Study the effect of compression in the elastic and plastic levels of soil on some of physical properties and on the productivity of soybean crop

Dr. Jihad Ibrahim[*]
Dr.Rabee Zainah[**]
Dr.ola kajo[***]
Osama kadro[****]

(Received 10 / 10 / 2023. Accepted 28 / 1 /2024)

□ ABSTRACT □

This research was conducted in the agricultural scientific research center in Latakia (stakhiris station) during 2022, where different levels of pressure applied to Celtic clay soils (0 – 163 – 216 - 297 KPA), at elastic and plastic levels of humidity of (20 and 28% by weight respectively).

The results showed a significant effect of soil compression on bulk density of the soil, in addition to decrease in the size of the total porosity by increasing pressure, noting that the effect of pressure was decreased with depth, as the compression of the soil in the surface layer (5-20 cm) led to an increase in the bulk density by 0.16 g/cm3 at a pressure of 163 KPA and to an increase of 0.26 g/cm3 at a pressure of 297 KPA and moisture in the pressure of 297 KPA contributed to an increase in the bulk density by 0.39 g/cm3 at a humidity of 28% by weight.It is also observed at the same depth relative to pores whose diameters (0.2 – 10) microns, which are responsible of water available to the plant, they decreased with increasing pressure from 17.45% in the control without pressure and at a humidity of 20% by weight to 13.26% at a pressure of 297 KPA and when humidity increase during compression the size of these pores decreases .The results showed a significant decrease in soybean productivity with increased pressure and humidity during compression, where the decrease was by 56.88 kg/DN at a pressure of 163 KPA and by 164.21 kg/DN at a pressure of 297 KPA, compared to control treatment without pressure.

Keywords: soil compactness ,moisture content ,bulk density ,porous system, soybean.

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

[*] **Professor-Department of Soil and Land Sciences. Faculty of Agricultural Engineering-Tishreen University.Lattakia. Syria**
[**]**Researcher -General Commission for Scientific Agricultural Research, Lattakia, Syria.**
[***]**Assistant Professor- Department of field crops, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.**
[****] **Postgraduate student, (PhD), Department of soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria osama.kadro@tishreen.edu.sy)..**

دراسة تأثير الضغط في المجال المرن والمجال اللدن للتربة على بعض خواصها الفيزيائية وعلى انتاجية محصول فول الصويا

د. جهاد ابراهيم*

د. ربيع زينة**

د. أولا قاجو***

اسامه قادرو****

(تاريخ الإيداع 10 / 10 / 2023. قبل للنشر في 28 / 1 / 2024)

□ ملخّص □

أجري هذا البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية في اللاذقية (محطة ستخيرس) لعام 2022 حيث تم استخدام مستويات مختلفة من الضغط المطبق على تربة طينية سلتيه (0 – 163 – 216 – 297 كيلو باسكال)، وذلك عند مستويين مختلفين من الرطوبة (20 – 28 % وزنا).

بينت النتائج الأثر الواضح والكبير لانضغاط التربة في الكثافة الظاهرية للتربة، بالإضافة لانخفاض حجم المسامية الكلية بزيادة الضغط، مع ملاحظة أن تأثير الضغط كان يقل مع العمق حيث أدى انضغاط التربة في الطبقة السطحية (5–20سم) إلى زيادة الكثافة الظاهرية بمقدار 0.16غ/سم3 عند الضغط 163 كيلو باسكال والى زيادة 0.26غ/سم3 عند الضغط 297 كيلو باسكال وساهمت الرطوبة في الضغط 297 كيلو باسكال الى زيادة الكثافة الظاهرية بمقدار 0.39غ/سم3 عند رطوبة 28% وزنا.كما لوحظ في العمق (5–20 سم) بالنسبة المسامات التي أقطارها (0.2 – 10) ميكرون وهي المسامات التي تحوي الماء المتاح للنبات أنها انخفضت مع زيادة الضغط من 17.45% في المعاملة دون ضغط وعند رطوبة 20% وزنا إلى 13.26 % عند الضغط 297 كيلو باسكال ومع زيادة الرطوبة أثناء الضغط ينخفض حجم هذه المسامات .بينت النتائج انخفاض معنوي في إنتاجية فول الصويا مع زيادة الضغط والرطوبة أثناء الضغط حيث كان الانخفاض بمقدار 56.88 كغ/دنم عند الضغط 163 كيلوباسكال وبمقدار 164.21 كغ/دنم عند الضغط 297 كيلوباسكال وذلك مقارنة بالمعاملة دون ضغط.

