تأثير استخدام الكيتوزان التقليدي والنانوي في بعض الخصائص الكيميائية والخصوبية للتربة المزروعة بنبات البازلاء (صنف أوتريلو)

الملخص

م. عبدالرزاق النجار[1] أ.د. عبدالله العيسى [2] د. محمود الحمدان[3]

نفّذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص (على بعد 6 كم شمال مدينة حمص) خلال الموسم الزراعي (2023–2024) م، لمعرفة تأثير الكيتوزان التقليدي والنانوي بمعدلات إضافة (50، 100، 150) % لكل منهما، في بعض الخصائص الكيميائية للتربة المزروعة بالبازلاء. شملت الدراسة تحديد كل من: الرقم الهيدروجيني (pH)، والناقلية الكهربائية (EC)، والمادة العضوية، وكربونات الكالسيوم، والنيتروجين الكلي، والفوسفور المتاح، والبوتاسيوم المتاح، وتمت المقارنة بين المعاملات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى معنوية 0.01.

أظهرت النتائج تفوقاً واضحاً للكيتوزان النانوي على التقليدي في تحسين جميع المؤشرات المدروسة؛ فقد سجلت معاملة الكيتوزان النانوي بتركيز 100% أفضل النتائج، حيث انخفض الرقم الهيدروجيني من 7.5 إلى 6.60 ، وانخفضت الناقلية الكهربائية بنسبة 87.8% (من 0.45 إلى 0.055) ds\m ، وازدادت المادة العضوية بنسبة 4% (من 1.75% إلى 1.82%)، وانخفضت كربونات الكالسيوم بنسبة 35% (من 22% إلى 14.3%)، وازداد النيتروجين الكلي بنسبة 83.3% (من 0.18% إلى 0.33%)، وكذلك الفوسفور المتاح بنسبة 55.5% (من 18 إلى 28 ppm)، والبوتاسيوم المتاح بنسبة 9.8% (من 215 إلى 236 جزءاً في المليون)، كما حققت هذه المعاملة أعلى إنتاجية بلغت 473.7 كغ/دونم بزيادة كبيرة قدرها 409% مقارنة بالشاهد (93 كغ/ دونم).

في المقابل، لم يؤد استخدام الكيتوزان التقليدي إلى تحسن معنوي في معظم المؤشرات، بل تسبّب في بعض الحالات بزيادة محتوى التربة من كربونات الكالسيوم إلى 27.2%، وكانت أقل إنتاجية له عند التركيز 50% (103 كغ/ دونم) بزيادة غير معنوية بلغت 10.7% فقط عن الشاهد. تؤكد النتائج

أن التركيز 100% من الكيتوزان النانوي هو التركيز الأمثل، متفوقاً على التركيزين 50% و 150% في جميع المؤشرات.

الكلمات المفتاحية: الكيتوزان (النانوي والتقليدي)، الخصائص الكيميائية للتربة، نبات البازلاء.

[1] طالب دكتوراه في قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص.

[2] أستاذ في قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص.

[3] مدير بحوث في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، مركز بحوث حمص.

Effect of Using Conventional and Nano-Chitosan on Some Chemical and Fertility Properties of Soil Cultivated with Pea plant (Utrillo)

Abdulrazak Alnajjar [1] Abdulla Al-Issa[2] Mahmoud Alhamdan[3]

Abstract

The research was conducted at the Homs Agricultural Scientific Research Center (located 6 km north of Homs city) during the 2023-2024 agricultural season, aiming to study the effect of conventional and nano-chitosan at application rates of (50%, 100%, and 150%) for each on some chemical properties of soil cultivated with pea. The study included the determination of pH, electrical conductivity (EC), organic matter, calcium carbonate, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium. Comparisons among treatments were performed using the Least Significant Difference (L.S.D) test at a probability level of 0.01.

The results showed a clear superiority of nano-chitosan over conventional chitosan in improving all studied indicators. The nano-chitosan treatment at 100% concentration recorded the best results, where pH decreased from 7.5 to 6.60, electrical conductivity decreased by 87.8% (from 0.45 to 0.055 mS/cm), organic matter increased by 4% (from 1.75% to 1.82%), calcium carbonate decreased by 35% (from 22% to 14.3%), total nitrogen increased by 83.3% (from 0.18% to 0.33%), available phosphorus increased by 55.5% (from 18 to 28 ppm), and available potassium increased by 9.8% (from 215 to 236 ppm). This treatment also achieved the highest productivity, reaching 473.7 kg/dunam, with a substantial increase of 409% compared to the control (93 kg/dunam).

In contrast, the use of conventional chitosan did not lead to significant improvement in most indicators, and in some cases it caused an increase in soil calcium carbonate content to 27.2%. The lowest productivity for conventional chitosan was recorded at the 50% concentration (103 kg/dunam), with a non-significant increase of only 10.7% compared to the control. The results confirm that the 100% concentration of nano-chitosan is the optimal treatment, outperforming both the 50% and 150% concentrations across all studied indicators.

Keywords: Chitosan (Nano & Conventional), Soil chemical properties, Pea plant.

(1) PhD Student, Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering - University of Homs.

(2) Professor, Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agricultural Engineering – University of Homs.

(3) Director of Research, General Commission for Scientific Agricultural Research, Homs Research Center.

1- المقدمة والدراسة المرجعية:

يعاني القطاع الزراعي من تحديات متزايدة مثل تدهور الأراضي، والملوحة، والاستخدام المفرط للأسمدة الكيميائية، ولذلك اتجهت الأنظار نحو استخدام المواد الطبيعية الصديقة للبيئة لتحسين خصوبة التربة وزيادة إنتاجيتها، من بين هذه المواد، يبرز الكيتوزان (Chitosan) كبوليمر حيوي طبيعي يتم الحصول عليه من إزالة أسيتيل الكيتين الموجود في أصداف القشريات، ويتميز بخصائص فريدة مثل قابلية التحلل الحيوي، والسمية المنخفضة، والقدرة على تكوين الأغشية، والنشاط المحفز للمناعة النباتية [17].

يتكون الكيتوزان من وحدات متكررة من الجلوكوزامين و N –أسيتيل جلوكوزامين، ويحتوي على مجموعات أمينية حرة (NH_2) تعطيه شحنة موجبة في الأوساط الحامضية، وهذه المجموعات هي المسؤولة عن معظم النشاطات الحيوية للكيتوزان، بما في ذلك قدرته على الارتباط بالمكونات السالبة الشحنة في التربة مثل جزيئات الطين والمادة العضوية، مما يؤثر على خصائص التربة [27]. أدى التطور في تكنولوجيا النانو إلى ظهور شكل جديد من الكيتوزان يُعرف بالكيتوزان النانوي (Nano-chitosan)، والذي يتميز بحجم جزيئي يقل عن 100 نانومتر، ومساحة سطحية أكبر، وقابلية أعلى للذوبان والنفاذية مقارنة بالكيتوزان التقليدي، هذه الخصائص تجعله أكثر فعالية في التأثير على التربة والنبات، مما قد ينعكس إيجاباً على تحسين المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والحيوية للتربة [9].

أظهرت بعض الدراسات أن إضافة الكيتوزان إلى التربة يمكن أن تؤثر في العديد من المؤشرات الكيميائية؛ حيث وُجد أن الكيتوزان يسبب انخفاضاً مؤقتاً في pH التربة بسبب طبيعته الحامضية (خاصة

عند تحضيره بحمض الأسيتيك)، مما يساعد على إذابة العناصر الغذائية مثل الفوسفور والحديد والزنك، وجعلها أكثر توفراً للنبات [7]، كما تبين أن الكيتوزان النانوي يساهم في خفض ملوحة التربة عن طريق الارتباط بأيونات الصوديوم وزيادة درجة تحبّب التربة، مما يسهل غسل الأملاح خارج منطقة الجذور، علاوة على احتواء الكيتوزان نفسه على نسبة تتراوح بين 6–8.5% من النيتروجين، مما يجعله مصدراً عضوياً بطيء التحرر لهذا العنصر الهام [18]، ورغم أن الكيتوزان لا يحتوي على كميات كبيرة من الفوسفور والبوتاسيوم، إلا أنه يعمل على تحسين توافرهما في التربة من خلال عدة آليات؛ منها تحفيز نمو البكتيريا المذيبة للفوسفات، وتحسين بناء التربة، وزيادة قدرة الجذور على الامتصاص [17،7] (جدول –1).

