Effect of Mechanical disassembly compressed subsoil on the macronutrient content (N,P,K) of soybean plants

Dr. Jina Skef*

(Received 17 / 5 / 2026. Accepted 29 / 6 /2026)

□ ABSTRACT □

This study was conducted in Latakia at the Dabba Research Station on clay loam soil. The experiment was designed as a randomized complete block design with six treatments and three replicates per treatment. The soil was exposed to three levels of pressure (0, 187.5, and 307.4 kPa). After compaction, the soil was tilled uniformly to a depth of 20 cm, while the subsurface layers remained compacted at different levels. Mechanical disassembly of the compacted subsurface soil was performed at the shrinkage limit (SL), in addition to a control treatment without disassembly.

The study showed a significant increase in bulk density by increasing the pressure and the highest value was at 307.4 Kpa. Mechanical disassembly significantly reduced bulk density by 0.11 and 0.17 $g.cm^{-3}$ at 187.5 and 307.4 kPa, respectively. That confirm the important role of disassembly by moving the layers of compressed subsurface soil . Disassembly also significantly increased macro porosity by 4.17% and 6.44% at 187.5 and 307.4 kPa, respectively, compared with the non-disassembled treatments. Similarly, pores larger than 10 µm increased by 3.78% and 6.70% at the respective pressure levels. Soil compaction reduced the proportion of pores associated with available water capacity by 3.69%, whereas mechanical disassembly increased these pores by 2.91% at 307.4 kPa. In addition, compaction led to a decrease in saturated hydraulic conductivity with increasing pressure, from 1.17 $m.day^{-1}$ at 187.5 kPa to 0.091 $m.day^{-1}$ at 307.4 kPa. Mechanical disassembly significantly improved hydraulic conductivity, with increases of 0.69 and 1.43 m day^{-1} at 187.5 and 307.4 kPa, respectively.

Keywords: Soil Compression, Subsurface Soil, Mechanical disassembly.

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

* **Assistant Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Lattakia University(formerly Tishreen), Lattakia, Syria**. jina.eskef@latatkia-univ.edu.sy

تأثير تفكيك التربة التحتية المنضغطة على محتوى نبات فول الصويا من العناصر الكبرى (N,P,K)

د. جينا اسكيف *

(تاريخ الإيداع 17 / 5 / 2026. قبل للنشر في 29 / 6 / 2026)

□ ملخّص □

أجريت الدراسة في محافظة اللاذقية (محطة بحوث دبا) على تربة طينية لومية، وصممت وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (6 معاملات وبثلاث مكررات لكل معاملة) ، حيث تم ضغط التربة بثلاث مستويات (0، 187,5، 307.4) Kpa على الترتيب، ثم بعد ذلك تمت حراثة التربة المنضغطة بشكل متجانس لعمق 20 سم وبقيت الطبقة التحتية منضغطة بدرجات مختلفة، ثم أجري تفكيك ميكانيكي بواسطة مفكك ميكانيكي لطبقات التربة التحتية المنضغطة عند حد الانكماش مع وجود شاهد بدون تفكيك. وبينت الدراسة انخفاض تركيز العناصر الكبرى الثلاثة في النبات بنسب مختلفة مع زيادة الضغط المطبق بسبب زيادة كثافة التربة وقلة التهوية وانخفاض كفاءة وقدرة الجذور على امتصاص العناصر الغذائية ، و أدى التفكيك الميكانيكي لطبقات التربة التحتية المنضغطة إلى تحسين بيئة نمو الجذور زيادة معنوية لتركيز العناصر الثلاثة الكبرى في النبات في جميع المعاملات المدروسة ، حيث ارتفع تركيز الازوت من 0.883% في المعاملة المضغوطة بمقدار307.4Kpa إلى 1.097 % نتيجة التفكيك الميكانيكي كذلك أدى التفكيك و لنفس المعاملة إلى ارتفاع تركيز الفوسفور معنوياً في ذات المعاملة من 0.12 إلى 0.19 % و ارتفع تركيز البوتاسيوم من 0.69 إلى 1.05 % .

الكلمات المفتاحية : انضغاط التربة ، طبقات التربة التحتية ، التفكيك الميكانيكي

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

* مدرس ، كلية الهندسة الزراعية ، جامعة اللاذقية (تشرين سابقاً) – اللاذقية – سوريا. jina.eskef@latatkia-univ.edu.sy,

مقدمة:

في ظل الظروف الحالية وزيادة عدد السكان والحاجة إلى تطوير القطاع الزراعي والنهوض به تم إدخال العديد من عمليات خدمة التربة إلا أن استخدام الآلات الزراعية على نطاق واسع في تنفيذ العديد من العمليات الزراعية أدى إلى جعل التربة معرضة لضغوط مختلفة تتراوح بين (100–450) كيلو باسكال حسب [1]، والتي أدت إلى حدوث تغير في خصائص التربة الفيزيائية، وهذا التغير لا يقتصر على الطبقة السطحية للتربة فقط بل يتعداه إلى طبقات التربة تحت السطحية. وبالتالي فإن انضغاط الطبقات التحتية يؤدي إلى إعاقة انتشار الجذور بسبب انخفاض المسامية الكلية وحدوث خلل في توزيع النظام المسامي وزيادة مقاومة التربة للاختراق [2]. وتعرّف التربة بأنها نظام ديناميكي متعدد الاطوار تتألف من الطور الصلب والطور السائل والطور الغازي، ولكي يحصل هذا التوازن يجب ان يشكل الطور الصلب 50% حجماً والطور السائل 25% حجماً والطور الغازي 25% حجماً حسب [3]. إلا أن هذه النسب تتغير باستمرار تبعاً لظروف الاستثمار حيث أدى الاستثمار المكثف من قبل الانسان في الآونة الأخيرة الى انضغاط التربة وتدهور الحالة البنائية لها. ويعتبر انضغاط التربة هو النمط الفيزيائي لتدهور التربة ويؤدي الى تدهور بنائها ليس فقط في الطبقة السطحية وإنما يتعداها إلى الطبقات التحتية للتربة، وهذه الاضرار التي يمكن أن تلحق ببناء التربة خلال فترة قصيرة تحتاج إلى زمن طويل من أجل إعادتها إلى ما كانت عليه قبل تعرضها الضغط [4].

