; Salameh *et al.*, 2022). لقد استخدم Moharami و Jalali (2014) شوارد الحديد لتحسين قدرة عدد من الفلزات ومنها الزيولايت على تقليل الفوسفور المفقود بالغسيل، فلقد تحسنت نسبة حماية الفوسفور من الغسيل 10% في حالة الزيولايت غير المعدل إلى 14% عند تعديله. أسند الباحثين نتائجهما إلى امتلاك أكاسيد الحديد والألمنيوم سعة ادمصاصية للفوسفور بالتالي انخفض الفقد بالغسيل.

أهمية البحث وأهدافه:

تمتلك الجمهورية العربية السورية احتياطي هام من التكشفات الزيوليتية الخام ويبلغ الاحتياطي القابل للاستثمار 585 مليون طن من الزيولايت (General Establishment Of Geology, 2000)، ويشكل الفيليبسيت والأنالسيم المكونين الزيوليتيين في خام الزيولايت السوري والذي استخدم لإزالة الفوسفور من المحاليل المائية بالاعتماد على محتواه من الأكاسيد (Hatem,2018)، وربط وتحرير الأمونيوم (Younes *et al.*, 2023). قد تشكل إضافة الزيولايت السوري إلى المادة العضوية وسيلة لتقليل الفاقد بالغسيل من العناصر الغذائية مما يحسن من كفاءة استخدام المغذيات وجودة السماد العضوي، ولذلك فقد هدف البحث إلى:

1. دراسة إنغسال الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم تحت ظروف الزراعة المحمية.
2. الدور المحتمل للزيولايت السوري في الحد من انغسال العناصر من كمبوست مخلفات المداجن.

طرائق البحث ومواده:

وسط الزراعة:

1. التربة: جمعت الحترة من التكشفات البركانية لتربة الحترة في منطقة بانياس، تم تنعيمها وتنخيلها بمنخل 2مم.
2. مخلفات المداجن: تم الحصول عليها من مدجنة خاصة، جففت هوائياً، وحفظت في أكياس لحين الاستخدام. لتحضير الكومبوست (OM)، تم تخمير المخلفات ضمن عبوات من البلاستيك (براميل) سعة 200 ليتر. استقبلت العبوات 22.5 كغ من المخلفات الجافة تماماً. لإنتاج معاملة الخليط مع الزيوليت (OMZ) أضيف الزيولايت الطبيعي للمخلفات بمعدل 15% وزناً وخلط مع المخلفات جيدا ثم وُضع في البرميل. ضبطت درجة الرطوبة أسبوعيا بنسبة

50–60% من الرطوبة الوزنية وذلك بإضافة الماء من الأعلى والتحريك لضمان تجانس المحتوى. زودت البراميل بالهواء جانبياً من خلال مضخة.

3. خام الزيولايت السوري: يعود مصدر الخام الزيوليتي إلى منطقة السيس تل مكيحلات التي تبعد 170كم جنوب شرق دمشق. بعد التجفيف بالفرن على حرارة 50 درجة مئوية، طُحنت عينة الزيوليت ثم غُسلت بالماء المقطر ونُخلت بمنخل قطر فتحاته 2 مم.

خضعت عينة ممثلة من كل من الحترة ومخلفات الدواجن والزيولايت للتحليل المخبري لتحديد أهم الخواص (Ryan *et al.*, 2001). جمعت نتائج التحليل في الجدول (1) و(2). يُلاحظ بأن التربة ذات pH و EC مناسبة لزراعة البندورة، وذات محتوى عالي من العناصر الغذائية (Mg, Ca, K, P, N)، وذات محتوى منخفض من المادة العضوية. تشير نسبة C:N بأن مخلفات المداجن ذو درجة تخمر جيدة و محتوى مهم من العناصر الغذائية الكبرى.

جدول 1: الخواص الخصوبية لتربة الدراسة القيم هي متوسط ثلاث عينات أخذت عشوائياً.

تحليل ميكانيكي (%)			pH	EC	C–عضوي	OM	CEC	العناصر المتاحة مغ/كغ				
رمل	سلت	طين	2.5:1	2.5:1 ميليموس/سم	(%)	(%)	م.م/100غ	P	K	Ca	Mg	NH_4
71	18	11	7.90	0.53	0.45	0.77	61.2	8	200	9760	1776	18
رملية لومية												

جدول 2: بعض خواص كل من كمبوست مخلفات المداجن الزيولايت السوري.

	TN%	TP%	C%	C/N	OM%	pH مستخلص (1:5)	EC مستخلص (1:5)
OM	1.73	0.410	21.03	12.15	36.25	7.89	8.54
OMZ	1.68	0.401	19.45	11.57	33.53	7.94	8.62
الزيولايت السوري	%$CaCO_3$			CEC م.م/ 100غ		pH مستخلص (1:2.5)	%T-Fe_2O_3(*)
	14.7			115		8.6	18.14

(*) Hatem (2018)

معاملات التجربة:

تضمنت التجربة 4 معاملات بواقع ثلاث مكررات مما يجعل عدد الأعمدة الكلي 12 عموداً.

CONTROL: استقبل العمود تربة الحترة فقط.

OM: استقبل العمود تربة الحترة وكمبوست مخلفات المداجن.

OMZ: استقبل العمود تربة الحترة وكمبوست مخلفات المداجن المخمر مع 15% وزنا من الزيولايت.

OM+Z: استقبل العمود تربة الحترة وكمبوست مخلفات المداجن والزيولايت (تم حساب وزن الزيولايت الموجود في وزن OMZ المضاف للعمود وأضيف نفس الكمية من الزيولايت لهذه المعاملة).

تصميم التجربة:

صممت تجربة لزراعة البندورة في أعمدة لدراسة حركة الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم في أفق التربة وانغسالها مع ماء الصرف. استخدمت أعمدة بلاستيكية اسطوانية الشكل بسماكة 7 ملم وقطر 25 سم وارتفاع 50 سم. نصبت الأعمدة على حوامل خشبية حيث يتم استقبال ماء الصرف في أوعية بلاستيكية أسفل الأعمدة.

البرنامج التسميدي:

خلطت الأسمدة الأساسية من اليوريا (46% N)، سوبر فوسفات ثلاثي (46% P_2O_5)، وسلفات البوتاسيوم (50% K_2O) وذلك بالكميات التي يشير لها الجدول (3) لجميع المعاملات ، وتمت إضافة كمبوست مخلفات المداجن 8% وزناً. كان وزن التربة التي تتسع لها الأعمدة 24 كغ في معاملات الشاهد بدون تسميد عضوي، وتمت إزاحة وزن المادة العضوية المضافة من وزن التربة (2 كغ لتعادل 8% مادة عضوية). ملئت الأعمدة لارتفاع 40 سم مع الرص لتحقيق كثافة ظاهرية تقارب 1.25 غ/سم3.

جدول 3: البرنامج التسميدي المتبع في دراسة الأعمدة.

الإضافات السمادية	الزمن بعد التشتيل (أسبوع)
سوبر فوسفات مثلث (TSP, 46% P_2O_5)= 20.8غ سلفات البوتاسيوم (50% K_2O)= 16.7 غ يوريا (46% N)= 12 غ	تسميد أساسي 8% مادة عضوية
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 اليومية بمعدل 1 ليتر بالتنقيط للسماح للتربة بالاستقرار، واستمرت عملية الري حتى بدء ظهور قطرات ماء الصرف في العبوات أسفل الأعمدة. تركت التربة للتوازن لمدة أسبوعين قبل زراعة شتول البندورة (صنف هجين بستونا)، وهي شتول متجانسة بعمر 4–6 أوراق حقيقية. تمت الزراعة بتاريخ 7 أيار 2022. تم ترطيب تربة الأعمدة بمعدل مرتين أسبوعياً في مراحل النمو الأولى حتى ظهور العنقود الزهري الثالث، ومن ثم كل يومين حتى نهاية التجربة. تمت عمليات المكافحة الوقائية للأمراض الفطرية (اللفحة، بياض زغبي، وبياض دقيقي)؛ والإصابات الحشرية (الذبابة البيضاء وحافرة الأنفاق).