يتميز الكيتوزان بطبيعة حامضية، يحدث عند إضافته للتربة انخفاضاً مؤقتاً في قيمة pH، هذا الانخفاض الطفيف مفيد بشكل خاص في الأراضي القلوية أو الكلسية، حيث يساعد على إذابة العناصر الغذائية غير الميسرة مثل الفوسفور والحديد والزنك، مما يزيد من توافرها للنبات، وقد أشارت دراسة [10] إلى أن الكيتوزان العادي يخفض pH التربة بمقدار 0.3–0.5 وحدة.

وجد [13] أن الكيتوزان النانوي أكثر فعالية في خفض pH نظراً لصغر حجم جزيئاته وسهولة انتشاره في التربة، مع عودة pH تدريجياً إلى مستواه الطبيعي مع تحلل الكيتوزان وإطلاق الأمونيا التي ترفع pH ، علماً أن هذا التأثير يكون بالعادة مؤقتاً ولا يؤدي إلى حموضة دائمة في التربة.

أظهرت دراسة [20] زيادة طفيفة ومؤقتة في قيمة EC التربة عند إضافة الكيتوزان بسبب وجود أيونات الأسيتات الناتجة عن المحلول الحامضي المستخدم في التحضير، لكن على المدى الطويل، يساهم الكيتوزان في تحسين بناء التربة من خلال زيادة تجمع الحبيبات، مما يسهل عملية غسل الأملاح خارج منطقة الجذور، علماً بأن الكيتوزان النانوي أكثر كفاءة في خفض قيمة EC التربة مقارنة بالكيتوزان التقليدي، حيث وصل الانخفاض إلى 25% في التربة المعالجة بالنانوي مقابل 8% فقط في معاملة

التقليدي، كما أكد [18] أن الكيتوزان النانوي يخفض EC في التربة المالحة بنسبة تصل إلى 33%، وذلك لقدرته على الارتباط بأيونات الصوديوم وتحسين صرف التربة، (ارتباط الكيتوزان بأيونات الصوديوم يتم عبر عملية معقدة تحدث على الرغم من الشحنات المتنافرة، فهي تعتمد على خلق آليات أخرى مثل تكوين المعقدات عبر الأنيونات، أو تقليل قوة التنافر بين سلاسل الكيتوزان مما يسمح بتكوين بنيات تحجز الأيونات). هذا الفهم الدقيق هو ما يفسر، على سبيل المثال، كيفية استخدام الكيتوزان في تطبيقات مثل امتزاز الأملاح أو تخفيف الإجهاد الملحي في النباتات، حيث يمكنه أن يساهم في خفض تركيز أيونات الصوديوم في محيط الجذور.

يعد الكيتوزان مادة عضوية بحد ذاته، ولذلك فإن إضافته للتربة يزيد محتواها من المادة العضوية بشكل مباشر، والأهم من ذلك يعمل الكيتوزان كمحفز حيوي لنشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة، مما يسرّع من تحلل المخلفات العضوية وتكوين الدبال، وقد أشار [11] إلى أن الكيتوزان العادي زاد محتوى التربة من المادة العضوية بنسبة 13%، بينما حقق الكيتوزان النانوي زيادة أكبر بلغت 27%، وذلك بسبب مساحته السطحية الكبيرة التي توفر بيئة مناسبة لنمو الميكروبات النافعة. من جهة ثانية، أكدت دراسة [20] أن إضافة الكيتوزان النانوي أدى إلى رفع محتوى التربة من المادة العضوية من 1.8% إلى 2.2%، أي بزيادة قدرها 22%.

تمثل كربونات الكالسيوم تحدياً كبيراً في الأراضي الكلسية، حيث تعمل على تثبيت الفوسفور وتحويله إلى صورة غير ميسرة للنبات؛ هنا يأتي دور الكيتوزان في التخفيف من هذه المشكلة، حيث ترتبط المجموعات الأمينية موجبة الشحنة مع أيونات الكالسيوم الموجبة (لا يرتبط الكيتوزان بأيونات الكالسيوم عبر تجاذب كهروستاتيكي مباشر، بل عبر الاستخلاب؛ حيث تمنحه مجموعاته الوظيفية (الأمين والهيدروكسيل) القدرة على تكوين روابط مشتركة مع أيون الكالسيوم، متغلباً بذلك على التنافر النظري للشحنات) مما يقلل من توافر الكالسيوم الحر لارتباطه بالفوسفور، وقد وجد [7] أن المعالجة بالكيتوزان النانوي يزيد من إذابة كربونات الكالسيوم بنسبة 15% مقارنة بالتربة غير المعالجة، كما حسّن توافر الفوسفور بنسبة 45% في التربة الكلسية التي تحتوي على 20% كربونات كالسيوم، هذه

الخاصية تجعل استخدام الكيتوزان في الأراضي الكلسية مثل تربة الدراسة (التي تحتوي على 22% كربونات كالسيوم) ذا قيمة خاصة لتحسين كفاءة التسميد الفوسفوري.

أظهرت دراسة [18] أن الكيتوزان التقليدي زاد محتوى النيتروجين الكلي في التربة بنسبة 20%، بينما حقق الكيتوزان النانوي زيادة مضاعفة بلغت 40%، ويعود السبب في ذلك إلى قدرة الجزيئات النانوية على الالتصاق بسطح حبيبات التربة بشكل أفضل، مما يقلل من فقدان النيتروجين بالتطاير أو الغسيل. أما في تجربة [13] على نبات البازلاء، فقد وجد ازدياد النيتروجين الكلي في التربة من 18% إلى 24% بعد المعاملة بالكيتوزان النانوي، وهو تحسن مهم يدعم النمو الخضري وإنتاج البروتين.

يؤدي الكيتوزان دوراً مزدوجاً في تحسين توافر الفوسفور، من خلال خفض pH التربة بشكل طفيف كما ذكرنا سابقاً، مما يزيد من إذابة الفوسفور، ومن خلال تحفيز نمو البكتيريا المذيبة للفوسفات التي تحول الفوسفور غير المتاح إلى صور قابلة للامتصاص، وقد أوضح [7] أن الكيتوزان العادي زاد الفوسفور المتاح من 28 إلى 34 جزء في المليون (زيادة 21%)، في حين رفعه الكيتوزان النانوي إلى 41 جزء في المليون (زيادة 46%)، أما في دراسة [13]، فقد وصلت الزيادة في الفوسفور المتاح إلى 50% عند استخدام الكيتوزان النانوي، مما يعكس أهمية هذا المركب في تحسين كفاءة التسميد الفوسفوري وتقليل الكميات المضافة منه.

يختلف تأثير الكيتوزان على البوتاسيوم عن تأثيره على النيتروجين والفوسفور، إذ لا يحتوي الكيتوزان على البوتاسيوم في تركيبه، لكن تأثيره غير المباشر يأتي من خلال تحسين الخواص الفيزيائية للتربة وزيادة قدرتها على التبادل الكاتيوني (CEC) وذلك من خلال تحسين بنية التربة وزيادة مساحة سطحها الفعالة والارتباط بالكاتيونات عبر الاستخلاب، مما يقلل فقدانها وزيادة المادة العضوية التي ترفع من قدرة التربة على التبادل الكاتيوني. بهذه الطرق، يساعد الكيتوزان في الاحتفاظ بالبوتاسيوم والعناصر الأخرى في منطقة الجذور، مما يقلل من فقدانها بالغسيل ويحسن تغذية النبات، وقد أشار [17] إلى أن الكيتوزان العادي زاد البوتاسيوم المتاح في التربة بنسبة 10% فقط، بينما حقق الكيتوزان النانوي زيادة

أفضل بلغت 25%، ويعود ذلك إلى قدرة الجزيئات النانوية على تغليف حبيبات التربة وتشكيل غشاء شبه منفذ يحافظ على البوتاسيوم داخل منطقة الجذور. أما في دراسة [20]، فقد وجدوا ارتفاع البوتاسيوم المتاح من 220 إلى 275 جزء في المليون بعد المعاملة بالكيتوزان النانوي، أي بزيادة قدرها 25%.