الكلمات المفتاحية: انضغاط التربة ، المحتوى الرطوبي ،الكثافة الظاهرية ،النظام المسامي ،فول الصويا.

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

* **استاذ –قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

** **باحث –الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية، اللاذقية، سورية.**

*** **مدرس –قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية ، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

**** **طالب دكتوراه، قسم علوم التربة والمياه، كلية الهندسة الزراعية ، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.**

osama.kadro@tishreen.edu.sy

مقدمة:

يعتبر ضغط التربة مصدر قلق مهم في الزراعة الحديثة، وذلك بسبب زيادة حجم ووزن الالات المستخدمة في الممارسات الزراعية، ولا يقتصر هذه الضغط على الطبقة السطحية بل يتعداها ليصل إلى عمق (40–80) سم. تأثرت الطبقة السطحية والطبقة تحت السطحية على مدى العقود الماضية بسبب زيادة حمولة الالات الزراعية (Keller *et al.*, 2019)، حيث تشير التقديرات الى تدهور مساحة 68 مليون هكتار من الأراضي الصالحة للزراعة بسبب انضغاط التربة (Batey,2009; Hamza and Anderson,2005)، يعتبر انضغاط التربة بشكل عام أحد التهديدات الرئيسية للمحاصيل المستدامة بسبب تدهور الخصائص الفيزيائية للتربة (Singh K,*et al.*2019;Ferreira CJB,*et al.*2021). يؤدي ضغط التربة إلى تدهور بناء التربة وزيادة الكثافة الظاهرية وتقليل المسامية الكلية (Ewetola *et al.*, 2022) ، كما تزداد مقاومة اختراق التربة لجذور النبات ويقل بذلك المجال الحيوي لانتشار المجموع الجذري بزيادة الضغط (Moraes *et al.*,2016). بين Ogunremi وآخرون (1986) ازدياد الكثافة الظاهرية من (1.46)g/cm^3 للتربة غير المحروثة إلى 1.68)g/cm^3 للتربة المضغوطة وكذلك انخفض التوصيل المائي والمسامية الكلية للتربة بشكل كبير. وجد Petelkau (1987) أنه عند زيادة الكثافة عن 0.30 غ/سم3 تقل إنتاجية المحاصيل الزراعية بمعدل يزيد عن 40%، كما وجدت يوسف (2016) أنه أدى الضغط بـ 174.18 كيلوباسكال عند رطوبة 67.5% من السعة الحقلية على تربة طينية لانخفاض حجم المسامات الهوائية متجاوزة القيمة الحدية 12% في العمق 0–20 سم و 20–40 سم ليصل الى 7.57 % في العمق 20–40 سم.

يعتبر المحتوى الرطوبي في التربة هو العامل الأكثر تأثيرًا حيث يزداد تأثير الضغط مع زيادة الرطوبة في التربة(المجال اللدن) (Hamza and Anderson,2005). حيث كلما انخفض المجتوى الرطوبي عن المجال المرن كلما انخفض تأثير الضغط (Batey,2009) كذلك يؤثر الضغط سلباً على حركة الماء في التربة وعلى نمو الجذور وتوافر العناصر الغذائية (Keller *et al*,2017; Schjønning *et al.*,2017) وبالتالي يقلل من إنتاجية المحاصيل حيث بينت حسن(2012) انه عند الضغط بمقدار 175.15 كيلوباسكال انخفضت إنتاجية محصول البطاطا بمعدل 11.69% ومع زيادة الضغط الى 262.15كيلوباسكال انخفضت الإنتاجية بمعدل 18.5%، وبين(Lal,1996) أنه بلغ الانخفاض في إنتاجية محصول الذرة 25% وفي إنتاجية محصول فول الصويا 20% نتيجة الانضغاط .

كما بين قادرو (2020) أن متوسط انتاج الذرة الصفراء بلغ بدون ضغط (1075.55) كغ/دنم وانخفض إلى (818.40) كغ/دنم و (439.08) كغ/دنم على التوالي عند الضغط 199كيلو باسكال والضغط 330 كيلو باسكال على التوالي.

يعتبر فول الصويا من المحاصيل الاستراتيجية الهامة حيث يعتمد عليه كغذاء للإنسان ويستخدم كعلف للحيوانات بأشكال مختلفة كعلف اخضر او سيلاج كما يحوي نسبة عالية من البروتين (Myaka *et al.*,2005)، يمتلك فول الصويا مجموع جذري متعمق حساس للوسط الفيزيائي خلال مراحل نموه المختلفة.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من خلال اهتمامة بدراسة تأثير أحد الممارسات الزراعية ألا وهي استخدام الآلات الزراعية خاصة في ظروف رطوبية مختلفة، الأمر الذي يؤثر على الصفات المورفولوجية والنظم المائية والهوائية والغذائية للتربة، وبالتالي تأثيرها على خواص التربة الفيزيائية و على إنتاجية المحاصيل الزراعية.