يحدث الانضغاط بسبب استخدام الآلات الزراعية و معدات الحراثة و الحيوانات أثناء سيرها فوق الأراضي عندما تكون رطوبة التربة عالية و الحراثة على عمق واحد لفترات طويلة بالإضافة إلى مرور عجلة الجرار في خط الفلاحة أثناء الحراثة المطرحية و إضافة الأسمدة المعدنية دون الأسمدة العضوية [5]. وعرف [6]الانضغاط بأنه تعرض التربة لقوى خارجية تقلل من حجم المسامات وتزيد من الكثافة الظاهرية مما يقلل من نفاذية التربة للماء، ويقلل أيضاً من حجم وعدد المسامات الكبيرة الفعالة والمسؤولة عن حركة الماء المتجه نحو الأسفل إلى داخل التربة إضافة إلى حركة الماء الصاعد نحو الأعلى بالخاصة الشعرية من الماء الأرضي، كما يقلل الانضغاط من إتاحة الماء والهواء والمغذيات ويحد من توزع وتغلغل الجذور في التربة [7 , 8]. وحسب [9] يتواجد 70% من الجذور في الطبقة السطحية للتربة و 30% في الطبقة تحت السطحية، ويرى هذا الباحث أن النسبة يجب ان تكون النسبة 50% في الطبقة السطحية و50% في الطبقة تحت السطحية مما يؤكد على أهمية هذه الطبقة وضرورة بقائها في حالة جيدة. تعتبر دراسة الآثار التي يخلفها الانضغاط على خصائص التربة بشكل عام وما يترتب على ذلك من تأثيرات على النبات مجالاً هاماً تم تناوله خلال العديد من الدراسات والأبحاث، ففي دراسة تم فيها ضغط تربة رملية طينية لومية مزروعة بالحبوب انخفض الإنتاج في السنة الأولى للدراسة بنسبة 38%، وفي السنة الثانية انخفضت كل من المسامية الكلية بنسبة 4% والمسامية الهوائية بنسبة 3% والمحتوى الرطوبي بنسبة 1%، كما زادت الكثافة الظاهرية بمقدار 0.1غ/سم^3 ، وزادت مقاومة التربة للاختراق بمقدار 0.46 Mpa حسب [10].وحسب [11] وأثناء تقييم الخصائص الفيزيائية والهيدروديناميكية لطبقة التربة التحت السطحية في بعض مواقع الساحل السوري تحت ظروف الاستثمار الحالي تبين ان 81.81% من المواقع المدروسة منضغطة في الطبقات التحتية وتجاوزت فيها درجة الانضغاط القيمة الحدية وهي 84%. مما يؤكد على وجود ضرورة ملحة لاستصلاح هذه الطبقات. حيث يعتبر التفكيك الميكانيكي لطبقة التربة تحت السطحية هو الوسيلة الوحيدة فقط للتخلص من الاجهادات الأفقية الناتجة عن الانضغاط (الاجهادات العمودية) وبالتالي ضرورة التفكيك الميكانيكي لإزالة هذه الإجهادات [12]. وتبين دراسة[13] الاثار الايجابية للتفكيك الميكانيكي للطبقات التحتية من الناحية الفيزيائية حيث أدى إلى زيادة حجم المسامات الهوائية الاكبر من 10 ميكرون

من 1.8% إلى 13.2%، وكانت الزيادة الاكبر في حجم المسامات التي أقطارها أكبر من 50 ميكرون على تربة طينية سلتية، وانخفضت الكثافة الظاهرية من 1.45 غ/سم^3 إلى 1.36 غ/سم^3.

وبالتأكيد يؤثر انضغاط التربة سلباً على امتصاص النبات للعناصر والمغذيات بعدة آليات فيزيائية وكيميائية ، حيث يؤدي الانضغاط خاصة في الطبقات التحتية إلى تقييد نمو الجذور وانخفاض قدرتها على اختراق التربة والوصول الى العناصر الغذائية الموجودة في طبقات التربة التحتية وأظهرت دراسة أجريت على نبات الذرة [14] أن الانضغاط يغير من استراتيجية النبات في امتصاص العناصر وأن التغييرات في تهوية التربة تؤثر على شكل الآزوت الممتص مقارنة بالترب غير المنضغطة التي يمتص فيها النبات الازوت بشكل اساسي على شكل نترات وهذا يشير ضمنياً الى تأثير الانضغاط على درجة الحموضة في منطقة الرايزوسفير و بالتالي حدوث خلل في كفاءة امتصاص الآزوت من قبل النبات . وأكد دراسة[15] أجريت على تربة منضغطة مزروعة بنبات الذرة أن الانضغاط يؤثر على محتوى الفوسفور والبوتاسيوم في النبات لان الفوسفور من العناصر قليلة الحركة في التربة ويعتمد امتصاصه بشكل كبير على انتشار الايونات في مسامات التربة وصولاً إلى الجذور ويكمن التأثير السلبي للانضغاط بسبب قلة المسامات الكبيرة وانقطاع الاتصالية بين المسامات مما يعيق حركة الفوسفور كما بينت الدراسة أن انضغاط التربة أدى إلى نقص محتوى الفوسفور والبوتاسيوم في النبات في الترب المنضغطة مقارنة بالترب المهواة (الشاهد) وذلك بسبب الحد من نمو و انتشار المجموع الجذري مما يؤثر على قدرة النبات على امتصاص المغذيات . كما أظهرت الدراسة ان معالجة الترب المضغوطة عن طريق دمج المحسنات العضوية مثل بقايا قصب السكر مع الميكروبات أدى إلى تحسين بنية التربة و زيادة البوتاسيوم المتاح بنسبة 18 % وزيادة الفوسفور المتاح بنسبة 23 % مقارنة بالشاهد كما ساهمت بزيادة المسامية الكلية بنسبة 40% ،مما يدل على ان الانضغاط يخفض من تركيز البوتاسيوم والفوسفور القابلان للامتصاص من قبل النبات وذلك بسبب وجود الطبقات المنضغطة التي شكلت عائق فيزيائي حيث قللت من كمية وحجم محلول التربة الحاوي على المغذيات مما أدى إلى تقليل امتصاص العناصر من قبل النبات.