يعدّ نبات البازلاء (*Pisum sativum* L.) من المحاصيل البقولية الهامة اقتصادياً وغذائياً، حيث يزرع في العديد من دول العالم ويتميز بقدرته على تثبيت النيتروجين الجوي بفضل علاقته التكافلية مع بكتيريا الريزوبيوم. وقد أشارت الدراسات إلى أن البازلاء تستجيب بشكل إيجابي لمعاملات الكيتوزان، حيث لوحظ تحسناً في مؤشرات النمو والإنتاجية وزيادة في محتوى العناصر الغذائية في الأنسجة النباتية [5،24]. بلغت مجموع المساحة المزروعة من البازلاء في سوريا عام 2023 (3315 هكتار) بإنتاجية (4185 طن) وكانت المردودية (1262 كغ/هكتار)، وفي محافظة حمص بلغت المساحة المزروعة (311 هكتار) بإنتاجية (876 طن) ومردودية (2820 كغ/هكتار) [3].

2- أهداف ومبررات البحث:

على الرغم من الفوائد المتعددة للكيتوزان على التربة والنبات، إلا أن الدراسات التي تناولت تأثيره على المؤشرات الكيميائية والحيوية للتربة، خاصة في ظروف الأراضي الجافة وشبه الجافة مثل سوريا لا تزال محدودة، كما أن دراسات المقارنة بين الكيتوزان التقليدي والنانوي من حيث تأثيرهما على توفر العناصر في التربة المزروعة بالبازلاء تحتاج إلى مزيد من الأبحاث، وبناءً على ما سبق تم اقتراح هذه الدراسة التي هدفت إلى:

تقييم تأثير استخدام الكيتوزان التقليدي والنانوي بتراكيز مختلفة في بعض الخصائص الكيميائية الأساسية للتربة: pH التربة و EC التربة والمادة العضوية (%) وكربونات الكالسيوم (%)، وتوافر العناصر الكبرى (النيتروجين الكلي، الفوسفور المتاح، البوتاسيوم المتاح) في التربة.

3- مواد وطرائق البحث:

3-1- مكان تنفيذ البحث:

تم تنفيذ الدراسة في مركز البحوث العلمية الزراعية في حمص في الموسم الزراعي (2023-2024) م.

3-2- المعطيات المناخية:

يقع المركز على بعد /6/ كم شمال مدينة حمص، ويرتفع /497/م عن سطح البحر، ويمتد على خط طول ْ36.74، وعلى خط عرض ْ34.75 بمساحة إجمالية 20 هكتار. يتميز المناخ في موقع البحث بأنه مناخ متوسطي. معتدل الحرارة. متوسط سرعة الرياح. تهطل فيه الأمطار في فصل الشتاء، ويصل معدل هطول الأمطار السنوي إلى/439/مم. ويوضح الجدول (1)، بعض المعطيات المناخية لموقع تنفيذ الدراسة حسب [4].

جدول (1) المعطيات المناخية لموسم (2023-2024) لمكان تنفيذ البحث

الشهر	العام	متوسط درجة الحرارة العظمى مْ	متوسط درجة الحرارة الصغرى مْ	كمية الهطول المطري (ملم)
تشرين الثاني	2023	19.30	6.8	21
كانون الأول	2023	12.8	3.6	74.2
كانون الثاني	2024	12.1	2.1	91.1
شباط	2024	14	2.8	75.5
آذار	2024	18	5.5	54.2
نيسان	2024	23.3	9.2	31.9
أيار	2024	28.4	13.5	13.2

حزيران	2024	31.7	17.7	2.2
تموز	2024	33.5	20.6	0.4
آب	2024	33.8	20.9	0
أيلول	2024	32.3	18.1	0
تشرين الأول	2024	27.9	13.1	0

3-3- المادة التجريبية والعمليات الزراعية:

تمت زراعة بذور البازلاء من الصنف Utrillo بتاريخ 2022/12/5، وهو صنف معتمد تم الحصول عليه من مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص. تمت حراثة أرض التجربة حراثتين متعامدتين بواسطة المحراث المطرحي القلاب بعمق 30 سم، ثم تنعيمها بواسطة كاليفاتور بعد إضافة الدفعة الأولى (نصف الكمية) من السماد النيتروجيني البالغة 10 كغ /دونم يوريا (46%) والأسمدة الفوسفاتية على شكل سوبر فوسفات P_2O_5 (46%) بمعدل 3 كغ/ دونم، والسماد البوتاسي K_2O (50%) بمعدل 8 كغ/ دونم حسب التوصية السمادية للبحوث العلمية الزراعية بحمص بعد تحليل التربة قبل الزراعة. تمت إضافة الدفعة الثانية من السماد النيتروجيني قبل الإزهار، تم تسوية الأرض وفتح خطوط الزراعة وتقسيمها إلى وحدات تجريبية بأبعاد 6 $م^2$ تضمنت كل وحدة تجريبية 4 خطوط بطول 3 م وبمسافة 50 سم بين الخط والآخر، وزرعت بذور البازلاء من الصنف المدروس بمعدل (2-1) بذرة في كل جورة، على مسافة 30 سم بين الجورة والأخرى، مع ترك مسافة 2 متر بين كل وحدة تجريبية وأخرى وبين كل مكرر وآخر (ممرات خدمة)، كما تم زراعة نطاق حماية حول التجربة مؤلف من أربعة خطوط حماية من أجل تجانس القطع التجريبية. تم التفريد إلى نبات واحد في كل جورة بعد أسبوعين من الزراعة. أجريت عملية الترقيع بعد اكتمال الإنبات وذلك للجور الغائبة التي لم تنبت لأي سبب كان. استخدم الكيتوزان (التقليدي والنانوي) كإضافة أرضية للقطع التجريبية بحل الكمية المطلوبة من الكيتوزان بالماء وذلك خلال مرحلتين من نمو النبات؛ الأولى عند بداية مرحلة النمو الخضري (3-4 ورقة)، والثانية في بداية مرحلة التزهير. رويت القطع التجريبية بعد الزراعة مباشرة بطريقة الري السطحي

بالشرائح بكميات متساوية لكامل التجربة، ثم تم متابعة الري عند مستوى (75–80)% من السعة الحقلية حتى إصالها إلى 100% من السعة الحقلية. أجري التعشيب اليدوي لإزالة الأعشاب النامية في الحقل، كما أجريت المكافحة الحشرية باستخدام مبيد حشري بارثوئيدي (لحشرات المن والدودة المخملية والديدان القارضة) والمكافحة العشبية كلما دعت الحاجة إلى ذلك. تم حصاد الموسم الأول عند النضج التام بتاريخ 2023/5/2.

جدول (2) محتوى الكيتوزان من العناصر الكبرى والصغرى

العنصر	النسبة المئوية
الأكسجين	**30 – 35%**
الهيدروجين	**6 – 8%**
النيتروجين	**6.0 – 8.5%**
الفوسفور	**0.01 – 0.1%**
الكربون	**40 – 45%**
البوتاسيوم	**< 0.1%**
الكالسيوم	**0.1 – 0.5%**
المغنيسيوم	**0.1 – 0.5%**
الكبريت	**0.1 – 0.3%**
الحديد	**0.005 – 0.02%**
الزنك	**0.001 – 0.01%**
المنغنيز	**0.0005 – 0.005%**

الموليبدينوم	**< 0.0001%**
البورون	**0.0001 – 0.001%**

[10،18]

يوضح الجدول (3) بعض الخصائص الكيميائية لتربة الموقع قبل تنفيذ البحث، حيث بينت أنها متعادلة القلوية حسب التصنيف الروسي (pH التربة 7.5). غير مالحة. ومحتواها من المادة العضوية كافٍ حسب تصنيف (Walkley–Black) (1.75%)، والبوتاسيوم المتاح، ومتوسطة المحتوى من كربونات الكالسيوم والنيتروجين الكلي والفوسفور المتاح [1].

جدول (3): بعض الخصائص الكيميائية لموقع تنفيذ الدراسة (قبل الزراعة) خلال الموسم الزراعي (2023–2024) م.

pH 1:2.5	الناقلية الكهربائية ds/m	المادة العضوية (%)	كربونات الكالسيوم (%)	النيتروجين الكلي (%)	الفوسفور المتاح ppm	البوتاسيوم المتاح ppm
7.5	**0.45**	**1.75**	**22**	**0.18**	**18**	**215**

3–4– تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

صُممت التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بترتيب القطع المنشقة (RSPD) بعاملين:

1– الأول: شكل المستخلص (الكيتوزان المستخدم): نانوي N وتقليدي O تم الحصول عليه من مركز البحوث العلمية الزراعية بحمص.