ماء الصرف والتحاليل المخبرية:

تم جمع ماء الصرف مرة كل أسبوع بعد رية 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 الخامس عشر (حتى اليوم 98 من عمر التجربة)، وكما هو مشار له في الجدول (3). تم تسجيل حجم ماء الري المستخدم في كل عمود وقياس كمية الماء الراشح بعد 12 ساعة من الري الذي تم استقباله في عبوات أسفل الأعمدة. تم إجراء التحاليل المخبرية التالية على ماء الصرف:

- قياس الناقلية الكهربائية باستخدام جهاز الناقلية الكهربائية
- قياس تركيز الأمونيوم بطريقة الأندوفينول، تفاعل بيرثلوت حسب (Rhine *et al.*, 1998).

- تقدير الفوسفور المتفاعل مع المولوبيدات (MRP) بطريقة الموليبدنيوم الأزرق (Murphy and Riley, .1962)
- تقدير البوتاسيوم باستخدام جهاز اللهب

التحليل الإحصائي:

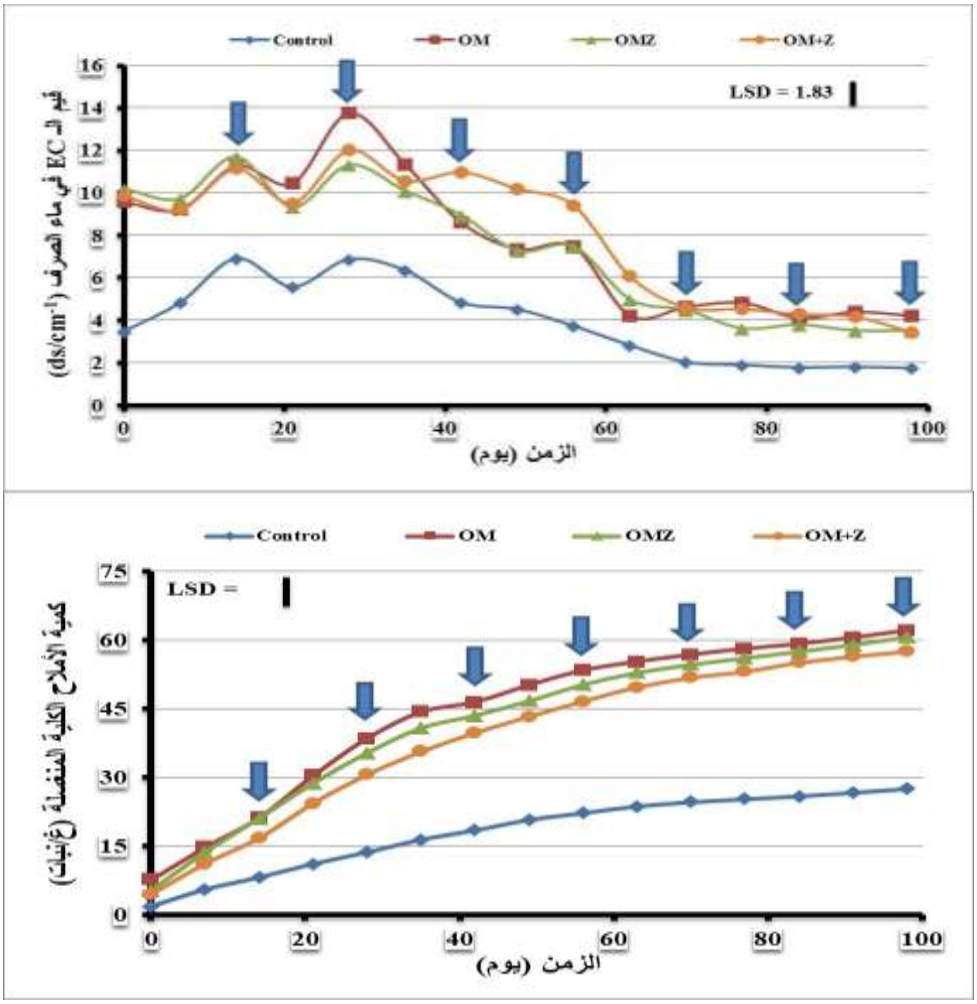
خضعت جميع معطيات التجربة للتحليل الإحصائي ANOVA على اعتبار أن مصدر التباين هو إضافة مخلفات المداجن (OM)، الزيولايت (Z)، والزمن بالأيام (Time) ، والتأثيرات المتداخلة بين هذه العوامل. كما تم فصل المتوسطات وحساب أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية 5%، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي (SAS institute, 1999).

النتائج والمناقشة:

الأملاح الكلية المنغسلة:

يبين الشكل (1) أن قيم الناقلية الكهربائية في بداية التجربة (الزمن 0) عالية في المراحل الأولى لنمو محصول البندورة في جميع المعاملات، وتمت ملاحظة أثر قيم الملوحة العالية على النبات باحتراق أطراف الأوراق ومحدودية النمو. كانت قيم الـ EC بحدود 4 ميليموس/سم في معاملة الشاهد، وتصل إلى أكثر من 10 ميليموس/سم في معاملات الكومبوست جميعها. تتذبذب قيم الـ EC في المراحل الأولى للتجربة حيث تنخفض نتيجة خروج العناصر مع ماء الصرف من عمود الزراعة ويحدث ارتفاع طارئ على قيم الملوحة بالتزامن مع مواعيد إضافة الجرعات السمادية اللاحقة (جدول 3). أخذت منحنيات المعاملات التي تلقت كومبوست شكلاً متشابهاً بتناقص مؤشر الملوحة مع الزمن لتكون القيم عند الأسبوع العاشر دون 5 ميليموس/سم، ومع استمرار الغسيل حتى اليوم 98 حيث تصبح قيم الـ EC أقل من 3.5 ميليموس/سم بالنسبة لمعاملتي الكومبوست مع الزيولايت (OMZ, OM+Z)، و4.21 لمعاملة الكومبوست (OM)، بينما تكون حوالي أو أقل من 2 ميليموس/سم في معاملة الشاهد في الأزمنة الأخيرة. جاءت هذه النتائج متوقعة من حيث تناقص الملوحة مع الزمن ومتوافقة مع بعض الدراسات سواءً بوجود تسميد عضوي أو عدمه. لقد انخفضت قيم الملوحة مع الزمن بزيادة كمية ماء الصرف في تجربة أعمدة لـ Fernandez-Sanjurjo وآخرين (2014) من 8 ميلي موس/سم إلى 0.034 و0.024 عند استخدام نوعين من السماد المعدني دون تسميد عضوي، وانخفضت قيم الناقلية الكهربائية عند استخدام نوعين من الكمبوست دون 1 ميليموس/سم مع زيادة ماء الصرف حتى 6 ليتر بعد أن كانت قيم الـ EC في المراحل الأولى تتراوح من 3 إلى 7 ميليموس/سم (Mullane *et al*., 2015).

تم حساب كمية الأملاح المفقودة عند كل رية وتمثيلها تراكمياً مع الزمن (الشكل 1)، على اعتبار أن 1 ميليموس يعادل 640 مغ/ل لكل درجة واحدة في سلم الملوحة EC (Marschner, 1995). لقد وصلت كمية الأملاح المفقودة من معاملة الشاهد إلى 27.6 غ/نبات، وترتفع في جميع معاملات الكومبوست أكثر من ضعفين مقارنة مع الشاهد، فقد بلغت 62 غ/نبات بمعاملة الكومبوست (OM) لتنخفض لكن بشكل غير معنوي عند وجود الزيولايت في الحالتين، عند تخميره معها (OMZ) وعند إضافته بعد التخمير (OM+Z) لتبلغ تواليا 60.65 و57.59 غ/نبات. إن هذه القيم العالية من الأملاح التي خرجت من منظومة تربة–نبات مؤشر خطير عن الخسارة الاقتصادية التي يتكبدها المزارع نتيجة للإضافات السمادية سواء المعدنية والعضوية والري بكميات مبالغ بها، وتبدو المشكلة كبيرة عند الانتقال من هذه القيم وحسابها على مساحة بيت بلاستيكي 400م^2 يستوعب 1200 نبات بندورة. يمكن حساب كمية من الأملاح الكلية المنغسلة في معاملة OMZ 1820 كغ/هـ خلال 98 يوم فقط من عمر بقاء نباتات البندورة في الزراعة المحمية.