وبسبب تعدد الآثار السلبية لمشكلة انضغاط التربة على خواص التربة وعلى نمو وانتاجية النبات اتجهت العديد من الدراسات لمعالجة هذه المشكلة وإيجاد الحلول عن طريق حراثة وتفكيك الطبقات المنضغطة خاصة عند العمق 20–40 سم حيث أظهرت أبحاث في معهد نايجينغ للجغرافيا والبحيرات في الصين في العام 2023 أن حراثة وتقليب التربة تختلف حسب العمق حيث تتفوق أنظمة عدم الحراثة والحراثة الحافظة بشكل كبير في زيادة تركيز جميع العناصر بما فيها **N,P,K** بفضل تراكم المخلفات العضوية ونشاط الكائنات الحية الدقيقة ، في حين يظهر دور الحراثة العميقة هاماً في الطبقة تحت السطحية (15–45) سم فقد وجدت الدراسة أن إدخال الحراثة العميقة المتقطعة (مرة كل بضع سنوات) وتفكيك الطبقات المنضغطة بشكل دوري يزيد من خصوبة الطبقات العميقة كما يزيد تركيز الازوت والفوسفور المتاح في هذه الطبقة وكامل قطاع التربة مما يشجع الجذور على التعمق وامتصاص العناصر من عمق أكبر [16]. وتشير الأبحاث الحديثة ان معالجة انضغاط التربة لا يقتصر فقط على تحسين الخواص الفيزيائية بل تحدث تغييراً جوهرياً في الكيمياء الحيوية للتربة وفي سلوك الجذور مما يعزز امتصاص العناصر الغذائية حيث أكد [17] انعكاس على تقليل فقد الآزوت بالنترجة وزيادة تيسير الفوسفور غير العضوي وتحسين تهوية التربة ونشاط الجذور وأيضاً تحرير البوتاسيوم المرتبط في طبقات معادن الطين بفعل نمو الجذور.

يتبع فول الصويا .Glycine max.L الفصيلة البقولية Fabaceae ويعتقد أن موطنه الأصلي هو جنوب شرق آسيا حيث عرف منذ حوالي سبعة آلاف سنة، وتعد الصين المهد الأول لنشوئه ، يعتبر فول الصويا من محاصيل البذور الزيتية الهامة وقد عدته منظمة الأغذية والزراعة FAO من المحاصيل الاقتصادية عالمياً [18 , 19]ويعتبر من أهم المحاصيل الزراعية التي تشكل مصدرا للزيت والبروتين، كما ويعد محصولاً استراتيجيا هاماً ليس فقط لاستعماله كغذاء للإنسان والحيوان ، بل لأنه يقوم بتحسين خصوبة التربة عن طريق تثبيت الازوت في التربة من الغلاف الجوي [20]. تحتوي بذور فول الصويا الجافة على نسبة زيت تتراوح بين 6.5 % و19% و تصل إلى 28.7% وذلك تبعا لاختلاف التربة ،الصنف المزروع، والظروف المناخية [21] ويتميز زيت الصويا بغناه بالاحماض الدسمة الغير مشبعة [22] كما وتحتوي بذور الصويا على 35–50 % بروتين على خلاف المحاصيل الزيتية الاخرى التي تحتوي فقط 20% [23]، وبالتالي فهو يتفوق من حيث المحتوى البروتيني على جميع المحاصيل البقولية. ويعتبر فول الصويا محصول متعدد الاستخدامات حيث يعتمد عليه كغذاء للإنسان ويستخدم كعلف للحيوانات بأشكال مختلفة كعلف أخضر أو سيلاج[24]، كما أن لفول الصويا استخدامات صناعية واسعة في مجالات هامة. ويعتبر من المحاصيل المتأثرة بطبيعة التربة ففي دراسة أجريت في اندونيسيا تراوحت الانتاجية 2030 كغ/هـ في العام 2014، وبلغت 2120 كغ/هـ في العام 2015 أي زادت بمعدل 4.5 % نتيجة تحسين صفات التربة واضافة الاسمدة المناسبة[25]. حيث يعتبر من المحاصيل المتأثرة بانضغاط التربة بسبب طبيعة جذوره المتعمقة التي تصل إلى 150 سم. وبينت دراسة [26]تم فيها تطبيق نظام الحراثة العميقة مع التسميد العميق لنبات فول الصويا أدت إلى زيادة تراكم الفوسفور في المجموع الخضري بنسبة 23 % مقارنة بنظام عدم الحراثة مع التسميد السطحي كما أظهر البوتاسيوم استجابة أكثر وضوحاً حيث زاد امتصاص البوتاسيوم في المجموع الخضري بنسبة 30% كما انعكس ذلك على إتاحة الازوت من خلال زيادة النشاط الميكروبي الذي يساهم في تحويل الآزوت العضوي إلى صورة معدنية قابلة للامتصاص من قبل النبات.

ويمثل المجموع الخضري (الأوراق، السيقان، والأفرع) لفول الصويا المصدر الرئيسي لعملية البناء الضوئي ومخزنًا مؤقتًا للعناصر الغذائية قبل انتقالها إلى الحبوب. وتشير مراجع حديثة إلى وجود علاقة تكاملية بين الآزوت والبوتاسيوم في المجموع الخضري، حيث يحسن البوتاسيوم كفاءة استخدام الآزوت في التمثيل الغذائي[27]. كما أن الفوسفور يعزز تثبيت الآزوت ويلعب دورا هاماً في نقل وتخزين الطاقة وتكوين الزيت في البذور، مما يرفع تركيز النيتروجين الكلي في الأوراق [28]. ويبلغ تركيز الآزوت في المجموع الخضري بعد التجفيف بين 1.42 و 1.84 % في حين تتراوح تراكيز الفوسفور بين 0.19 و0.23 % وتراكيز البوتاسيوم بين 2.66 و2.95 %حسب [29]مع الاشارة أن هذه القيم تمثل العناصر المتبقية في المخلفات بعد انتقال الجزء الأكبر في البذور حسب[30] .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث إيجاد الحلول المناسبة لطبقات التربة التحتية المنضغطة والتي لا يمكن استصلاحها إلا بالتفكيك الميكانيكي الذي يعمل على إزالة الإجهادات الأفقية و تحسين خواص التربة وإنتاجيتها ، ويهدف البحث إلى:

1- دراسة أثر انضغاط طبقات التربة التحتية على امتصاص نبات فول الصويا للعناصر الكبرى (N,P,K).