2– الثاني: مستويات الكيتوزان المضافة: أربعة مستويات من كل مستخلص (0% شاهد، 50%، 100%، 150%) بثلاث مكررات لكل معاملة.

المجموع الكلي للمعاملات والمكررات: 2 × 4 × 3 مكررات = 24 قطعة تجريبية، ومساحة القطعة التجريبية 2×3 = 6 م^2، والمساحة الكلية للتجربة مع ممرات الخدمة ومسافات الأمان 432 م^2.

تم تحليل النتائج باستخدام البرنامج الإحصائي GENESTAT لتحديد قيم أقل فرق معنوي L.S.D عند مستوى معنوية 0.01 ولحساب معامل التباين CV%.

معاملات التجربة:

1- شاهد بدون إضافة كيتوزان رُمز له CH0.
2- كيتوزان نانوي (CHN) 50% أي يضاف 0.1 كغ/ دونم.
3- كيتوزان نانوي (CHN) 100% أي يضاف 0.2 كغ/ دونم.
4- كيتوزان نانوي (CHN) 150% أي يضاف 0.3 كغ/ دونم.
5- كيتوزان تقليدي (CHO) 50% أي يضاف 1 كغ/ دونم.
6- كيتوازن تقليدي (CHO) 100% أي يضاف 2 كغ/ دونم.
7- كيتوزان تقليدي (CHO) 150% أي يضاف 3 كغ/ دونم، (الجدول رقم 5).

تمت الإضافات كما هو موضح بالجدول رقم (4)، وبهذا يصبح مخطط التجربة كاملاً مع الرموز على الشكل التالي:

جدول (4): مخطط التجربة مع الرموز والتراكيز المستخدمة

رقم المعاملة	رمزها	طريقة الإضافة	مستوى الإضافة	التركيز المستخدم من الكيتوزان

1	CH0	شاهد	%0	0
2	CHN	نانوي	%50	0.1 كغ/ دونم
3	CHN	نانوي	%100	0.2 كغ/ دونم
4	CHN	نانوي	%150	0.3 كغ/ دونم
5	CHO	تقليدي	%50	1 كغ/ دونم
6	CHO	تقليدي	%100	2 كغ/ دونم
7	CHO	تقليدي	%150	3 كغ/ دونم

3- الخصائص الكيميائية المدروسة:

تم إجراء التحاليل لمعرفة بعض الخصائص الكيميائية للتربة حسب [1]؛ إذ قدّرت pH التربة باستخدام جهاز pH meter في معلق تربة ماء 1:2.5 [23،28]، والناقلية الكهربائية EC بواسطة جهاز الناقلية الكهربائية Conductivity–meter في مستخلص مائي للتربة 5:1 [25،26]، وتم تقدير الكربونات الكلية بالطريقة الحجمية [26]، والمادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة بواسطة ديكرومات البوتاسيوم في وسط شديد الحموضة [29]، وتم تقدير النيتروجين الكلي في التربة باستخدام طريقة كلداهل [8،14]، كما أجري تقدير الفوسفور المتاح في التربة باستخدام طريقة أولسن [21،22]، وتم تقدير البوتاسيوم المتاح باستخلاصه من التربة بمحلول خلات الأمونيوم حسب [12،15].

4- النتائج والمناقشة:

4-1- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في pH التربة المزروعة بالبازلاء:

أظهرت النتائج في الجدول (5) اختلافات واضحة في قيم pH التربة بين معاملات الكيتوزان التقليدي (CHO) والنانوي (CHN)، حيث ارتفعت قيم pH التربة بشكل معنوي في جميع معاملات الكيتوزان التقليدي (CHO) عند التراكيز 50%، و 100%، و150% لتصل إلى 7.83، و 7.74،

و7.73 على التوالي مقارنة بالشاهد (7.50)، بينما أظهر الكيتوزان النانوي سلوكاً مختلفاً تماماً، حيث انخفض pH معنوياً وبشكل ملحوظ عند التركيز 100% ليصل إلى 6.60، ثم عاد إلى 7.50 عند التركيز 150%، وسجل ارتفاعاً غير معنوي إلى 7.59 عند التركيز 50%، وقد يعود ارتفاع pH التربة في معاملات الكيتوزان التقليدي إلى تحلله الحيوي في التربة وإطلاق الأمونيا (NH_3) التي تتفاعل مع الماء لتكوين أيونات الهيدروكسيل (OH^-) مما يزيد من قلوية التربة، خاصة في التربة الكلسية التي تمتلك أصلاً pH قاعدياً يبلغ 7.5 ونسبة كربونات كالسيوم تصل إلى 22% (الجدول 3)، حيث يعمل الكيتوزان التقليدي كمنشط حيوي يزيد من النشاط الميكروبي المنتج للأمونيا دون أن يكون له تأثير حمضي معاكس كافٍ [10،18].

في المقابل، فإن انخفاض pH التربة في معاملة الكيتوزان النانوي بتركيز 100% يُعزى إلى عدة عوامل متكاملة، أولها: بقايا حمض الأسيتيك المستخدم في إذابة الكيتوزان، حيث تحتفظ الجزيئات النانوية بكمية أكبر من الحمض على سطحها الكبير، مما يؤدي إلى إطلاق بطيء للحمض في التربة وهذا يتوافق مع ما ذكره [9]، وثانياً: لأن الكيتوزان النانوي يحفز نمو الكائنات الحية الدقيقة المنتجة للأحماض العضوية مثل بكتيريا حمض اللاكتيك (*Lactobacillus*)، و *Acetobacter* و *Pseudomonas*، وبعض الفطريات مثل *Aspergillus niger* و *Trichoderma*، مما يؤدي إلى إنتاج أحماض اللاكتيك، والأسيتيك، والستريك التي تخفض pH التربة، وثالثاً: لأن المساحة السطحية الكبيرة للجزيئات النانوية تزيد من سرعة تحللها الحيوي وإطلاق أيونات الهيدروجين [20]، أما عودة pHإلى 7.50 عند التركيز 150% من الكيتوزان النانوي فتعود إلى ظاهرة التشبع، حيث تصبح الجزيئات النانوية متقاربة ومتراكمة مما يقلل من مساحتها السطحية الفعالة ويحد من تفاعلها مع التربة، بالإضافة إلى أن التركيز العالي يزيد من كمية الأمونيا الناتجة عن التحلل والتي تعاكس التأثير الحمضي، وربما يؤدي إلى تثبيط الميكروبات المنتجة للأحماض [11]، أما الارتفاع الطفيف في pH عند التركيز 50% من الكيتوزان النانوي؛ فقد يشير إلى وجود تركيز عتبة يجب تجاوزه للحصول على

التأثير الحمضي، حيث يكون التركيز المنخفض غير كافٍ لإحداث تغيير ملحوظ بينما يكون تأثيره المحفز للنشاط الميكروبي المنتج للأمونيا هو السائد. وتتوافق هذه النتائج مع ما ذكره [13] في أن الكيتوزان النانوي أكثر فعالية في خفض pH نظراً لصغر حجم جزيئاته وسهولة انتشاره في التربة، مع عودة pH تدريجياً إلى مستواه الطبيعي مع تحلل الكيتوزان وإطلاق الأمونيا التي ترفع pH التربة.

جدول (5) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في pH التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D $_{0.01}$ بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	7.5^{b}	7.5^{b}	0.19
50%	7.59^{b}	7.83^{a}	
100%	6.6^{c}	7.74^{a}	
150%	7.5^{b}	7.73^{a}	
L.S.D $_{0.01}$ بين التراكيز	0.13		C.V % 1.5

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

4-2- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في الناقلية الكهربائية (EC) للتربة المزروعة بالبازلاء:

تُظهر النتائج المسجلة في الجدول (6) أن قيم EC قد شهدت تغيرات ملحوظة تبعاً لنوع الكيتوزان وتركيزه مقارنة بالشاهد (0.45 dS/ m)، حيث لوحظ أن استخدام الكيتوزان التقليدي (CHO) ساهم في خفض قيم EC انخفاضاً معنوياً عند التركيزين 50% و100% على حد سواء وبلغت 0.085 dS/ m، وانخفضت معنوياً أيضاً إلى 0.090 dS/ m عند التركيز 150%، ومن ناحية أخرى أظهر الكيتوزان النانوي (CHN) سلوكاً مشابهاً، حيث انخفضت قيمة EC بشكل معنوي من 0.45 dS/ mفي الشاهد إلى 0.099 dS/ m عند التركيز 50% ثم إلى أدنى قيمة مسجلة (0.055) dS/ m عند التركيز 100%، لترتفع قليلاً إلى 0.090 dS/ m عند التركيز 150% لكنها بقيت أقل من الشاهد، وقد يُفسر ذلك الانخفاض الملحوظ في معاملات الكيتوزان إلى قدرة جزيئاته على تحسين تجمع التربة وتسهيل غسل الأملاح خارج منطقة الجذور، بالإضافة إلى ارتباطها بأيونات الصوديوم وتقليل تركيزها في المحلول الأرضي [18،20].ل بينت النتائج الإحصائية أن جميع المعاملات انخفضت معنوياً عند مستوى 0.01 مقارنة مع الشاهد، وبلغ معامل الاختلاف 5.1%، ويُلاحظ أن الكيتوزان النانوي عند التركيز 100% سجل أقل قيمة (0.055) dS/ m، مما يرجح كفة الكيتوزان النانوي كخيار أفضل لتقليل ملوحة التربة، وهذا يتفق مع ما توصلنا إليه سابقاً من تفوق الكيتوزان النانوي في خفض الرقم الهيدروجيني نحو الحيادية وترافق ذلك مع زيادة الإنتاجية (الجدول رقم 5 و12).