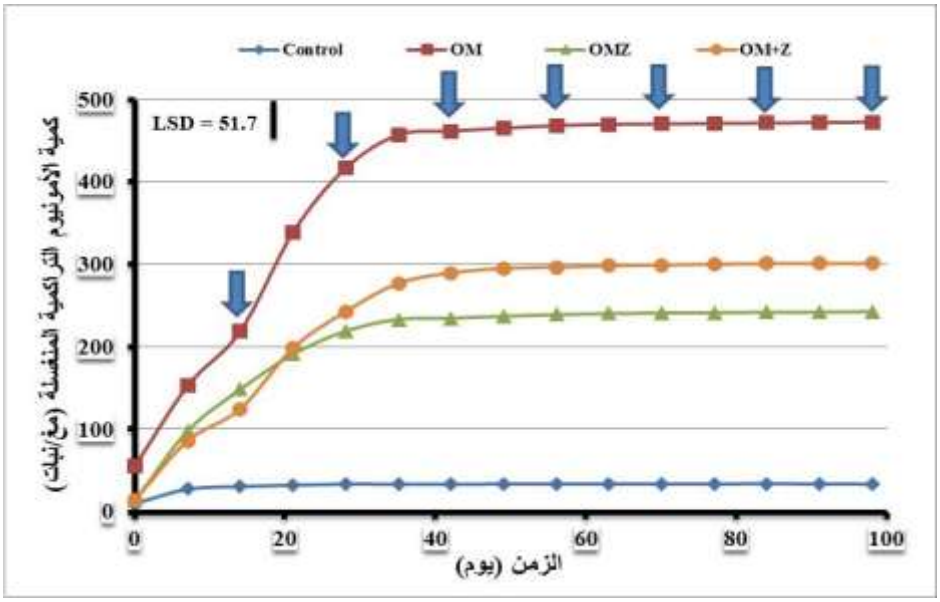


شكل 1: قيم الناقلية الكهربائية والأملاح التراكمية في ماء الصرف خلال 98 يوم
تم خلالها رية أسبوعياً. تشير الأسهم إلى مواعيد التسميد الإضافي كل 15 يوم.

الأمونيوم المنغسل:

تبدأ عملية الانغسال بعد إشباع التربة بالماء فوق سعتها الحقلية فيتسرب الماء عبر مقطع التربة حاملاً معه الذائبات كالأمونيوم. لقد شجعت إضافة الكومبوست على غسيل الأمونيوم، فكل المعاملات التي استقبلت الكومبوست سجلت قيم أكبر لفقد الأمونيوم مقارنة مع الشاهد (شكل 2)، رغم تلقيه ذات الجرعة من التسميد المعدني، يعود ذلك لغنى كمبوست مخلفات المداجن بالآزوت، وخاصة الشكل الأمونياكي. تزداد باضطراد قيم الأمونيوم المنغسل في جميع المعاملات التي تلقت الكمبوست في المراحل الأولى من عمر التجربة (حتى اليوم 21– 28)، لتبدأ بعدها القيم بالانخفاض و تستقر في الريات اللاحقة، فهي تتزامن مع نمو النبات وزيادة احتياجه من الآزوت، فالأمونيوم المنغسل هو الشكل الذائب منه والذي لم يتم امتصاصه من قبل النبات. لقد بلغت الكمية التراكمية المفقودة من الأمونيوم في معاملة الكومبوست (OM) 472.5 مغ NH4-N/نبات، حيث يفقد حوالي 88% من هذه الكمية الكلية خلال 28 يوم (شكل 2)، استمرت قيم الفقد لكن بشكل أقل اضطرادا لتبلغ 96% عند اليوم 35، ولتنخفض بشكل كبير في الريات اللاحقة وتسجل قيم قريبة من الصفر في الريات الأخيرة حتى 98 يوم. أظهرت نتائج Nunez-Delgado وآخرون (2002) ونتائج Fernandez-Sanjurjo وآخرون (2014) إلى فقدان حوالي 70% من الأمونيوم خلال خمسة أيام

من بداية تجربة الغسيل. وباعتبار أن مساحة البيت البلاستيكي 400 م2 ويستوعب 1200 نبات فإنه يمكن حساب الكمية الكلية الآزوت الأمونياكي التي يمكن أن تنغسل باتجاه المياه الجوفية والبالغة 14.175 كغ NH4-N من هكتار من الزراعة المحمية خلال 98 يوم من عمر المحصول في الأرض. تعتبر هذه الكمية من الأمونيوم كبيرة تسبب تلوث كبير للمصادر المائية (EPA, 1974)، خاصة أن المصادر الإحصائية في وزارة الزراعة السورية (statistical-groups, 2020) تشير إلى أن عدد البيوت البلاستيكية في الساحل السوري تزيد عن 150 ألف، وتشغل بالتالي مساحة تقريبية 6000 هكتار.



شكل 2: الكمية التراكمية من الـ NH4 المنغسلة من العمود (نبات) في ماء الصرف خلال 98 يوم. تشير الأسهم إلى مواعيد التسميد.

لقد أدت إضافة الزيولايت إلى الكومبوست سواء خلال مرحلة التخمير (OMZ) أو بعد التخمير (OM+Z) إلى تقليل الفقد الأمونياكي مع ماء الصرف. بلغت الكمية التراكمية المفقودة من الأمونيوم في المعاملة (OMZ) 242.4 مغ NH4-N/نبات، وهي تشكل نسبة تخفيض 48% مقارنة مع معاملة الكومبوست لوحده. لقد لعب الزيولايت دوراً مشابهاً في تخفيض الأمونيوم الفاقد مع الغسيل عند إضافته بعد تخمير المخلفات العضوية، لكن مع قيم فقد أعلى بلغت حوالي 300 مغ NH4-N/نبات، وهي نسبة تخفيض تساوي 36%، وأيضا بالمقارنة مع معاملة الكومبوست لوحده. جاءت هذه النتائج متوافقة مع عدد من الدراسات من ناحية تخفيض الأمونيوم المنغسل بنسب تراوحت بين 83 إلى 99% من السماد المعدني في ترب رملية ورملية لومية عند استخدام معدلات من الزيولايت بنسب تراوحت بين 0.8−10% (Mackown and tucker, 1985; Huang and Petrovic,1994; Zwingmann *et al*., 2009). وعند تواجد المادة العضوية أيضا خفض الزيولايت من الأمونيوم المنغسل من الكمبوست واليوريا بنسبة حوالي 10% (Omar *et al*., 2015)، وساهم في حماية الأمونيوم بنسبة بلغت حوالي 64% في تربة رملية لومية (Taheri-Soudejani *et al*., 2019).

يمتلك الزيولايت شحنة عامة سالبة، قد تعدل هذه الشحنة بادمصاص الكاتيونات كالأمونيوم أو قد يحصل تبادل بين الأمونيوم والكاتيونات المدمصة على الزيولايت، وتشير دراسات سابقة إلى قدرة الزيولايت السوري على ربط الأمونيوم مخبرياً من المحاليل المائية للأمونيوم، حيث بلغت الكمية المدمصة العظمى من الأمونيوم على شكل طبقة

واحدة Q_{max} =9.65 مغ/غ زيوليت (Younes *et al*., 2023). لعلها الآلية التي خفض بها الزيولايت الأمونيوم المنغسل كونه يلعب دور مبادل كاتيوني للأمونيوم. توثق عدد من الدراسات انتقائية للكاتيونات ومنها الأمونيوم على الزيولايت (Mumpton, 1999; sarioglu, 2005)، إن أبعاد القنوات الثمانية على المستوى البللوري [011] في الأنواع الزيوليتية السائدة في الخام السوري: 4.2 A^o × 1.6 A^o ، 3.2 A^o × 3.3 A^o بالنسبة للأنالسيم والفليبسيت على الترتيب (Baerlocher *et al*., 2007)، بالتالي فإن جزيئة الأمونيوم قادرة على الولوج داخل هذه القنوات لتصل السطوح الداخلية للزيوليت إذ يبلغ قطر جزيء الأمونيوم 0.286 nm= 2.86 A^o (Li *et al*., 2010). إن دخول الأمونيوم لهذه القنوات وادمصاصه على سطوحها يحميه من الغسيل ومن التحولات البيوكيميائية التي يتعرض لها جزيء الأمونيوم من قبل بكتريا التأزت حيث لا تستطيع الوصول إليه في مواقعه لإنتاج الشكل النتراتي المعرض للغسيل (Ferguson and Pepper , 1987; Mondal *et al*., 2021).