2- دراسة أثر التفكيك الميكانيكي للطبقات التحتية عند درجات مختلفة من الانضغاط على قدرة النبات على امتصاص العناصرالكبرى .

3-تحديد العلاقة بين درجة الانضغاط في الطبقة التحتية وفعالية التفكيك الميكانيكي في تحسين قدرة النبات على امتصاص العناصر الكبرى .

طرائق البحث و مواده:

نفذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية في محافظة اللاذقية (محطة بحوث دبا) ، و بعد تحديد موقع تنفيذ التجربة تم أخذ عينات من الموقع من الاعماق (20-0، 40-20) وأخذت عينات مرافقة لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة وتم إجراء مجموعة من التحاليل:

أولاً : تحاليل التربة : 1- التحليل الميكانيكي [13]

2- المادة العضوية (بطريقة الأكسدة الرطبة باستخدام ديكرومات البوتاسيوم والمعايرة بسلفات الحديد النشادرية) وفق [31]

3- سعة التبادل الكاتيوني (CEC) تم تقديرها بطريقة إشباع التربة بالصوديوم والغسيل بخلات الامونيوم ومن ثم قدّر الصوديوم في مستخلص خلات الامونيوم بجهاز اللهب وهو يعبر عنCEC في التربة حسب طريقة [32]

4- الكثافة الحقيقية

5- السعة الحقلية ونقطة الذبول الدائم تقاس بجهاز الضغط الغشائي بتعريض عينات التربة لمستويات ضغوط مناسبة وتحديد رطوبة التربة عند كل مستوى .

ثانياً : النبات المدروس : 1- نوع النبات : فول الصويا سلالة رقم **Sb342** (زراعة مروية)

2- تاريخ الزراعة : تمت الزراعة يدوياً في جور في نهاية حزيران كعروة تكثيفية بمعدل 3 بذور في كل جورة ثم تمت تغطية البذور بشكل جيد وتم الحصاد في شهر تشرين الثاني.

3-الخدمة الزراعية: تم إنشاء خطوط الزراعة حيث المسافة بين الخط والآخر 50 سم و18 سم بين النباتات في كل صف ، وبالتالي تضم كل قطعة تجريبية 4 خطوط. مع ترك مسافات أمان بين القطع التجريبية. ليكون مساحة كامل التجربة 45 × 10 =450 متر مربع. تم إعداد القطع التجريبية بمساحة 9م^2 لكل قطعة (3 م طول *3 م عرض).

الري : رويت التربة عند 80% من السعة الحقلية حيث تمت عمليات الري عندما تصل رطوبة التربة إلى 80 %من السعة الحقلية عن طريق تحديد رطوبة التربة بواسطة المسبار اليدوي بشكل أسبوعي بواسطة شبكة ري بالتنقيط JR.

الإضافات السمادية : أضيفت الاسمدة الآزوتية على ثلاث دفعات بواقع 70 كغ يوريا تعطى قبل الزراعة أثناء تحضير الأرض للزراعة، و70كغ يوريا على دفعتين بعد الزراعة، أما الاسمدة الفوسفورية أضيفت بمعدل 160 كغ سوبر فوسفات46 وكذلك الاسمدة البوتاسية بمعدل 120 كغ سلفات البوتاسيوم وذلك أثناء تحضير الأرض للزراعة. ثم خلطت مع التربة أثناء الحراثة الاساسية ، بعد الانتهاء من الزراعة تمت متابعة وتنفيذ عمليات الخدمة من عزيق وري وتعشيب ومتابعة نمو النباتات خلال موسم النمو وحتى الحصاد.

ثالثاً : تحاليل النبات بعد الحصاد في شهر تشرين الأول تمت ازالة القرون من المعاملات ثم وضعت المعاملات في المخبر لتجفيفها هوائياً وبعد انتهاء التجفيف تم هضم عينات المادة النباتية بالترميد على درجة حرارة 500 درجة مئوية وإذابة الرماد في حمض كلور الماء 2 % وقدر في محلول الهضم الناتج كل من العناصر التالية:

1- البوتاسيوم (طريقة الهضم الجاف – جهاز اللهب) [33]

2- الفوسفور(طريقة الهضم الجاف- موليبدات فاندايت) [33]

كما تم هضم (1) غ مادة نباتية هضماً رطباً بحمض الكبريت المركز واستخدام مادة محفزة على درجة حرارة 360درجة مئوية لمدة ساعتين ثم قدر في محلول الهضم الناتج الآزوت (طريقة الهضم الرطب – طريقة كلداهل) [34] فكانت النتائج كما هي في الجدول التالي:

الجدول (1) بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة في الأعماق المدروسة

التحليل	العمق 0–20سم	العمق 20–40 سم	الطريقة المستخدمة
نسبة الطين%	39.91	40.53	طريقة الهيدرومتر
نسبة السلت%	33.0	35.27	طريقة الهيدرومتر
نسبة الرمل%	27.09	24.20	طريقة الهيدرومتر
نوع قوام التربة	طينية لومية	طينية لومية	مثلث القوام حسب التصنيف الأميركي
نسبة المادة العضوية %	1.97	0.53	طريقة الهضم الرطب
سعة التبادل الكاتيوني م.م/100غ تربة	46.5	46.8	طريقة الاستخلاص خلات الصوديوم
الكثافة الحقيقة غ/سم^3	2.61	2.64	البكنومتر
السعة الحقلية % حجماً	35.4	35.1	جهاز الضغط الغشائي
نقطة الذبول الدائم % وزناً	19.5	18.1	جهاز الضغط الغشائي

يلاحظ من الجدول (1) أن نوع التربة طينية لومية حسب مثلث القوام الأميركي ، وأن خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية في الأعماق المدروسة شبه متجانسة. حيث تراوحت نسبة الطين بين 39.91 – 40.53% ونسبة السلت بين 32.38– 35.89% ونسبة الرمل بين 24.20 –27.09%، كما أن نسبة المادة العضوية تنخفض مع العمق حيث بلغت 1.97% في العمق 0–20سم وهي نسبة تقع ضمن المجال المتوسط 1–4%حسب[35] وانخفضت إلى 0.53% في العمق 20–40 سم.