جدول (6) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في EC التربة (مقدرة بالـ dS/ m) في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D $_{0.01}$ بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	0.45^{a}	0.45^{a}	0.013
50%	0.099^{b}	0.085^{b}	
100%	0.055^{c}	0.085^{b}	

150%	0.090^{b}	0.090^{b}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	0.018		**C.V %** 5.1

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

4-3- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في نسبة المادة العضوية(%) في التربة المزروعة بالبازلاء:

يبين الجدول (7) استجابة متباينة للمادة العضوية في التربة عند إضافة الكيتوزان (التقليدي والنانوي)، حيث سجلت معاملات الكيتوزان التقليدي (CHO) تراجعاً ملحوظاً في نسبة المادة العضوية بجميع تركيزاتها مقارنة بالشاهد (1.75%)، حيث بلغ هذا التراجع 27.4% (1.27%)، 25.7% (1.30%)، و32.6% (1.18%) للتركيزات 50%، 100%، و150% على التوالي وهو انخفاض معنوي في جميع معاملات الكيتوزان التقليدي، وقد يُعزى هذا النقص إلى أن التحلل السريع للكيتوزان التقليدي ربما استنزف مخزون المادة العضوية الأصلية أو حفّز كائنات دقيقة تستهلكها (المادة العضوية) بوتيرة أسرع من قدرة التربة على تجديدها [6] على النقيض من ذلك، أبدى الكيتوزان النانوي (CHN) سلوكاً مغايراً؛ فبعد انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية بنسبة 22.9% عند التركيز 50% (1.35%)، تحسنت بشكل ملحوظ عند التركيز 100% مسجلة ارتفاعاً معنوياً بلغ 4% (1.82%)، لتعود للهبوط مجدداً عند التركيز 150% بنسبة 17.1% (1.45%)، حيث يرتبط هذا التحسن في تركيز CHN100% بخصائص الجزيئات النانوية، والتي تعمل كمنصة لنمو الأحياء الدقيقة، بالإضافة إلى كونها مصدراً عضوياً للكائنات الحية الدقيقة غير ذاتية التغذية [19]، بالإضافة إلى أن الكيتوزان النانوي نفسه يتحلل حيوياً ليشكل جزءاً من المادة العضوية في التربة [18]، ومن المثير للانتباه أن هذا

التركيز (CHN100%) هو نفسه الذي سُجل فيه انخفاض الملوحة (EC) (الجدول رقم 6) وحقق قفزة إنتاجية عالية بلغت 409% (الجدول رقم 12).

جدول (7) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في نسبة المادة العضوية (%) في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D 0.01 ما بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	1.75^{b}	1.75^{b}	0.042
50%	1.35^{d}	1.27^{e}	
100%	1.82^{a}	1.30^{de}	
150%	1.45^{c}	1.18^{e}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	0.060		C.V % 2.2

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

من الناحية الإحصائية، بلغ معامل الاختلاف (2.2%) وكانت جميع الفروق بين المعاملات المدروسة معنوية عند المستوى 0.01، وسجلت أعلى قيمة لمحتوى المادة العضوية في التربة (1.82%) في معاملة CHN100% مما يؤكد فعالية الكيتوزان النانوي بتركيز 100% في تحسين محتوى التربة المادة العضوية مقارنة بغيره من المعاملات حيث فشلت جميع معاملات الكيتوزان التقليدي

في رفع نسبة المادة العضوية في التربة، بينما تمكن الكيتوزان النانوي بتركيز 100% وحده من تحقيق ذلك، وهذا ينسجم مع نتائج أبحاث كل من [11،20] في أن المعاملة بالكيتوزان النانوي أدت إلى زيادة في نسبة المادة العضوية في التربة وذلك بسبب مساحته السطحية الكبيرة التي توفر بيئة مناسبة لنمو الميكروبات مما ينعكس إيجاباً على قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية.

4-4- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في نسبة الكربونات الكلية في التربة المزروعة بالبازلاء:

تظهر نتائج الجدول (8) عن تأثيرين متعاكسين تماماً بين نوعي الكيتوزان المدروسين بالنسبة لهذا المؤشر؛ فقد سجلت معاملات الكيتوزان التقليدي (CHO) ارتفاعاً ملحوظاً في نسبة كربونات الكالسيوم عند معظم المعاملات مقارنة بالشاهد (22%)، حيث بلغت الزيادات 5.5% (23.2%) عند التركيز 50%، وانخفضت بشكل طفيف عند التركيز 100% إلى 20.3% (بانخفاض بلغ 7.7%)، ثم ارتفعت بشكل كبير عند التركيز 150% مسجلة 27.2% (بزيادة قدرها 23.6%)، ويمكن أن يُعزى هذا الارتفاع في نسبة الكربونات الكلية إلى أن الكيتوزان التقليدي ربما حفّز ترسيب كربونات الكالسيوم أو قلل من إذابتها [10].

جدول (8) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في نسبة الكربونات الكلية (%) في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D $_{0.01}$ نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	22^{c}	22^{c}	0.366
50%	17^{d}	23.2^{b}	
100%	14.3^{e}	20.3^{c}	

150%	16.6^{d}	27.2^{a}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	0.517		**C.V %** 1.5

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنزية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

في المقابل أظهر الكيتوزان النانوي (CHN) قدرة على خفض نسبة الكربونات في جميع التراكيز، حيث انخفضت بنسبة 22.7% عند التركيز 50% (17%)، ثم بنسبة 35% عند التركيز 100% (14.3%)، لترتفع قليلاً عند التركيز 150% إلى 16.6% (بنسبة انخفاض بلغ 24.5%)، وربما يعود هذا الانخفاض إلى قدرة الجزيئات النانوية على تخليب أيونات الكالسيوم (Chelation) ومنع ارتباطها بالفوسفور، مما يحرر الفوسفور المثبت (الجدول رقم 8)، بالإضافة إلى قدرتها على زيادة إذابة كربونات الكالسيوم من خلال ارتباط المجموعات الأمينية الموجبة الموجودة في الكيتوزان بسطح الجزء الفعال من كربونات الكالسيوم (الكلس الفعال) مما يزيد من انحلالها وهذا ينسجم مع دراسة [7] التي تُبيّن أن المعالجة بالكيتوزان النانوي تزيد من إذابة كربونات الكالسيوم وتحسن توافر الفوسفور وخاصة في الترب الكلسية وهذا يتطابق مع نتائجنا (الجدول رقم 10)، ومن المهم ملاحظة أن التركيز 100% من الكيتوزان النانوي حقق أكبر انخفاض في الكربونات (35%) وهو نفس التركيز الذي تفوق سابقاً في خفض EC بنسبة 87.8%، ورفع المادة العضوية بنسبة 4%، وحقق قفزة إنتاجية بلغت 409% (الجدول رقم 12). ومن الناحية الإحصائية كانت جميع الفروق معنوية بين المعاملات ومقارنة مع الشاهد عند مستوى 0.01، وبلغ معامل الاختلاف 1.5%، ويمكن ترتيب المعاملات حسب خفض الكربونات كما يلي:

CHN100% > CHN150% > CHN50% > CHO100% > CH0 الشاهد > CHO50% > CHO150%

4-5- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في نسبة النيتروجين الكلي في التربة المزروعة بالبازلاء:

عند النظر إلى قيم الشاهد من النيتروجين الكلي (0.18%) في (الجدول رقم 9)، نجد أن الكيتوزان التقليدي (CHO) تسبب في انخفاض معنوي ملحوظ لنسبة النيتروجين الكلي عند التركيزين 50% و150%، حيث سجلت 0.106% (بانخفاض 41.1%) و0.111% (بانخفاض 38.3%) على التوالي مقارنة بالشاهد، بينما عادت القيمة إلى مستوى مقارب للشاهد عند التركيز 100% (0.187% مع زيادة طفيفة 3.9%)، مما يشير إلى أن الكيتوزان التقليدي لم يتسبب في زيادة كمية النيتروجين في التربة باستثناء تركيز واحد في المعاملة (CHO100%)، وقد يُفسر ذلك بأن الكيتوزان التقليدي (ذو الوزن الجزيئي المرتفع) يذوب فقط في الأوساط الحمضية (pH < 6.5) وعند إضافته إلى تربة قلوية كما هو الحال في تربة الدراسة، فإنه يفقد شحنته الموجبة ويترسب بدلاً من أن ينتشر في التربة ويتفاعل مع مكوناتها، هذا الترسيب يمنع وصوله إلى الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن تحلله وإطلاق النيتروجين منه [10]، بالإضافة إلى أن جزءاً من النيتروجين المتحرر من تحلل الكيتوزان التقليدي قد يكون على صورة أمونيا (NH_3) التي تتطاير في الأجواء، خاصة في التربة القلوية، مما يؤدي إلى انخفاض في كمية النيتروجين المتبقي في التربة [6]، من جهة أخرى أظهر الكيتوزان النانوي (CHN) أداءً مختلفاً تماماً، حيث ازدادت نسبة النيتروجين بشكل معنوي عند التركيز 100% إلى 0.33% محققة زيادة كبيرة بلغت 83.3% مقارنة بالشاهد، وهي أعلى قيمة مسجلة بين المعاملات، بينما انخفضت النسبة معنوياً عند التركيزين 50% و150% إلى 0.13% (بانخفاض 27.8%) و0.156% (بانخفاض 13.3%) على التوالي، ويعود هذا التفوق للكيتوزان النانوي بتركيز 100% إلى أن الجزيئات النانوية تحتفظ بالنيتروجين في منطقة الجذور لفترة أطول، وتمنع فقدانه بالتطاير أو الغسيل، بالإضافة إلى احتواء الكيتوزان نفسه على نيتروجين عضوي يتحلل ببطء ويزيد من مخزون النيتروجين في التربة [18]، بلغ معامل الاختلاف 1.9% (C.V%) ، وكانت الفروق بين CHN100% وبقية المعاملات المدروسة والشاهد معنوية.

جدول (9) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في النسبة المئوية للنتيروجين الكلي (%)

في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D 0.01 بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	0.18^{b}	0.18^{b}	0.003
50%	0.13^{d}	0.106^{e}	
100%	0.33^{a}	0.187^{b}	
150%	0.156^{c}	0.111^{e}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	0.005		C.V % 1.9

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

4-6- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في نسبة الفوسفور المتاح في التربة المزروعة بالبازلاء:

تظهر القيم المسجلة في الجدول (10) تفوقاً واضحاً للكيتوزان النانوي على التقليدي في جميع التراكيز بالنسبة لهذا المؤشر، إذ بدأت الزيادة عند CHN50% عندما بلغ الفوسفور (22) ppm بارتفاع غير معنوي بلغ 22.2% عن الشاهد (18) ppm، ثم قفز بشكل كبير عند CHN100% مسجلاً (28) ppm (زيادة معنوية 55.5%)، ليبقى مرتفعاً عند CHN150% مع (26) ppm (زيادة معنوية 44.4%). من ناحية أخرى، أدى استخدام الكيتوزان التقليدي إلى زيادة غير معنوية عند CHO50%

وسجل (19) ppm (زيادة 5.5%) وبلغ عند CHO100% (21) ppm (زيادة غير معنوية 16.6%) قبل أن يتراجع عند CHO150% إلى (20) ppm (زيادة غير معنوية 11.1%)، مما يعكس ظاهرة التشبع بالفوسفور (Phosphorus Saturation) التي سبق رصدها في مؤشرات أخرى كالمادة العضوية والكربونات الكلية، حيث تؤدي الجرعات الزائدة من الكيتوزان التقليدي إلى تراكم البوليمر على حبيبات التربة مما يعوق نشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن تحرير الفوسفور [24].

جدول (10) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في الفوسفور المتاح مقدرة بالـ (ppm) في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D 0.01 بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	18^{c}	18^{c}	3.5
50%	22^{b}	19^{c}	
100%	28^{a}	21^{bc}	
150%	26^{a}	20^{bc}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	4.9		C.V % 3.8

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

يعود التفوق الملحوظ للكيتوزان النانوي بتركيز 100% إلى عدة أسباب منها أن الكيتوزان النانوي يعمل على خفض الرقم الهيدروجيني للتربة من 7.5 إلى 6.60 كما ثبت سابقاً (الجدول رقم5)، مما يزيد من إذابة فوسفات الكالسيوم المثبت في التربة الكلسية [2،13] وإلى ارتباط الجزيئات النانوية بأيونات الكالسيوم وعزلها، وهو ما انعكس في انخفاض كربونات الكالسيوم بنسبة 35% عند هذا التركيز (الجدول رقم 8)، مما حرّر ربما كميات كبيرة من الفوسفور كانت محتجزة سابقاً. علاوةً على أن الكيتوزان النانوي كما ذكر سابقاً زاد محتوى التربة من المادة العضوية بنسبة 4% (الجدول رقم 7) وعمل على زيادة النيتروجين بنسبة 83.3% (الجدول رقم 9)، مما خلق ظروفاً مثالية لنمو البكتيريا المذيبة للفوسفات التي تساهم في تحويل الفوسفور غير الميسر إلى صور متاحة [2،6]، ومن المهم ملاحظة أن التركيز 100% من الكيتوزان النانوي هو نفسه الذي تفوق في جميع المؤشرات السابقة والمتمثلة في: خفض EC بنسبة 87.8%، وخفض الكربونات الكلية بنسبة 35%، وازدياد محتوى التربة من المادة العضوية بنسبة 4%، وزيادة النيتروجين بنسبة 83.3%، وحقق أعلى إنتاجية (473.7 كغ/ دونم) (الجدول رقم 12)، مما يؤكد أن الفوسفور كان عنصراً مساهماً في زيادة الإنتاجية، خاصة أنه يدخل في تركيب ATP والحمض النووي وينشط تكوين الأزهار والقرون في البازلاء وهذا ينسجم تماماً مع دراسة [7،13،30] في أهمية الكيتوزان في تحويل الفوسفور غير المتاح إلى صورة قابلة للامتصاص، وبالتالي تحسين كفاءة التسميد الفوسفوري وتقليل الكميات المضافة منه. كما بلغ معامل الاختلاف 3.8%، ووفقاً لما سبق يمكن ترتيب المعاملات حسب كفاءتها في تحسين الفوسفور كما يلي:

CHN100% > CHN150% > CNO100% > CHN50% > CNO150% > CNO50% > الشاهد CH0

وهذا الترتيب يؤكد أن الكيتوزان النانوي بتركيز 100% هو الخيار الأمثل لتحسين توافر الفوسفور في التربة الكلسية في ظروف التجربة.