الفوسفور المنغسل:

يظهر الشكل (3) الكمية التراكمية مع الزمن لانغسال الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات (MRP) حيث تبدو القيم متقاربة في الزمن صفر من عمر التجربة، ويستمر التقارب بين الشاهد ومعاملة الكومبوست OM حتى الزمن 28 يوم حيث تلقت الأعمدة خلال هذه المدة جرعتين من التسميد عالي الفوسفور، وتصبح قيم الفوسفور في الزمنين 35 إلى 42 يوم في معاملة المادة العضوية أكبر من الشاهد، ولكن بشكل غير معنوي، وتصبح التباينات معنوية في الأسبوع اللاحق وحتى نهاية دراسة الانغسال في اليوم 98، لتبلغ الكمية الكلية المنغسلة 22.8 و37.7 مغ/نبات في لمعاملتي الشاهد (CONTROL) والكومبوست (OM)، على التتالي، حيث يتضح دور المادة العضوية في زيادة الفوسفور المنغسل مع الزمن. إن تحلل البقايا العضوية مع تقدم الزمن، وإنتاجها للأحماض العضوية التي تنافس الفوسفور على مواقع الادمصاص (Guppy *et al*., 2005)، يؤدي إلى انخفاض احتفاظ التربة بالفوسفور (Iyamuremye *et al*., 1996)، مما سبب زيادة انغساله في معاملة المادة العضوية قياساً بالشاهد.

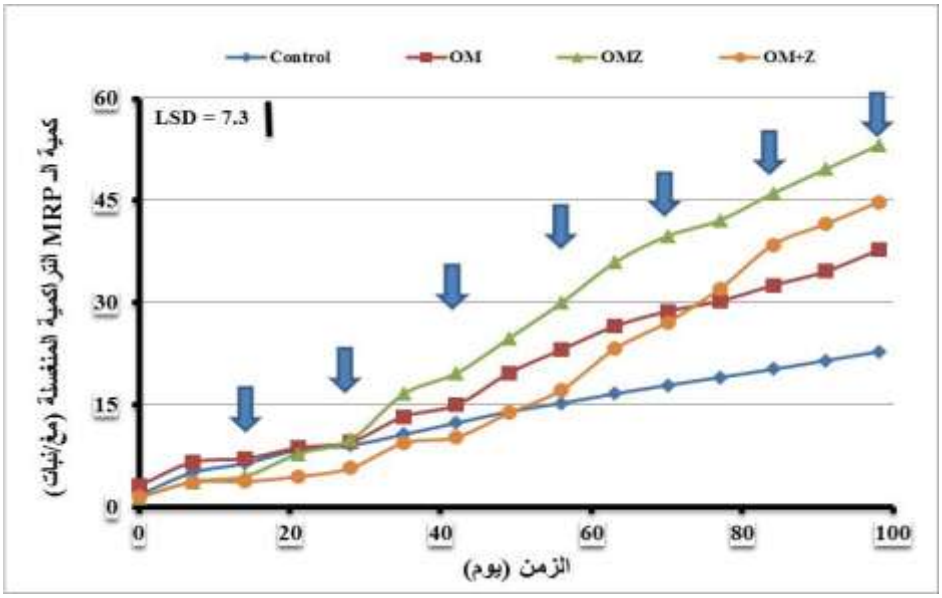
يشكل الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات (MRP) أحد أشكال الفوسفور الكلي الذائب المنغسل وقد يتضمن (MRP) جزءاً من الفوسفور العضوي على اعتبار أن طريقة تقديره تستتخدم مولبيدات الأمونيوم المحضرة في 4 مولار من حمض الكبريت الذي يجعل وسط التفاعل حامضي يسمح بحلمهة بعض الأشكال العضوية البسيطة للفوسفور، ويتم بالتالي تقديرها على أساس أنها فوسفور معدني (Haynes and Williams, 1993). أشارت دراسة لـ Alloush وآخرون (2003) أن زيادة معدل إضافة المادة العضوية يزيد من الفوسفور الكلي المنغسل، وقد شكل الجزء العضوي 50–60% من الفوسفور الكلي المنغسل في تجربة أعمدة تضمنت نوعين من التربة ومسمدة بالزبل البقري بمعدلي 4 و8% (Alloush *et al*., 2023). إن هذه الكميات الكبيرة من الفوسفور المنغسل بأشكاله، وخاصة العضوي منه لربما تجعل من الضروري الأخذ بالحسبان محتوى المادة العضوية من الفوسفور، إذ غالباً ما يُنظر إلى محتوى السماد العضوي من الآزوت دون النظر لمحتواه من الفوسفور وطاقة التربة للاحتفاظ بالفوسفور. لقد اقترح Eghball و Gilley (1999) أن تتم إضافة السماد العضوي لتلبية متطلبات المحصول من الفوسفور فقط، بينما تلبى احتياجاته من الآزوت عبر التسميد المعدني. لعل ذلك يخفف الفاقد الفوسفوري بتواجد المادة العضوية.

لم يخفض تخمير الزيولايت مع الكومبوست OMZ من كمية الفوسفور المنغسلة من الأعمدة، فقد بلغت كمية MRP التراكمية عند نهاية زمن التجربة 53.11 مغ/نبات وبشكل أكبر معنوياً من المعاملة OM. لقد اقتصر دور الزيولايت على المراحل الأولى للتجربة حتى 28 يوم بقيم انغسال أقل، لكن بشكل غير معنوي، لتفقد الأعمدة الفوسفور بشكل

متواتر وبقيم متزايدة مع الريات المتعاقبة حتى النهاية. في الوقت الذي لم تؤدِ إضافة الزيولايت إلى جانب كومبوست مخلفات المداجن بعد التخمير (OM+Z) لتخفيض انغسال الفوسفور بقيمة تراكمية 44.8 مغ/نبات/عمود إلا أنها لعبت دوراً مبشراً حتى 70 يوم من عمر التجربة، ويشير الشكل (3) أن قيم الغسيل كانت أقل لكنها غير معنوية لتتواتر الكميات المفقودة لاحقا بشكل أكبر من معاملة الكومبوست لوحده (OM) وتسجل قيم انغسال أكبر في النهاية عند اليوم 98 لكن أيضا بشكل غير معنوي.

تتطلب إزالة الفوسفور من الوسط عن طريق الزيولايت وجود أكاسيد الحديد والألمنيوم الموجودة فعلاً في الزيولايت السوري (Hatem, 2018)، لكن على ما يبدو أن المركبات العضوية الدبالية قللت من قدرة الأكاسيد المحتملة على ربط الفوسفور بتحييدها عن التفاعل. كما قللت المادة العضوية من طاقة ربط الفوسفور في التربة وسببت زيادة في انغساله مع ماء الصرف (Field *et al*., 1985). وبنفس الآلية المحتملة لحدوث ذلك وهي أن المركبات العضوية قادرة على تغليف (Coating) سطوح أوكسي هيدروكسيدات الحديد والألمنيوم (Tarkalson and Leytem, 2009). لعل المركبات العضوية قد لعبت دوراً مشابهاً بتغليف هذه الأكاسيد في الزيولايت، وقد يكون وجود الزيولايت في وسط التخمير قد أدى إلى حدوث هذا التغليف مبكراً والحد من دور الأكاسيد لاحقاً عند إضافتها لوسط الزراعة، وإن إضافته بعد التخمير قد أدت لاكتساب هذه الخاصية بربط الفوسفور إلى حين حدوث الآلية المقترحة في التغليف والتحييد عن التفاعل مع شاردة الفوسفات.