أهداف البحث:

1- تحديد تأثير الضغط في المجال المرن والمجال اللدن للتربة على تغيرات الكثافة الظاهرية والنظام المسامي مع العمق.

2-تحديد تأثير الضغط في المجال المرن والمجال اللدن للتربة على إنتاجية محصول فول الصويا.

طرائق البحث ومواده:

نفذ البحث في مركز البحوث العلمية (محطة ستخيرس) خلال العام 2022 على تربة طينية سلتية (ut)، حيث تم قبل الترطيب تحديد متوسط الرطوبة في العمق (0-40) سم وبالتالي حساب كمية الماء اللازم اضافتها لإيصال هذه الرطوبة الى مستويات الرطوبة المدروسة (20%-28%) وزنا، تم بعدها ترطيب التربة عند مستويي المجال المرن والمجال اللدن بعد تحديد الرطوبة المثالية للانضغاط وتحديد الكثافة العيارية للتربة.

حيث كانت متوسط الرطوبة في العمق (0-40) سم قبل الترطيب = 15.13% وزنا وتعادل 17.25% حجما

حيث تم حساب الرطوبة الحجمية من خلال ناتج ضرب الرطوبة وزنا بمتوسط الكثافة الظاهرية كمايلي:

$$\text{متوسط الكثافة الظاهرية} = \frac{1.09+1.19}{2} = 1.14 \text{ غ/سم}3$$

وبالتالي 15.13*1.14=17.25% حجماوتم حساب كمية الماء الواجب اضافتها من العلاقة التالية:

$$Wmm(\text{مم}) = \left(\frac{(\theta 2\% - \theta 1\%).Bt}{10}\right)$$

حيث أن:

Wmm: عمق الماء الواجب اضافته(مم)

θ 1%: الرطوبة الأولية في الحقل قبل الترطيب(حجما)

θ 2%: الرطوبة المطلوبة(حجما)

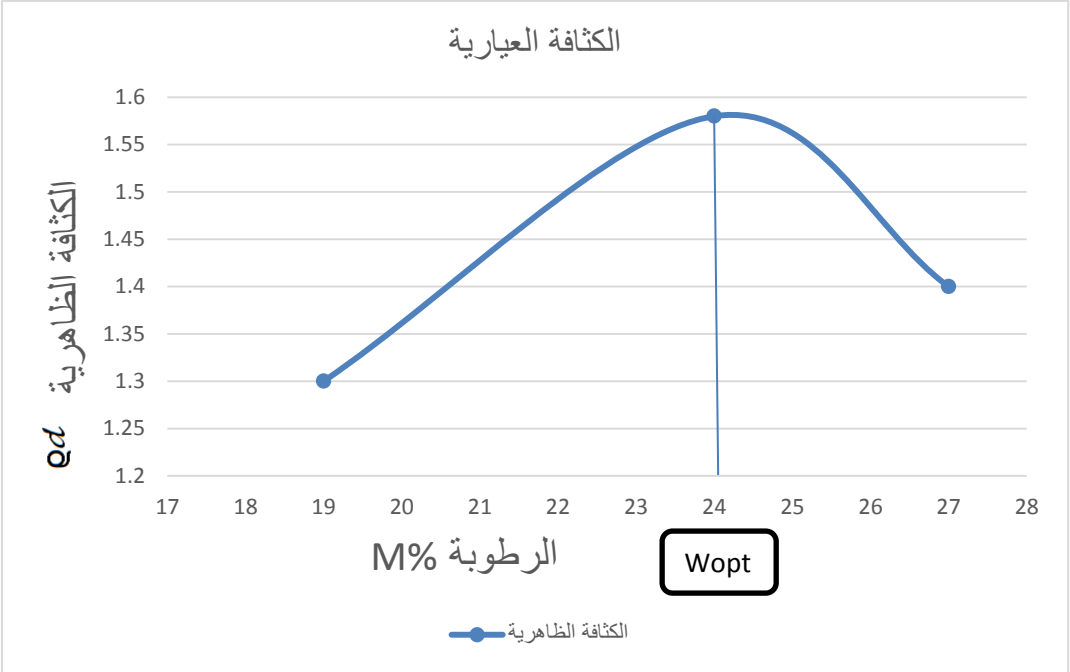
Bt: العمق(سم)