تمت عملية ضغط التربة عندما أصبحت رطوبة التربة قريبة من حد الترقيق(هو أحد الحدود الميكانيكية للتربة وهو الحد الفاصل بين الحالة النصف الصلبة والحالة اللدنة الطرية يمكن تحديده مخبرياً) وكانت نسبة الرطوبة عنده تعادل 20.75 %، وذلك بواسطة جرار ومقطورة مياه يمكن التحكم بالوزن على محور العجلات الخلفية للمقطورة حيث استخدم حمولتين مختلفتين للمقطورة وتم حساب وزن الجرار مع المقطورة ثم تم حساب وزن المحور الأمامي للجرار والمحور المتوسط والمحور الخلفي بواسطة القبان الإلكتروني وكان الضغط على المحور الخلفي هو الأكبر لذلك تم اعتماده كونه هو القوة الضاغطة الأكبر، حيث كان الوزن على العجلات الخلفية بالنسبة لمستويات الضغط المطلوبة كما هو مبين في الجدول (2).

الجدول (2) الحمولة على المحاور الخلفية للجرار

المعاملة	الحمولة على المحور الخلفي (كغ)(العجلتين)
P_0	بدون ضغط
P_1	1400
P_2	2730

وبعد تحديد حمولة العجلة ب Kg :

تم تحديد مساحة سطح تلامس العجلة ذات الحمولة الأكبر على سطح تربة صلب (جافة هوائيا) وفي مثل هذه الحالة يكون سطح التماس على شكل قطع ناقص حسب[36] حيث وضعت قطعة كرتون وفوقها قطعة من ورق الكربون وبعد

تمرير العجلة على هذه القطعة عند الحمولات المطلوبة تم طباعة مكان العجلة على ورقة الكربون ثم تم تحديد عرض تلامس العجلة مع التربة وطول التلامس في حالة الوقوف على شكل قطع ناقص.

حيث تم حساب مساحته كما يلي:

$$A = \frac{a.b.\ 3.14}{4}\ \text{سم}2$$

حيث إن a : طول القطع الناقص

b : عرض القطع الناقص

وكانت القيم موضحة كالتالي:

الجدول (3) طول وعرض تلامس العجلة مع سطح تربة صلب وجاف هوائياً

المعاملة	a (سم)	b (سم)
P_1	34	14
P_2	39	14.5

فكانت مساحة سطح تلامس العجلة ذات الحمولة الأكبر (المحور الخلفي) مع التربة حسب المعاملة كما يلي:

A = 0 سم^2 في المعاملة P_0

A = 373.4 سم^2 في المعاملة P_1

A = 444 سم^2 في المعاملة P_2

بعد ذلك تم حساب الضغط المطبق (p_a) على المعاملات بالكيلو باسكال وذلك وفق العلاقة التالية:

$$Pa = \frac{P}{A}\ .\ 100$$

حيث أن p حمولة العجلة (كغ)

A مساحة سطح التلامس سم^2

فكانت الضغوط المطبقة كما يلي: $P_0 = 0$ Kpa ، $P_1 =$ 187.5 Kpa ، $P_2 =$ 307.4 KPa

تم الضغط بواسطة الجرار(نيوهولند) والمقطورة المعلقة به للمعاملات المدروسة بحيث تم ضغط كل معاملة مع مكرراتها لكامل مساحة المعاملة حيث أن خط سير العجلة ملاصق لخط سير العجلة السابقة كما هو مبين في الشكل (2):

الشكل رقم(2) يوضح ألية ضغط التربة

حيث تم البدء بالمعاملة ذات الضغط الأكبر 307.4 KPa أولا ثم الانتقال إلى المعاملة ذات الضغط الأقل عن طريق تفريغ كمية من مياه الصهريج مقدرة باللتر لتصل إلى الوزن الاقل المعادل للحمولة المدروسة السابقة الذكر ووزنها ثانية بواسطة القبان الالكتروني بحيث يبقى ضغط المحور الخلفي هو الأكبر .

بعد الانتهاء من ضغط التربة وعندما أصبحت رطوبة التربة قريبة من حد الانكماش (هو أحد الحدود الميكانيكية للتربة وهو الحد الفاصل بين الحالة الصلبة والحالة النصف الصلبة يمكن تحديده مخبرياً) وكانت نسبة الرطوبة عنده تعادل 11.67 % تم إجراء التفكيك الميكانيكي على عمق 50 سم بواسطة مفكك بسلاح واحد موصول على الجرار ا. وتم التفكيك للطبقات التحتية حتى عمق 50 سم كما هو موضح بالأشكال رقم (4,3) إضافة لوجود معاملات بدون تفكيك بثلاثة مكررات لكل معاملة وبالتالي سيكون مجموع القطع التجريبية 18 قطعة.

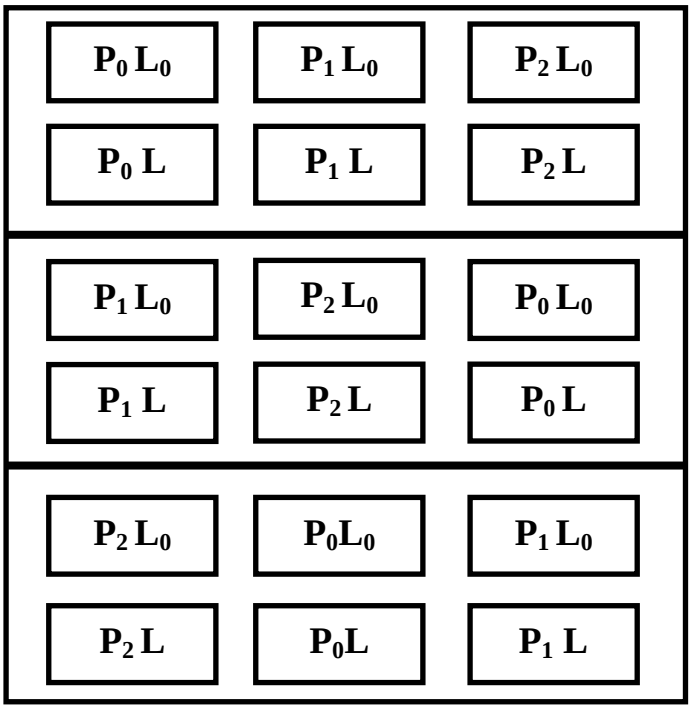
الشكل(3) يوضح سلاح التفكيك الميكانيكي قبل دخوله في التربة