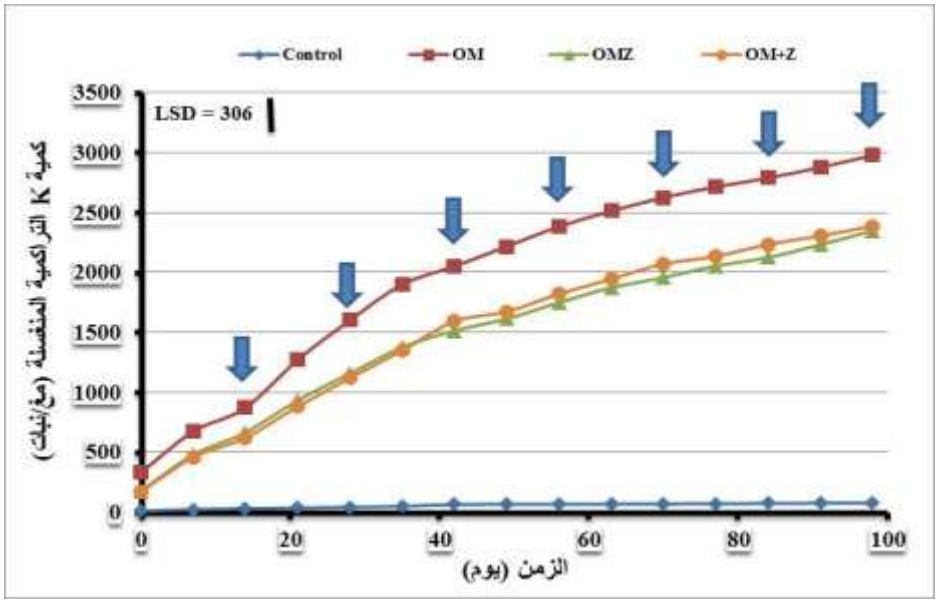
ولتسليط الضوء على مخاطر انغسال الفوسفور من الزراعة المحمية فإنه يمكن حساب الكمية المنغسلة من الفوسفور (53.11 مغ P/نبات x 1200 نبات في البيت البلاستيكي الواحد 400م2 x 150 ألف بيت بلاستيكي في الساحل السوري) لتبلغ 9560 كغ P، وهي كمية كافية لرفع تركيز الفوسفور إلى 10 ميكرو غرام P/ل في 9560 مليار م3 من الماء العذب(الماء الجوفي والمسطحات المائية القريبة منها). يعتبر هذا التركيز من الفوسفور (10 ميكروغرام/ل) العتبة الحرجة التي يبدأ عندها نمو الأشنيات بالتسارع (Sims *et al*., 1998). لقد ركزت الدراسات منذ تسعينات القرن الماضي على الفوسفور من جهة مقدرته على تلويث مصادر المياه الجوفية والمسطحات المائية والأنهار، وعلى آليات تحرر وانتقال الفوسفور من الترب الزراعية إلى المسطحات المائية. فالفوسفور هو أهم عنصر غذائي يجب إدارته بحزم لمنع تلوث المياه (Lemunyon and Daniel, 1998)، خاصة في المناطق والنظم الزراعية التي تؤدي سياسات التسميد المتبعة إلى ازدياد تراكيز الفوسفور في التربة.



الشكل 3: الكمية التراكمية من الـ MRP (الفوسفور المتفاعل مع المولبيدات) المنغسلة من العمود (نبات) في ماء الصرف خلال 98 يوم. تشير الأسهم إلى مواعيد التسميد.

البوتاسيوم المنغسل:

بدت معدلات انغسال البوتاسيوم أعلى في معاملة كمبوست مخلفات المداجن (OM) مقارنة بباقي المعاملات منذ بداية التجربة وحتى اليوم 98، وبلغت الكمية التراكمية للبوتاسيوم المنغسل 2977 مغ K/نبات في نهاية زمن القياس. لقد أدت إضافة الزيولايت مرافقاً لإضافة الكمبوست سواء قبل أو بعد التخمير (المعاملتين OMZ و OM+Z) إلى خفض الكمية التراكمية للبوتاسيوم المنغسل مع ماء الصرف إلى 2388 مع K/نبات، وهو انخفاض بمعدل 20% في نهاية القياس بعد 98 يوم (شكل 4). أما في معاملة الشاهد فلم تتجاوز الكمية الإجمالية من البوتاسيوم المنغسلة بعد 98 يوم 77.5 مغ K/نبات، على الرغم من أن معاملة الشاهد قد تلقت ذات الكميات من الأسمدة المعدنية الأساسية واللاحقة. هذا ما يشير إلى كميات البوتاسيوم المستنزفة خارج منظومة الزراعة في الزراعات المحمية التي تتضمن إضافة المصادر العضوية. يمكن تفسير الكميات المنغسلة الكبيرة في معاملة المادة العضوية لدورها في زيادة البوتاسيوم المتاح والبوتاسيوم الذائب (Alfaro *et al*., 2004; Najafi-Ghiri, 2014) ولعل ثبات واستمرار انغسال البوتاسيوم مع الزمن يعود لنفس السبب. لقد بيّن Broschat (1995) أن انغسال البوتاسيوم بقي ثابتا لمدة 6 أشهر عند تسميد النخيل المزروع في تربة رملية بأنواع مختلفة من الأسمدة وأن الانغسال كان مرتبطا مع الهطول المطري وحصل على قيم انغسال مقاربة لقيمنا فقد كان يفقد أسبوعياً 40–120 mg-K ومن الأسبوع 8 حتى 22 فقد 40–80 مغ بوتاسيوم من كل حوض. قد لا تشكل خسارة البوتاسيوم مع ماء الصرف مشكلة بيئية، لكنها خسارة اقتصادية لعنصر هام للزراعة المحمية وخاصة البندورة في ظل غلاء أسعار الأسمدة البوتاسية واستنزافه من قبل النبات في الوقت التي تتطلب إتاحته من قبل فلزات التربة فترة زمنية ليست بالقليلة. يمكن حساب الكمية المنغسلة من K وهي 3.572 كغ من بيت بلاستيكي يحتوي 1200 نبات وذي مساحة 400 م2.



الشكل 4: الكمية التراكمية من الـ K المنغسلة من العمود (نبات) في ماء الصرف خلال 98 يوم. تشير الأسهم إلى مواعيد التسميد.

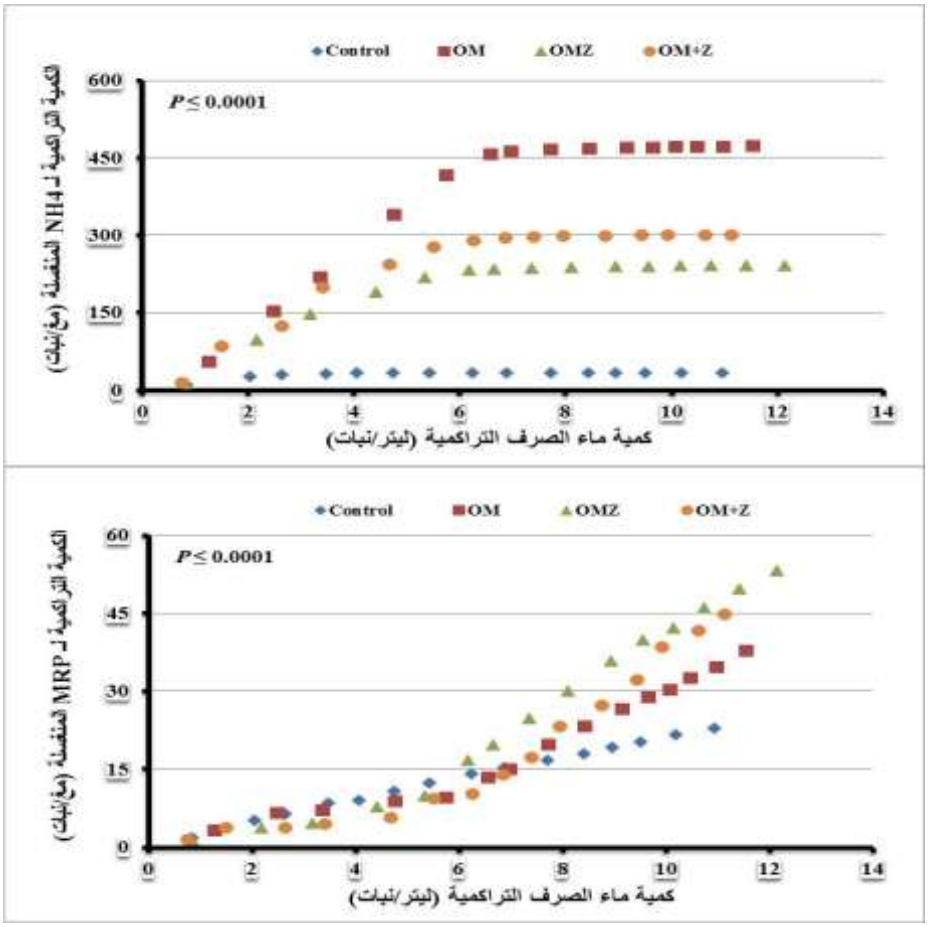
إن الآلية المقترحة لدور الزيولايت في تخفيض البوتاسيوم المنغسل تشابه آليته في ربط الأمونيوم فشحنة الزيولايت السالبة وسعته التبادلية العالية تجعل منه سطح ادمصاص للبوتاسيوم. من المفترض حدوث منافسة من قبل بقية الكاتيونات للبوتاسيوم والأمونيوم على مواقع الادمصاص وخاصة الكالسيوم والمغنزيوم جدول (1)، لكن الألفة والانتقائية