7-4- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في نسبة البوتاسيوم المتاح في التربة المزروعة بالبازلاء:

تشير نتائج الجدول (11) إلى أن قيم البوتاسيوم المتاح في تربة الدراسة قد تأثرت بشكل كبير بنوع الكيتوزان وتركيزه، مع ملاحظة أن الشاهد سجل قيمة بلغت (215) ppm، لكن لوحظ عند معاملة التربة بالكيتوزان التقليدي (CHO) انخفاضاً معنوياً في القيم عند جميع التراكيز مقارنة بالشاهد، حيث بلغت (151) ppm عند التركيز 50% (بنقص 29.8%)، ثم تحسنت قليلاً إلى (200) ppm عند التركيز 100% (بنقص 7.0%)، قبل أن تنخفض مجدداً إلى (172) ppm عند التركيز 150% (بنقص 20.0%)، وهذا السلوك غير المنتظم (زيادة غير طردية) قد يعود إلى أن الكيتوزان التقليدي يزيد من نفاذية أغشية الخلايا الجذرية بشكل عشوائي، مما يعزز امتصاص النبات للبوتاسيوم دون أن تعوضه التربة بالكمية نفسها، أو ربما يؤدي إلى فقدان بعض الأيونات بالغسيل نتيجة تغير الخصائص الفيزيائية للتربة [24]، وبما أن الفرق بين CHO100% والشاهد بلغ 15 وهو ما يتجاوز قيمة L.S.D بين التراكيز (4.274)، فإن هذا الانخفاض يُعتبر معنوياً عند مستوى 0.01، أما بالنسبة للكيتوزان النانوي (CHN) ، فقد أظهر سلوكاً مختلفاً تماماً، حيث سجل انخفاضاً معنوياً حاداً عند التركيز 50% إلى (102.5) ppm (بنقص 52.3%)، ثم زيادة معنوية عند التركيز 100% إلى (236) ppm (بزيادة 9.8%)، ليعود وينخفض عند التركيز 150% إلى (210) ppm (بنقص 2.3%)، ويمكن تفسير الانخفاض الكبير عند التركيز 50% من الكيتوزان النانوي إلى أن الجرعات المنخفضة من الجزيئات متناهية الصغر تحفز النبات على امتصاص كميات كبيرة من البوتاسيوم بشكل يفوق قدرة التربة على تجديده في المحلول الأرضي، مما يؤدي إلى استنزاف مؤقت للمخزون المتبادل [24]، أما الارتفاع الملحوظ عند التركيز 100% فيعود إلى أن الجزيئات النانوية عند هذا التركيز تعمل على تحسين تجمع حبيبات التربة وزيادة قدرتها على التبادل الكاتيوني (CEC)، مما يرفع من كفاءة الاحتفاظ بالبوتاسيوم ويقلل من فقدانه وهذا ما يتوافق مع نتائج دراسة [17،20]، في أن الكيتوزان النانوي يعمل على زيادة البوتاسيوم المتاح في التربة بسبب قدرة الجزيئات النانوية على تغليف حبيبات التربة وتشكيل غشاء شبه منفذ يحافظ على البوتاسيوم داخل منطقة الجذور، بالإضافة إلى أن الكيتوزان النانوي بحد ذاته يتحلل مطلقاً أيونات أمونيوم تعمل على إزاحة البوتاسيوم المتبادل إلى المحلول [6]، من المهم ملاحظة أن التركيز 100% من الكيتوزان النانوي هو نفسه الذي تفوق في جميع المؤشرات السابقة،

لكن التحسن في البوتاسيوم كان متواضعاً (9.8%) مقارنة بالفوسفور (55.5%) والنيتروجين (83.3%)، وهذا متوقع لأن البوتاسيوم أيون أحادي التكافؤ لا يتأثر بتغير الرقم الهيدروجيني بنفس الدرجة التي يتأثر بها الفوسفور، ولا يحتاج إلى عمليات إذابة معقدة، بل يعتمد تحسينه بشكل أساسي على زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالكاتيونات، وهذا ما يفسر لماذا استغرق الأمر تركيزاً محدداً (100%) لتحقيق هذا التحسن [30]، وبما أن الفرق بين CHN100% والشاهد بلغ 21 وهو يتجاوز L.S.D بين التراكيز (4.274)، والفرق بين CHN100% و CNO100% بلغ 36 وهو أكبر من L.S.D بين النوعين (3.022)، فإن هذه الفروق تعتبر معنوية عند مستوى 0.01. أما معامل الاختلاف فقد بلغ 1.3%،

جدول (11) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في البوتاسيوم المتاح مقدرة بالـ (ppm) في التربة المزروعة بالبازلاء

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D 0.01 بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CHO	
CH0	215^{b}	215^{b}	3.022
50%	102.5^{g}	151^{f}	
100%	236^{a}	200^{d}	
150%	210^{c}	172^{e}	
L.S.D 0.01 بين التراكيز	4.274		C.V % 1.3

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.01 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

8-4- تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والتقليدي في إنتاجية نبات البازلاء:

بينت نتائج التحليل الإحصائي استجابة متباينة لإنتاجية نبات البازلاء عندما تم معاملته بالكيتوزان (النانوي والتقليدي) وذلك تبعاً لنوع وتركيز الكيتوزان المستخدم، حيث سُجل أعلى إنتاجية لنبات البازلاء في معاملة الكيتوزان النانوي CHN100% إذ بلغت (473.7 كغ/ دونم) وبزيادة معنوية كبيرة بلغت 409% مقارنة مع الشاهد (93 كغ/ دونم) (جدول 12)، بينما كانت أقل إنتاجية للنبات (103 كغ/ دونم) في معاملة الكيتوزان التقليدي CHO50% حيث بلغت نسبة الزيادة 10.7% مقارنة مع الشاهد، وارتفعت هذه النسبة إلى 45.6% في معاملة الكيتوزان التقليدي CHO100% حيث بلغت الإنتاجية (135.5 كغ/ دونم)، وإلى 119.8% في معاملة الكيتوزان التقليدي CHO150% حيث وصلت الإنتاجية إلى (204.5 كغ/ دونم)، وبشكل عام تفوقت إنتاجية نبات البازلاء في جميع المعاملات المدروسة مقارنةً مع الشاهد، حيث ارتفعت قيمتها عند استخدام الكيتوزان وخاصة الشكل النانوي منه، كما تفوقت معاملات الكيتوزان النانوي على نظيرتها التقليدية بشكل ملحوظ وخاصة في معاملتي الكيتوزان النانوي CHN100% و CHN150%، فبلغت الإنتاجية (278.5 كغ/ دونم) في معاملة الكيتوزان النانوي CHN150% بنسبة زيادة بلغت 199.4% وانخفضت إلى (128 كغ/ دونم) في معاملة الكيتوزان النانوي CHN50% وبزيادة قدرت بـ 37.6% مقارنة مع الشاهد، ويعود ذلك إلى أن النانوكيتوزان يُحسّن من النمو والإنتاجية عن طريق تحفيز العمليات الفيزيولوجية مثل التمثيل الضوئي وزيادة مقاومة النباتات للإجهادات البيئية [30]، وتجدر الإشارة إلى أن المعاملة التي حققت أعلى إنتاجية (التركيز 100% من الكيتوزان النانوي CHN100%) هي نفسها التي سجلت زيادة محتوى التربة من المادة العضوية والنيتروجين الكلي والفوسفور والبوتاسيوم المتاحين (الجداول 7،9،10،11،12)، وخفضت pH التربة والناقلية الكهربائية والكربونات الكلية (الجداول 5،6،7،8).

جدول (12) تأثير المعاملة بالكيتوزان التقليدي والنانوي في إنتاجية نبات البازلاء مقدرة بالـ (كغ/ دونم) [5]

المعاملة / التركيز	نوع الكيتوزان		L.S.D $_{0.05}$ بين نوعي الكيتوزان
	CHN	CNO	
CH0	93[d]	93[d]	35.88
50%	128[d]	103[d]	
100%	473.7[a]	135.5[cd]	
150%	278.5[b]	204.5[c]	
L.S.D $_{0.05}$ بين التراكيز	50.74		C.V % 14.1

ترمز الحروف المختلفة بين المعاملات إلى وجود فروق معنوية عند مستوى معنوية 0.05 وتم ترتيب التفوق المعنوي للمعاملات حسب الترتيب الأبجدي

يمكن ترتيب المعاملات المدروسة حسب مستويات الكيتوزان المستخدمة وفقاً لمؤشر إنتاجية نبات البازلاء من الأعلى إلى الادنى كما يلي:

CHN100% > CHN150% > CHO150% > CHO100% = CHN50% > CHO50% > CH0 الشاهد

5- الاستنتاجات:

عند استخدام مستويات مختلفة من مستحضر الكيتوزان (50%،100%،150%) بنوعيه (التقليدي والنانوي) على نبات البازلاء المزروع في ظروف محافظة حمص وتأثيرها في بعض الخواص الكيميائية للتربة وإنتاجية نبات البازلاء أمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

1- أظهرت النتائج تفوقاً واضحاً للكيتوزان النانوي (CHN) مقارنة بالكيتوزان التقليدي (CHO) في جميع المؤشرات المدروسة، حيث سجلت معاملة CHN100% أعلى تحسناً في خفض الرقم الهيدروجيني إلى 6.60، وخفض الناقلية الكهربائية إلى 0.055 ds/m بنسبة 87.8%، ورفع المادة العضوية إلى 1.82%، وخفض كربونات الكالسيوم إلى 14.3% بنسبة 35%، ورفع النيتروجين الكلي إلى 0.33% بنسبة 83.3%، وأدى إلى زيادة الفوسفور المتاح إلى 28 جزءاً في المليون بنسبة 55.5%، والبوتاسيوم المتاح إلى 236 جزءاً في المليون بنسبة 9.8%، بينما لم تحقق غالبية معاملات الكيتوزان التقليدي تحسناً معنوياً في معظم المؤشرات آنفة الذكر.