الشكل(4) سلاح التفكيك الميكانيكي أثناء عملية شق التربة

بعد الانتهاء من عملية التفكيك تم ري التربة رية سطحية وبعد وصولها لحد الترقيق تم إجراء حراثة مطرحية على عمق 20سم وترك الطبقات التحتية منضغطة بمستويات مختلفة من الضغط، ثم تم تكسير الكتل الترابية بالعزاقة الدورانية لتسوية سطح التربة.

تصميم التجربة والتحليل الاحصائي:

تصميم التجربة :تجربة عاملية بعاملين حيث تُوزع القطع التجريبية في الحقل وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة (Randomized Complete Block Design) كما في الشكل رقم (7):



الشكل (7) مخطط البحث حسب تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، 12 معاملة تجريبية بثلاث مكررات لكل معاملة

حيث أن P_0 : ضغط = 0 Kp ، P_1 : ضغط = 187.5 Kp ، P_2 : ضغط = 307.4 Kp

L_0: بدون تفكيك ميكانيكي للطبقات التحتية ، L : مع تفكيك ميكانيكي للطبقات التحتية .

التحليل الإحصائي : تم تحليل النتائج إحصائياً واستخدام علاقات الارتباط من الدرجة الأولى و تحليل التباين لحساب أقل فرق معنوي LSD عند مستوى ثقة 5% .

تم أيضاً تحدد كمية الهطولات المطرية والتبخر نتح ودرجتي الحرارة الصغرى والعظمى الشهرية والسنوية خلال عام الدراسة في الجدول (4) مع الإشارة ان فترة الدراسة تمتد من الزراعة في شهر حزيران إلى الحصاد في شهر تشرين الأول :

الجدول (2) معدل الهطولات المطرية والتبخر نتح ودرجتي الحرارة الصغرى والعظمى الشهرية والسنوية

	كانون الثاني	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الاول	المجموع السنوي
الهطولات المطرية ملم	486.9	89.3	26.7	43	80.8	61.8	0.3	-	6.7	56.1	69.3	374.3	1295.2
التبخر نتح ملم	34.1	33.6	62	75	89.9	33.5	120.9	105.4	87	71.3	42	55.8	810.5
الحرارة العظمى	13.6	17.7	21.8	22.9	27.1	28.6	30.2	30.5	28.8	24.9	20.6	16.1	
الحرارة الصغرى	7.9	10	12.6	13.4	19.5	21.9	24	24.5	21.6	16.1	13	10.8	

النتائج والمناقشة:

الجدول (5) يبين تركيز الآزوت في نبات فول الصويا

معاملات الضغط	تركيز الآزوت في النبات %	
	بدون تفكيك ميكانيكي L_0	مع تفكيك ميكانيكي L
P_0	1.020	1.097
P_1	0.160	1.090
P_2	0.883	1.097
LSD5%	0.259	

نلاحظ انخفاض تركيز الآزوت مع زيادة الضغط المطبق بشكل معنوي وهذا يعود لزيادة كثافة التربة الظاهرية ويقلل من مسامية التربة خاصة المسامات الكبيرة المسؤولة عن تصريف المياه و تهوية الجذور ويؤدي نقص الاوكسجين إلى زيادة معدلات (عكس النترجة) حيث تتحول النترات إلى آزوت جوي الذي يفقده النبات كما يحتاج فول الصويا إلى تهوية جيدة لنمو العقد البكتيرية على جذوره حيث يقلل الانضغاط من اعداد ونشاط بكتيريا الريزوبيوم مما يحد من قدرة النبات على تثبيت الآزوت الجوي حسب [21]. وتبين النتائج زيادة تركيز الازوت في جميع معاملات التفكيك الميكانيكي مقارنة بالمعاملات المضغوطة وكانت الزيادة معنوية في معاملة الضغط P_2 حيث ارتفعت نسبة الآزوت من 0.883 إلى 1.097 % نتيجة إثارة وتقليب الطبقات التحتية وانعكاسات ذلك على إتاحة الآزوت المتاح نتيجة تحسين التهوية وتقليل فقد الآزوت عبر عملية عكس النترجة مما يهيئ الظروف المثلى لنمو جذور أكثر كفاءة في امتصاص العناصر الغذائية ، وهذا يتوافق مع دراسة [16] الذي أشار إلى زيادة تركيز الآزوت في النبات بنسبة تتراوح بين 6.5 إلى 7.9 % نتيجة الحراثة العميقة.

الجدول (6) يبين تركيز الفوسفور في نبات فول الصويا

معاملات الضغط	تركيز الفوسفور في النبات %	
	بدون تفكيك ميكانيكي L_0	مع تفكيك ميكانيكي L
P_0	0.15	0.28
P_1	0.13	0.24
P_2	0.12	0.19
LSD5%	0.04	

نلاحظ انخفاض تركيز الفوسفور مع زيادة الضغط المطبق في الطبقات التحتية بشكل بسيط وغير معنوي لان الفوسفور يعد من العناصر ضعيفة الحركة و بسبب قدرة جذور فول الصويا على استخلاص الفوسفور من الاعماق الضحلة . ولكن نلاحظ زيادة واضحة ومعنوية في تركيز الفوسفور في جميع المعاملات نتيجة التفكيك الميكانيكي للطبقات التحتية نتيجة زيادة تحسين ظروف نمو الجذور وزيادة كفاءة وقدرة الجذور على الامتصاص وهذا يتوافق مع دراسة [37]التي أكدت أن التسميد العميق بمفرده لم يغير بشكل كبير من توزيع جذور فول الصويا في حين ان معاملات نظام الحراثة العميقة مع التسميد العميق اظهرت كفاءة أكبر في امتصاص الفوسفور لكل وحدة سطح جذري وهذا يشير إلى تحسن كفاءة الجذور الامتصاصية وليس فقط كثافتها.