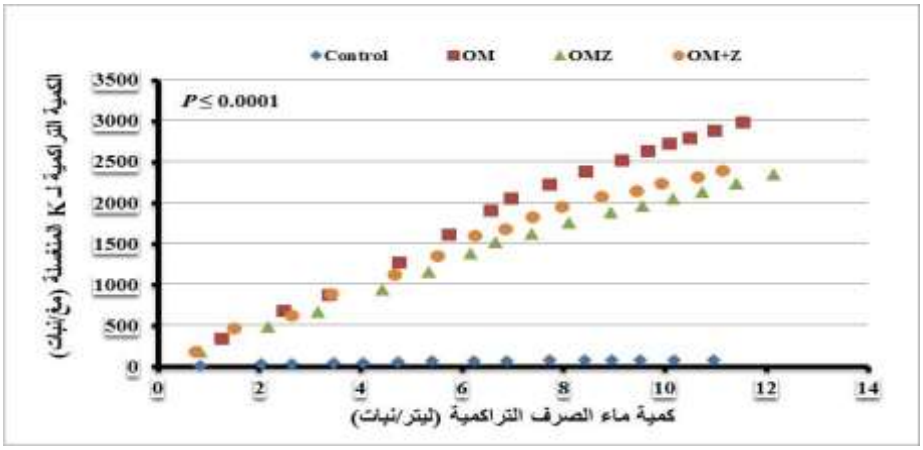
العالية للبوتاسيوم والذي يتصدر السلاسل الانتقائية لأكثر من نوع زيوليتي (Mumpton, 1999; Sarioglu, 2005) قد تجعل من المفضل ادمصاص البوتاسيوم على المواقع الداخلية للزيولايت. إذ يعتبر الزيولايت منخل جزيئي (Mumpton, 1999) يمارس الغربلة الجزيئية أو الكاتيونية بفضل أبعاد قنواته. لعل التشابه في الأقطار المائية بين كاتيوني الأمونيوم والبوتاسيوم يسمح لهما بالوصول إلى مواقع الادمصاص على السطوح الداخلية للزيوليت في الفجوات والقنوات، إذ يبلغ قطر الأمونيوم والبوتاسيوم المميهين 2.9 A° و 3.3 A° على الترتيب بينما يبلغ قطر الكالسيوم المائي 4.3 A° (Rao *et al*., 1999). إن ادمصاص البوتاسيوم على الزيولايت لا يحجبه عن وسط الزراعة بل يقوم بتحريره بشكل بطيء تبعا للتوازنات الكيميائية في التربة والتي في تجربتنا تختل نتيجة خروج البوتاسيوم مع ماء الصرف واستنزافه من قبل النبات تشير عدد من الدراسات لدور الزيوليت كسماد بطيء التحرير أو متحكم به للبوتاسيوم. استخدم Hershey وآخرون (1980) الزيوليت الغني بالبوتاسيوم كسماد بطيء التحرير للاقحوان، توصلت الدراسة إلى أن انغسال حوالي 90% من البوتاسيوم المقدم على شكل نترات البوتاسيوم بمعدل 3 غرام K لوسط الزراعة البالغ 1.6 ليتر والري بمحلول هوغلاند الخالي من البوتاسيوم، بينما انغسل 10% عندما قُدم نفس المعدل من البوتاسيوم مصدره الزيولايت، الجدير بالذكر أنهم توصلوا لإمكانية الحصول على إنتاج من خلال إضافة 50 غرام زيولايت مشابه لتزويد النبات بمحلول 234 ppm بوتاسيوم يوميا ولمدة 3 أشهر.

العلاقة بين كمية ماء الصرف مع الكمية التراكمية من الـ NH4 وMRP و K:

يفقد الأمونيوم بكميات كبيرة في مختلف معاملات الكمبوست في المراحل الأولى من التجربة، وتزداد الكميات المنغسلة بازدياد كمية ماء الصرف التراكمية حتى 5.74 ليتر ماء، وذلك يوافق اليوم 28 من بداية التجربة في المعاملة OM لتفقد 88% من كمية الأمونيوم المنغسلة (الشكل 5)، وتزداد كمية الفقد بوتيرة أقل من هذه المعاملة عند زيادة حجم ماء الصرف إلى 6.57 ليتر، حيث انغسل 456.9 مع NH_4-N/نبات والتي شكلت أكثر من 96% من الكمية الكلية المنغسلة في أقل من57% من كمية ماء الصرف تراكمياً عند اليوم 35 للتجربة. تعادل الكمية السابقة 106.75 ليتر/م^2، وقد تبدو كبيرة، لكنها أقل مما يتبعه المزارع مسبباً استنزاف الأمونيوم. لم تحمل الكميات الإضافية من ماء الصرف بعدها إلا كمية محدودة من الأمونيوم، فازديادها حتى نهاية التجربة إلى حوالي 11.5 ليتر والذي شكل 43% من الكمية الكلية، وسببت انغسال أقل من 4% من الأمونيوم. فرغم أن إضافة الزيولايت قبل أو بعد التخمير قد قللت الكمية المنغسلة من الأمونيوم، إلا أن منحنيات فقد الأمونيوم كتابع لكمية ماء الصرف قد أخذت نفس الشكل العام إذ أبدت كمية الأمونيوم زيادة بزيادة ماء الصرف حتى 6.2 ليتر، فانغسل 96% و 90% من المعاملتي OM+Z و OMZ على التتالي. هذا ربما يشير إلى إن الارتباط بين كمية الأمونيوم المفقود وكمية ماء الصرف قد اقتصرت على المراحل الأولى للتجربة، ولعل ذلك بسبب تقدم النبات في العمر وازدياد مساحة المسطح الورقي والجذري وزيادة حاجته للآزوت والتي يشكل الأمونيوم أحد الشكلين المعدنيين التي يمتصها النبات. فالأمونيوم المزاح مع ماء الصرف هو الشكل الذائب الفائض عن حاجة نباتات البندورة في زمن الغسيل. فرغم إضافة االمصدر العضوي والتي يتمعدن فيها الآزوت العضوي بصورة مستمرة فقد انخفضت قيم الفقد بعد حوالي 6 ليتر ماء صرف. حصل كل من Li وآخرون (1997) و Fernandez-Sanjurjo وآخرون (2014) على نتائج مشابهة من حيث المنحى العام لمعدلات الأمونيوم المنغسل مع ماء الصرف والتي نزح فيها الأمونيوم بوفرة في المراحل الأولى للتجربة مع ماء الصرف ليتضاءل مع تقدم الزمن وزيادة كمية الماء الخارج من الأعمدة وذلك في وجود المادة العضوية عند الأول وغيابها عند الثاني.