2- تبين أن التركيز 100% من الكيتوزان النانوي هو التركيز الأكثر فعالية، حيث حقق أعلى القيم في جميع المؤشرات مقارنة بالتركيزين 50% و150%، وجاءت معاملة CHN150% في المرتبة الثانية في معظم المؤشرات، بينما كانت CHN50% الأقل فعالية بين معاملات الكيتوزان النانوي، مما يؤكد وجود تركيز أمثل يجب استخدامه للحصول على أفضل النتائج.

3- لم يؤد إضافة الكيتوزان التقليدي من تحقيق أي تحسّن معنوي في معظم المؤشرات مقارنة بالشاهد وبمعاملات الكيتوزان النانوي، بل تسبب في بعض الحالات في تدهور نسبي في خصائص التربة، حيث زاد من كربونات الكالسيوم عند التركيز 150% إلى 27.2%، كما لم يؤد إلى زيادة النيتروجين الكلي والفوسفور المتاح والبوتاسيوم المتاح عن مستويات الشاهد في معظم المعاملات، مما يثبت أن هذا النوع من الكيتوزان غير مناسب للاستخدام في الترب الكلسية.

4- تزامن تحسّن المؤشرات الكيميائية للتربة مع زيادة إنتاجية البازلاء، حيث حققت معاملة CHN100%أفضل تحسن في قيم المؤشرات المدروسة، وهي نفسها التي حققت أعلى إنتاجية بلغت 473.7كغ/ دونم بزيادة قدرها 409% مقارنة مع الشاهد.

6- المقترحات:

بناءً على النتائج السابقة، نقترح استخدام الكيتوزان النانوي بتركيز 100% كمعاملة مثلى لتحسين الخصائص الكيميائية للتربة الكلسية وزيادة إنتاجية البازلاء في ظروف محافظة حمص، حيث أثبت هذا التركيز تفوقه المعنوي على جميع المعاملات الأخرى في جميع المؤشرات المدروسة، كما يوصى بتجنب استخدام الكيتوزان التقليدي في الأراضي الكلسية لعدم فعاليته، وتجنب استخدام الجرعات المنخفضة (50%) أو المرتفعة (150%) من الكيتوزان النانوي لأنها أقل كفاءة من التركيز الأمثل 100%. كما نقترح إجراء مزيد من الدراسات والأبحاث لتقييم سلامة الاستخدام البيئي الآمن للكيتوزان النانوي (على المدى البعيد) بتراكيز أخرى وعلى محاصيل مختلفة.

7- المراجع:

[1] عودة، محمود؛ وشمشم، سمير. (2008). خصوبة التربة وتغذية النبات. منشورات جامعة حمص – كلية الهندسة الزراعية.

[2] العيسى، عبد الله. (2007). ميكروبيولوجيا التربة. منشورات جامعة حمص- كلية الهندسة الزراعية.

[3] المجموعة الإحصائية الزراعية (2023). دائرة الإحصاء، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي. دمشق، سوريا.

[4] المحطة المناخية. (2023). مركز البحوث العلمية الزراعية. حمص، سوريا.

[5] النجار، عبدالرزاق؛ العيسى، عبدالله؛ الحمدان، محمود. (2026). دراسة تأثير استخدام الكيتوزان النانوي والعادي في بعض مؤشرات نمو وإنتاجية نبات البازلاء المزروع في ظروف محافظة حمص. مجلة جامعة حمص.

[6] Abd El-Ghany, M. F., Abdel-Aziz, M. S., & El-Sheikh, H. H. (2020). Mineral composition of chitosan derived from different crustacean sources. *Egyptian Journal of Chemistry*, *63*(5), 1789-1798.

https://ejchem.journals.ekb.eg/article_87884.html

[7] Ahmed, F., & Hassan, M. (2021). Phosphorus requirements and its role in pea production. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(4), 2876-2888.

https://doi.org/10.1007/s42729-021-00582-7

[8] Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods* (pp. 1085-1121). Soil Science Society of America.

https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c37

[9] Divya, K., & Jisha, M. S. (2018). Chitosan nanoparticles preparation and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *113*, 494-506.

https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.129

[10] El Hadrami, A., Adam, L. R., & Daayf, F. (2022). Physicochemical characterization and elemental analysis of commercial chitosan. *Carbohydrate Polymers*, *275*, 118702.

https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118702

[11] El-Sayed, M. M., Ahmed, F., & Hassan, M. (2022). Integrated nutrient management in pea (*Pisum sativum* L.) for sustainable production. *Sustainable Agriculture Research*, *11*(3), 45-58.

https://doi.org/10.5539/sar.v11n3p45

[12] Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods* (pp. 551-574). Soil Science Society of America.

https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c19

[13] Khalifa, N. S., & Hasaneen, M. N. (2022). Nano-chitosan as a growth promoter and yield enhancer in pea (*Pisum sativum* L.). *International Journal of Biological Macromolecules*, *208*, 456-467.

https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.112

[14] Kjeldahl, J. (1883). A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift für Analytische Chemie*, *22*, 366-382.

[15] Knudsen, D., Peterson, G. A., & Pratt, P. F. (1982). Lithium, sodium, and potassium. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 225–246). American Society of Agronomy.

https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c13

[16] Kumar, S., Singh, R., & Sharma, P. (2020a). Chitosan: A versatile biopolymer for agricultural applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, *154*, 1385–1394.

https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.036

[17] Kumar, S., Singh, R., & Sharma, P. (2020). Potassium fertilization effects on yield and quality of pea (*Pisum sativum* L.). *Potassium Research Journal*, *15*(2), 145–156.

[18] Kumar, S., Singh, R., & Sharma, P. (2021). Nutritional evaluation of chitosan as a nitrogen source for plants. *International Journal of Biological Macromolecules*, *182*, 1680–1688.

https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.168

[19] Kumari, S., Kumar, A., & Thakur, V. K. (2019). Trace elements analysis in commercial chitosan samples. *Food Chemistry*, *276*, 210–215.

https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.031

[20] Mohamed, A. M., Ahmed, F., & Hassan, M. (2023). Comparative study of bulk and nano-chitosan on growth and productivity of pea. *Scientific Reports*, *13*, 7890.

https://doi.org/10.1038/s41598-023-35123-6

[21] Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (USDA Circular No. 939). U.S. Government Printing Office.

https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/pdf_pubs/P0128.pdf

[22] Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982). Phosphorus. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.), *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp. 403–430). American Society of Agronomy.

https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c24

[23] Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (Eds.). (1982). *Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties* (2nd ed.). American Society of Agronomy.

https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed

[24] Rahman, M. M., Islam, M. S., & Karim, M. R. (2021). Effect of chitosan on growth, yield and nutrient uptake of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, *44*(5), 678–689.

https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1849298

[25] Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods* (pp. 417–435). Soil Science Society of America.

https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

[26] Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils* (USDA Agriculture Handbook No. 60). U.S. Government Printing Office.

https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/pdf_pubs/handbook60.pdf

[27] Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, *31*(7), 603–632.

https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.06.001

[28] Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., & Loeppert, R. H. (Eds.). (1996). *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America.

https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3

[29] Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, *37*(1), 29–38.

https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003

[30] Zakiullah, Khan, M. F., Irfanullah, Najeebullah, Khaliq, M. A., Riaz, M., Razzaq, T., Urooj, M., Kakar, H., Faheemullah, & Shafique, S. (2019). Effect of chitosan (growth enhancer) on the growth and yield of different pea (*Pisum sativum* L.) varieties under arid condition of Bannu, Pakistan. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, *15*(3), 10-20.

https://innspub.net/effect-of-chitosan-growth-enhancer-on-the-growth-and-yield-of-different-pea-pisum-sativum-l-varieties-under-arid-condition-of-bannu-pakistan/