الجدول (7) يبين تركيز البوتاسيوم في في نبات فول الصويا

معاملات الضغط	تركيز البوتاسيوم في النبات %	
	بدون تفكيك ميكانيكي L_0	مع تفكيك ميكانيكي L
P_0	1.58	2.03
P_1	1.08	1.55
P_2	0.69	1.05
LSD5%	0.111	

يبين الجدول (7) تأثير سلبي واضح للانضغاط على امتصاص النبات للبوتاسيوم ، حيث انخفض تركيز البوتاسيوم بشكل معنوي مع زيادة الضغط المطبق لأن انضغاط التربة في الطبقات العميقة يحول المسام الكبيرة إلى مسام متوسطة والمسام المتوسطة إلى مسام صغيرة مما يقلل من جريان وحركة الماء في هذه الطبقات بسبب انخفاض الناقلية المائية للتربة مما يقلل من حركة وانتقال البوتاسيوم إضافة لتأثير عملية الانضغاط على نمو وانتشار جذور النبات. نلاحظ أيضاً التفكيك الميكانيكي للطبقات التحتية إلى زيادة تركيز البوتاسيوم بشكل معنوي مقارنة بالمعاملات المضغوطة كما هو الحال في الآزوت والفوسفور وهذا يؤكد ان هذه التقنية تمثل الحل الامثل لكسر طبقات الانضغاط الميكانيكية مما يحسن التهوية ويسمح للجذور باستكشاف حجم أكبر من التربة للبحث عن العناصر الغذائية وهذا يتوافق مع [16] الذي أكد على اهمية التهوية والتخلص من الانضغاط لتحسين امتصاص العناصر من قبل النبات.

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات:

1- انخفاض تركيز العناصر الكبرى الثلاثة في النبات بنسب مختلفة مع زيادة الضغط المطبق وذلك يعود لتأثير الضغط سلباً على كثافة التربة ومساميتها وانعكاس ذلك على تهوية الجذور وقدرتها على امتصاص العناصر .

2- أدت إثارة وتقليب الطبقات التحتية إلى تحسين امتصاص الآزوت في جميع المعاملات وظهر التأثير معنوياً في معاملة الضغط الأكبر P_2 حيث ارتفع التركيز بشكل معنوي من 0.883% في المعاملة المضغوطة إلى 1.097 % في المعاملة المفككة.

3- ارتفع تركيز الفوسفور في النبات بشكل معنوي في جميع المعاملات المفككة ميكانيكياً مقارنة بالمعاملات المضغوطة وبلغ أعلى تركيز له 0.28 % في معاملة الضغط P_0 .

4- ارتفع ايضاً تركيز البوتاسيوم في النبات في جميع المعاملات المدروسة نتيجة تقليبها وتفكيك الطبقات المنضغطة وتفوقت المعاملة P_0 L بتركيز 2.03 %.

التوصيات :

1-استخدام آلات زراعية ذات ضغوط منخفضة لتخفيف انضغاط طبقات التربة التحتية التي لاتصل إليها عمليات الحراثة.

2- ننصح بإجراء تفكيك ميكانيكي لطبقات التربة التحتية المنضغطة وذلك لتقليل كثافة التربة وإزالة الإجهادات الأفقية المسببة للانضغاط وانعكاس ذلك على نمو النبات .

3- ننصح بإجراء تفكيك ميكانيكي لطبقات التربة التحتية المنضغطة لتحسين قدرة النبات على الوصول إلى العناصر الكبرى وزيادة امتصاصها من قبل النبات.

References:

[1] A.Kunze,* Vollstadigeund ertagswirksame nutzung der vorgehende*. feldwirtschft Berlin 26, 1 , P. 38-40.1984.

[2] J, Ibrahim, and A, Maihoub," Assessment of changes in selected soil physical properties under moldboard tillage at different depths and a no-tillage system, and their effects on rainfed wheat productivity over two consecutive growing seasons". *Tishreen University Journal for Scientific Studies and Research, Agricultural Sciences Series*, Vol. 23, No. 11, 22 pp, In Arabic,2001.

[3] D.Hillel,. *Fundamentals of soil physics*. academic press. New York, USA, 1980, 201-201.

[4]G.Müller . Lehrboch der Bodenkunde , VEB - Deutscher landwirtschaftsverlag, Germany P: (392)2010.

[5] G. W. J Van Lyden, , " The Assessment of the Status of Human induced Degradation". FAO Report, No. 37.p47,2000.

[6] A; E. Battiato, L.Diserens Lalloue ; L, Sartori "A mechanistic approach to topsoil damage due to slip of tractor tyres".* J. agric. sci. appl*. vol. 2(3), 2013,pp160-168.

[7] H; S,H Kim, P.P; Anderson ; C. J Motavalli Gantzer " Compaction effects on soil macropore geometry and related parameters for an arable field". *Geoderma* 160(2), 244-251,2010.

[8] M.A; TarawallyH, M. E; Madina, C. A Frometa, , Itlz " Field compaction at different soil-water status: effect on pore size distribution and soil water characteristics of a rhodicferralsol in western Cuba" . *soil and tillage research* 76(2), 95-103,2004.

[9] H ;Unger, "Neue losungen zur rationellen erschliebung der wasser und nahrstoffreserven im unterboden vortrag, martin" – *luthe- Universitat Halle am 96*,1988.

[10] M; Ishaq, A,Hassan ; M, Saeed ; M, Ibrahim and R, Lal." Subsoil compaction effect on crops in Punjab. Pakistan I". *Soil physical properties and crop yield* soil till res 59, 57-65. 2001.

[11]R. Baddour,"Evaluation of physical and hydrodynamic properties of subsurface soil layers in selected sites along the Syrian coast under current investment conditions", Master's Thesis, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Syria, 91 pp. in Arabic, 2014.

[12] H ;Schulte- Karring, "Tieflockerung – Notwendigkeit und * Moglichkeiten Landtechnik, Hannover *35 . 3, S, 108-111.,1980.