ارتبطت قيم الفوسفور المنغسل مع كمية ماء الصرف التراكمية لجميع المعاملات بجودة علاقة خطية $R^2 \geq 0.882$ (الشكل 5). فقد ازدادت الكمية المفقودة من MRP في معاملة الشاهد بزيادة كمية ماء الصرف حتى نهاية التجربة، وهي معاملة لم تتلق تسميداً عضوياً واقتصر على التسميد الأساسي واللاحق جدول (3). يخرج من الشاهد حوالي 54 % من كمية الفوسفور الكلية مع حوالي 50% من الكمية التراكمية لماء الصرف والتي بلغت 5.41 ليتر، وتستمر قيم الفوسفور المنغسل بالزيادة وارتباط طردي مع كمية ماء الصرف حتى النهاية عند حوالي 11 ليتر ماء. تكون قيم الفوسفور المنغسل في معاملات الكمبوست على اختلاف مصدرها أقل من معاملة الشاهد عند صرف أقل من 6 ليتر، لتزداد لاحقاً وبكميات متسارعة وينغسل من معاملتي OM وOM+Z حوالي 74% و 79% من كمية الفوسفور الكلية في حوالي 5.5 ليتر و81% من معاملة OMZ في حوالي 6.8 ليتر وتوزعت هاتان الكميتان من ماء الصرف من الأسبوع الرابع والخامس حتى نهاية التجربة في اليوم 98.





الشكل 5: العلاقة بين الكمية التراكمية لماء الصرف مع الكمية التراكمية من الـ NH4 و MRP و K المنغسلة في ماء الصرف من العمود الواحد (نبات) خلال 98 يوم.

تكون قيم البوتاسيوم المنغسل من معاملات كمبوست مخلفات المداجن مهما كان نوعها مرتبطة طردياً وبعلاقة قوية مع كمية ماء الصرف التراكمية بجودة علاقة خطية $R^2 \leq 0.986$ (الشكل 5). جاءت هذه النتائج متوافقة مع نتائج Fernandez-Sanjurjo وآخرون (2014) في المراحل الأولى من تجربته من حيث زيادة غسيل الفوسفور والبوتاسيوم بزيادة ماء الصرف حتى 5.97 ليتر في اليوم الخامس، لكن أخذت معدلات الانغسال بالانخفاض تدريجياً حتى نهاية التجربة، ولم تتضمن دراسته تسميد عضوي، لقد تمت دراسة الانغسال من أسمدة معدنية مركبة (N-P-K) فالمادة العضوية مصدر للفوسفور الذي يتمعدن مع الزمن بالإضافة لدور الأحماض العضوية التي تنتج عن تحلل المادة العضوية في منافسة الفوسفور على مواقع الادمصاص مما يؤدي إلى انخفاض احتفاظ التربة بالفوسفور (Iyamuremye *et al.*, 1996). تؤيد هذه الفرضية نتائج الفوسفور المنغسل لدى Li وآخرون (1997) عند تواجد أنواع مختلفة من الكمبوست حيث حصلوا على قيم متزايدة بسرعة من الفوسفور بزيادة حجم ماء الصرف بعد الغسلة السادسة. في الوقت الذي لم يستخدم Fernandez-Sanjurjo وزملاؤه (2014) سماد عضوي لعله أيضاً تسببت الكميات الكبيرة من المياه التي أضافها إلى أعمدة بقطر صغير نسبياً (7.3cm) سم في الوصول المبكر لمرحلة الثبات بالنسبة للفوسفور والبوتاسيوم المنغسلين مع ماء الصرف حيث بلغت كمية ماء الصرف $1426\ L.m^{-2}$ في اليوم الخامس، بينما في ظروف تجربتنا فقد بلغت في أقصى حالاتها $197\ L.m^{-2}$.

الاستنتاجات والتوصيات:

أدى وجود الزيولايت في وسط الزراعة بتخميره مع مخلفات المداجن أو إضافته بعد التخمير لتخفيض انغسال الأمونيوم بنسبة 48% و36% والبوتاسيوم بنسبة 21% و19%، ولم يخفض انغسال الفوسفور. لذلك ينصح بإضافته مع السماد العضوي كوسيلة لتخفيض الفقد الآزوتي بالانغسال.

لقد ارتبطت الكميات المنغسلة مع حجم ماء الصرف الأمر الذي يبين خطورة الممارسات الخاطئة للمزارع من حيث زمن وكميات الري بالتنقيط التي يتلقاها الحيّز الحيوي لجذر النبات في نظم الزراعة المحمية. لذلك يجب الأخذ بالحسبان سعة التربة الحقلية كطريقة للسيطرة على حركة االمغذيات مع مياه الصرف.

References:

1. Alfaro, M. A., Jarvis,S.C. and Gregory, P. J. *Factors affecting potassium leaching in different soils*. Soil Use and Management, 20,2004, 182-189.
2. Alloush, G., Ibraheem, J. and Saaid, S. *Mobility of Nitrogen and Phosphorus in Soil under Greenhouse System*. Will published in tishreen university j, biological sciences, 2023.
3. Alloush, G.A., Boyer, D.G. Belesky, D.P. And Halvorson, J.J. *Phosphorus mobility in a karst landscape under pasture grazing system*. Agronomie: Agri. & Environ, 23, 2003, 593-600.
4. Baerlocher, Ch; Mccusker, L.B And Olson, D.H. atlas of zeolite framework types. Sixth Revised Edition, Elsevier B.V , 2007, 405pp.
5. Bandyopadhyay, K. K., Misra, A.K., Ghosh, P.K., Hati, K.M. *Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean*. Soil and Tillage Research, 110, 2010, 115–125.
6. Bhattacharyya, P., Chakrabarti,K., Chakraborty,A., Nayak,D.C., Tripathy, S., Powel,M.A. *Municipal waste compost as an alternative to cattle manure for supplying potassium to lowland rice*. Chemosphere, 66, 2007, 1789–1793.
7. Bigelow, C.A., Bowman, D.C., Cassel, D.K. *Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials of sphagnum peat moss for putting green root zones*. Crop Science, 44, 2004, 900–907.
8. Broschat, T. *Nitrate, phosphate, and potassium leaching from container-grown plants fertilized by several methods*. Hort. Science, 30, 1995, 74-77.
9. Courtney, R. G and Mullen, G.J. *Soil quality and barley growth as influenced by the land application of two compost types*. Bioresource Technology, 99, 2008, 2913–2918.
10. Eghball, B. and Gilley, J.E. *Phosphorus and nitrogen in runoff following beef cattle manure or compost application*. Journal of Environmental Quality, 28 (4), 1999, 1201– 1210.
11. EPA. Methods of chemical analysis of water and wastes. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, USA, 1974, 298 P
12. Eprikashvili, L., Zautashvili, M., Kordzakhia, T., Pirtskhalava, N., Dzagania, M., Rubashvili, I. and Tsitsishvili, V. *Intensification of bioproductivity of agricultural cultures by adding natural zeolites and brown coals into soils*. Ann. Agrar. Sci, 1 4, 2016, 6 7 -7 1.
13. Ferguson, G. A. and Pepper, I.L. *Ammonium retention insand amended with Clinoptilolite*. .Soil Sci. Soc. Am. J, 51, 1987, 231-234.
14. Fernandez-Sanjurjo, M.J., Alvarez-Rodriguez, E., Nunez-Delgado, A. Fernandez-Marcos, M.L. and Romar-Gasalla, A. *Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium release from two compressed fertilizers: column experiments*. Solid Earth, 5, 2014, 1351-1360.
15. Field, J.A., Reneau, R.B., and Kroontje, W. *Effects of anaerobically digested poultry manure on soil phosphorus adsorption and extractability*. J. Envron. Qual, 14, 1985, 105-107.
16. Gebrim, F. D. O., Novais, R.F., Silva, R.D., Schultais, F., Vergutz, L., Procopio, L.C., Moreira, F.F. and Jesus, L.D. *Mobility of inorganic and organic phosphorus forms under different levels of phosphate and poultry litter fertilization in soils*. R. Bras. Ci. Solo, 34, 2010, 1195-1205.
17. General Establishment Of Geology And Mineral. Mineral And Non- Metallic Materials Guide, 2000, 87p.
18. Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H. and Farmanbar, E. *Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching*. Soil & Tillage Research, 126, 2013, 193–202.
19. Grey, M.. and Henry, C. *Nutrient Retention and Release Characteristics From Municipal Solid Waste Compost.* Compost Science & Utilization, Vol. 7, No. I, 1999, 42-50.

20. Guppy, C.N., Menzies, N.W. Moody, P.W. and Blamey, F.P.C. *Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review*. Aust. J. Soil Sci. 43, 2005, 189-202.
21. Hatem, Z . *Geochemical study of Phosphorus pollution phenomena in Al-SIN lake and potential of phosphorus removal by using some of natural systems (Zeolite, Aleppo Bentonite and Calcite)*. PhD Theses, 2018, 118p.
22. Haynes, R.J. and Williams, P.H. *Nutrient sycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem*. Adv. Agron. 49, 1993, 119-199.
23. Hershey, D. R; Paul, J. L. and Carlson, R. M. *Evaluation of Potassium-Enriched Clinoptilolite as a Potassium Source for Potting Media*. Horticultural Science. **15**, 1980, 87-89.
24. Huang, Z.T. and Petrovic, A.M. . *Physical properties of sand as affected by clinoptilolite zeolite particle size and quantity*. J. Turfgrass Manag,1, 1994, 1–15.
25. Iyamuremye, F., Dick, R.P. and Baham, J. *Organic amendments and phosphorus dynamics. I. Phosphorus chemistry and sorption*. Soil Science, 161, 1996, 426-435.
26. Kithome, M. *Reducing Nitrogen Losses During Composting of Poultry Manure Using the Natural Zeolite Clinoptilolite*. PhD Thesis. National Library of Canada, 1998, 146p.
27. Lemunyon, J. and Daniel, T. C. Phosphorus management for water quality protection: A national effort. pp. 1-4. In "Soil testing for phosphorus environmental uses and implications". Ed. Sims J. T. Southern Cooperative Series Bulletin No. 389. A Publication of SERA-IEG 17, 1998.
28. Li, Xue; Lin, Cong; Wang, Yang; Zhao, Ming; and Hou, Yu . *Clinoptilolite Adsorption Capability of Ammonia in Pig Farm*. Procedia Environmental Sciences, 2, 2010, 1598–1612.
29. Li, Y.C., Stoffella, P.J. Alva, A.K. Calvert D.V. and Graetz D.A. *Leaching of Nitrate, Ammonium, and Phosphate From Compost Amended Soil Columns*. Compost Science and Utilization. Vol. 5, No.2, 1997, 63-67.
30. Mackown, C. T And Tucker, T. C. *Ammonium nitrogen movement in a coarse-textured soil amended with zeolite*. Soil Sci. Soc. Am. J,**49** , 1985, 235-238.
31. Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. London, UK: Academic Press,1995.
32. Moharami, S. and Jalali, M. *Phosphorus leaching from a sandy soil in the presence of modified and un-modified adsorbents*. Environmental Monitoring and Assessment, 186 (10), 2014, 6565–6576.
33. Mondal, M., Biswas,B., Garai,S., Sarkar, S. , Banerjee ,H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra S , Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P. and Hossain, A. *Zeolites Enhance Soil Health, Crop Productivity and Environmental Safety*. Agronomy, 11, 448, 2021, 29P.
34. Moraetis, D., Papagiannidou, S., Pratikakis, A., Pentari, D. and Komnitsas, K. *Effect of zeolite application on potassium release in sandy soils amended with municipal compost*. Desalin. Water Treat. 2015, 1-12.
35. Mullane, J.M., Flury, M., Iqbal, H., Freeze, P.M., Hinman, C. Cogger, C.G. and Shi, Z. *Intermittent rainstorms cause pulses of nitrogen, phosphorus, and copper in leachate from compost in bioretention systems*. Science of the Total Environment, 537, 2015, 294–303.
36. Mumpton, F. A. La rocamagica: *Uses of natural zeolites in agriculture and industry*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96 (7), 1999, 3463–3470.
37. Murphy, J. and Riley, J.P. *A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chem. Acta, 27, 1962, 31-36.
38. Najafi-Ghiri, M.,. *Effects of Zeolite and Vermicompost Applications on Potassium Release from Calcareous Soils*. Soil & Water Res., 9, (1), 2014, 31–37.

39. Nakhli, S.A.A., Delkash, M., Bakhshayesh, B.E. and Kazemian, H. *Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: A Review on Water and Nutrient Retention*. Water Air Soil Pollut, 2017, 228-464.
40. Nunez-Delgado, A. Lopez-Periago, E. and Diaz-Fierros, F. *Pollution attenuation by soils receiving cattle slurry after passage of a slurry-like feed solution, Column experiments*. Bioresource Technol, 84, 2002, 229-236.
41. Omar, L., Ahmed, O.H. and Majid, N.M.A. *Improving ammonium and nitrate release from urea using clinoptilolite zeolite and compost produced from agricultural wastes*. Sci. World J, 2015, 1–12.
42. Rao, S.S., Swarup, A., Subba, A.R. and Goptal, V. *Kinetics of nonexcgeable potassium release from a tropaquept as influenced by long-term cropping, fertilization and manuring*. Aust. J. Soil Res.37, 2, 1999, 317-328.
43. Rhine, E. D., Sims, G. K. Mulvaney, R. L., and Pratt, E. J. *Improving the Berthelot Reaction for Determining Ammonium in Soil Extracts and Water*. Soil Science Society of America Journal. 62, 1998, 473-480.
44. Rozic, M., Cerjan-Stefanovic, S., Kurajica, S., Vancina, V. and Hodzic, E . *Ammoniacal Nitrogen Removal from Water by Treatment with Clays and Zeolites*. Water Research. 34 (14), 2000, 3675–3681.
45. Ryan, J., Astafan, G., And Alrasheed, A. Analysis of soil and plant: A laboratory Syria, 2001.
46. Salameh. B; Habib, L and Adra, A. *Studying the ability of Syrian Nano Zeolite Ore modified by (HDTMA-Br) to adsorb phosphate from aqueous solutions (adsorption study)*. Syrian journal for agricultural researches, Vol 9. No 5, 2022.
47. Salameh. B; Habib, L. and Adra, A. *Response of maize plant to slow-release phosphates fertilizers prepared by the use of surfactant-modified Nano zeolite*. Will published in Syrian journal for agricultural researches Vol 11. No 1. .2024.
48. Santiago, O., Walsh, K. Kele, B Gardner, E. and Chapman, J. *Novel pre‑treatment of zeolite materials for the removal of sodium ions: potential materials for coal seam gas co‑produced wastewater*. Springer Plus, 5:571, 2016.
49. Sarioglu, M. *Removal of ammonium from municipal wastewater using natural Turkish (Dogantepe) zeolite*. Separation and Purification Technology.41(1), 2005, 1–11.
50. SAS INSTITUTE. SAS user's guide: Statistics. SAS Inst., Cary, NC, 1999.
51. Sims, J.T., Simard, R.R. and Joern. B.C. *Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research*. J. Environ. Qual. 27,1998, 277-293.
52. Soltys, L., Myronyuk, I., Tatarchuk, T. and Tsinurchyn, V. *Zeolite-based composites as slow-release fertilizers*. J. Physics And Chemistry Of Solid State. V. 21, N 1, 2020, 89-104
53. Statistical-group. Syrian ministry of agriculture.2020. http://moaar.gov.sy/category/statistical -group-2020
54. Taheri-Soudejani, H., Heidarpour, M., Shayannejad, M., Shariatmadari, H., Kazemian, H., and Afyuni, M. *Composts Containing Natural and Mg-Modified Zeolite: The Effect on Nitrate Leaching, Drainage Water, and Yield*. Clean – Soil, Air, Water, 2019, 1-9.
55. Tarkalson, D. and Leytem, A. *Phosphorus mobility in soil column treated with dairy manures and commercial fertilizer*. Soil Science, 74, 2009, 73-80.
56. Younes, S. *Application Effect of saturated natural Zeolite by monovalent cations on Ray-grass growth and its response to phosphate rock*. Master theses, 2018, Pp 65.
57. Younes, S., Habib, L., and Alloush, G. *Study The Adsorption And Kinetics Of Ammonium On Syrian Zeolite Ore*. Syrian journal for agricultural researches. Vol 10. No 2, 2023,
Zwingmann, N., Singh, B., Mackinnon, I.D and Gilkes, R.J. *Zeolite from alkali modified kaolin* .58 *increases NH4 retention by sandy soil: Column experiments*. Appl. Clay Sci, 46. 2009, 7–12.