[13]J. Ibrahim, , and S .Haifa. *Land Restoration 2*. Directorate of University Books and Publications, Faculty of Agriculture, Tishreen University, 307 pp. in Arabic, 2015.

[14] D. P. B., Leal, O. dos A., Blossfeld, S., and N. D. Jablonowski, "A Rhizobox-Study Elucidating Biogas-Digestate Fertilization and Soil Compaction Effects on Juvenile Maize Growth and Rhizosphere pH. In Maize Genetic Resources".,2025

[15] S., Hejazi Mahabadi, M., Shorafa, B., Motesharezadeh, and H ,Etesami "Mitigating soil compaction and enhancing corn (Zea mays L.) growth through biological and non-biological amendments".* BMC Plant Biology*, 25(1), 1-20,2025.
[16] C., Zhu, S., Wang, and G. Jiang, "Intermittent deep tillage increases soil quality and ecosystem multifunctionality in a Fluvo-aquic soil on the North China Plain".* Journal of Environmental Management*, 374, 124085.2025.
[17] S., Huai, S., Wang, Yu, W., Zhang, Q., Wu, H., Xing, T., Jin, Y., G Colinet,., and Lu, C. "Short-Term Effects of Incorporation Depth of Straw Combined with Manure During the Fallow Season on Maize Production, Water Efficiency, and Nutrient Utilization in Rainfed Regions".* Journal of Environmental Management*, 374, 124085, 2026.
[18] S. J LEE, J. J., KIM,., H. I MOON, J. K., AHN,. S.C, CHUN,. and W. S Jung,. "Analysis of isoflavones and phenolic compounds in Korean soybean [Glycine max (L.) Merrill] seeds of different seed weights". *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56, 2751– 2758,2008.
[19] K. C Ching,. J, Beaulieu,. E, Iquire,. F. J, Belzile,. M. G, Fortin,. and M. V Stromvik,." Effect of transgenes on global gene expression in soybean is within natural range of variation of conventional cultivars". *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56, 2008, 3057–3067.
[20] A., Jaiswal and L.B., Hugar," An economic analysis of soybean cultivation vis-a-vis its competing crops in Madhya Pradesh",* Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(4): 591-592, 2011.
[21] R. J., Weselake, D. C., Taylor, M. H., Rahman, S.,Shah, A., Laroche, P. B. E McVetty,. and J. L Harwood,. " Soybean yield potential – a genetic and physiological perspective".* Crop Science8, 39:1560–1570,2009.
[22]R.Kaf Alghazal, , *Sugar, Oil and Tobacco Crops*. Directorate of Books and Publications, University of Aleppo, 195 pp,. in Arabic.1982.
[23]P.Greenberg, and H. N. Hartung,* The whole soy cookbook: 175 delicious, nutritious, easy-toprepare recipes featuring tofu, tempeh, and various forms of nature's healthiest bean*. Three Rivers Press, New York 1998.
[24] F. A .Myaka,G. Kirenga,. And B Malema, (eds).* Proceedings of the First National Soybean Stakeholders Workshop*, 10–11 November, Morogoro,Tanzania,2005.
[25] N. E., Kristanti, F., Rahmawati, and M; Maksum, " Analysis of Productivity of Soybean Glycine max (L.) Merr.] for Production for Farmers in Indonesia".* KnE Life Sciences*, 4(2), 237,2018
[26] E., Chi, F Kuang,., J., Zhang, B., Zhu, and Su, Q. "Effects of soil tillage and straw return on soybean roots and soil nutrients". *Heilongjiang Agricultural Sciences* (8), 27-33,2021
[27] R. R., Bender, et al. "Potassium and nitrogen interaction in soybean: growth, nutrient accumulation, and seed composition".* Journal of Plant Nutrition*, 41(18), 2335–2350,2018
[28] M. G., Rabbani, M. A.,Salam, S. A., Kheya, and S. K Paul,. " Effect of phosphorus fertilization on nodulation, growth, yield and quality of soybean varieties".* Journal of Aridland Agriculture*, 9, 99-107,2023.
[29] S.,Manhas, , J., Singh and M. R. Fayezizadeh, " Assessing the impact of tillage practices and nutrient levels on the growth and productivity of Ethiopian mustard (Brassica carinata L.) - soybean (Glycine max (L.) Merr.) cropping system". *BMC Plant Biology*, 24, Article 1059.,2024.
[30] X., Wang, B., Qiu Zhang, C., Yuan, R., Liu, X., Zhang, F., Zhao, K., Zhang, M., Abdelghany, A. M., Lamlom, S. F., Zhang, , Q., Liu, J., Lu, W., and Ren, H. "

Transcriptome profiling uncovers differentially expressed genes linked to nutritional quality in vegetable soybean". PLoS One, 19(11), Article e0313632,2024.
[31] A, Walkley and I. A. Black,. "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method". Soil Science, 37 , 29-38 ,1934.
[32] J. D., Rhoades "Cation exchange capacity". In A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc. / Soil Science Society of America, Inc. (2nd ed., pp. 149-157,1982
[33] J.Ryan," Soil and plant analysis in the Mediterranean region: limitations and potential. Communications in Soil Science and Plant Analysis", 31(11-14), 2147–2154,2000
[34] J. C. H. Van Schouwenberg, and I, Walinge "Methods of Analysis for Plant Material. Wageningen", The Netherlands: Agricultural University Wageningen.1973.
[35] H.Pagel,*Pflanzen ernähstoffe in tropischen Böden ihre bestimmung und bewertung . VEB. Dentcher lamwirt schaftlicher*. Verlag- Berlin p: 272. Gyrmany 1982.
[36] W; Sohne," Das Mechanischeverhalten des Ackerboden bei Belastungen unter Radernsowie bei der Bodenbearbeitung". *Grunlagen der Land techmik-Heft l.*,p.87-93,1951.
[37] J. O.Olaoye, and E. O. Ariyo,.* Influence of tillage systems, nutrient application and weed management on chemical properties of sandy loamy soil and yield components of soybean*. In 2020 ASABE Annual International Virtual Meeting (Paper No. 2001003). American Society of Agricultural and Biological Engineers,2020.