وكانت مستويات الرطوبة المدروسة كما يلي:

M1=20 % وزنا تعادل (20*1.14= 22.8% حجما) وهي (رطوبة في المجال المرن)

M2=28 % وزنا تعادل (28*1.14 = 31.92 % حجما) وهي(رطوبة في المجال اللدن)

حيث تم تحديد المجال المرن والمجال اللدن للتربة من خلال انشاء منحني الكثافة العيارية للتربة، حيث يحدد من خلالها على أعلى قيمة تصلها الكثافة الظاهرية للتربة عند تعرضها لضغط يعادل 600 كيلوباسكال حيث حددت مخبريا باستخدام جهاز البركتور النظامي فكان المنحني كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (1) العلاقة بين الرطوبة والكثافة الظاهرية لتحديد المجال المرن والمجال اللدن للتربة

يبين المخطط في الشكل (1) أن قيمة الرطوبة المثالية للانضغاط هي 24% وزناً وبالتالي يكون المجال المرن عند رطوبة أقل من 24% وزنا، بينما المجال اللدن يكون عند رطوبة أعلى من 24% وزنا.

وبالحساب نحتاج للوصول الى M1 الى 22.2 ملم ماء (22.2 ل/م2)، بينما نحتاج للوصول الى M2 الى 58.68 ملم ماء (58.68 ل/م2)، تركت بعدها التربة لمدة يومين حتى تتجانس الرطوبة في العمق المطلوب.

عُرّضَت التربة بعد ذلك إلى ثلاثة مستويات من الضغط، وبواقع ثلاثة مكررات لكل مستوى حيث تم ذلك بواسطة جرار(نيوهولاند) ومقطورة مياه يمكن التحكم بالوزن على محور العجلات الخلفية للمقطورة حيث استخدمت ثلاث حمولات مختلفة للمقطورة، وتم حساب وزن الجرار مع المقطورة ثم تم حساب وزن المحور الامامي للجرار والمحور المتوسط والمحور الخلفي بواسطة القبان الالكتروني وكان الوزن على المحور الخلفي هو الأكبر لذلك تم اعتماده كونه هو القوة الضاغطة الاكبر بعد ذلك حُسبَت الضغوط المقابلة لكل حمولة من هذه الحمولات لمعرفة ضغط العجلة وفق الجدول التالي (جدول 1) .

الجدول (1): مستويات الضغط التي تعرضت لها التربة

مستويات الضغط	حمولة العجلة(كغ)	سطح تماس العجلة مع التربة (سم2)	الضغط (كغ/سم2)	الضغط (كيلوباسكال)
P0	0	0	0	0
P1	615	376.8	1.63	163
P2	940	435.6	2.157	216
P3	1435	482.8	2.972	297

تم حساب مساحة سطح التماس على شكل قطاع ناقص على أرض صلبة (Söhne,1951) من خلال القانون التالي:

F= a*b*3.14 / 4

حيث أن (a): عرض القطع الناقص سم

(b): طول القطع الناقص سم

وتحقّق ذلك بوضع كرتونة تحت العجلة، ووضع ورقة كربون فوقها، ورسم سطح التماس نتيجة ضغط العجلة على الكرتونة، حيث كان سطح التماس عند الضغط P1 = 376.8سم2، وعند الضغط P2 = 435.6 سم2 وعند الضغط P3 =482.8 سم2.

الشكل (2) الية حساب مساحة سطح التماس للعجلة

وتم حساب الضغط كما يلي:

P1= (حمولة العجلة (كغ) / سطح التماس) * 100

= (376.8 / 615) * 100

= 163 كيلوباسكال

P2= (حمولة العجلة (كغ) / سطح التماس) * 100

= (435.6 / 940) * 100

= 216 كيلوباسكال

P3= (حمولة العجلة (كغ) / سطح التماس) * 100

= (482.8 / 1435) * 100

= 297 كيلوباسكال

حيث تم تعريض التربة للضغوط السابقة فتم البدء بالمعاملة ذات الضغط الأكبر 297 كيلوباسكال أولا ثم الانتقال الى المعاملات ذات الضغط الأقل عن طريق تفريغ كمية من ماء الصهريج مقدرة باللتر لتصل الى الوزن الأقل المعادل للحمولات المدروسة ووزنها ثانية بواسطة القبان الالكتروني ثم بعد ذلك أضيفت الأسمدة الفوسفاتية 70كغ p2o5/هـ والبوتاسية 60 كغ k2o/هـ ثم تم تنعيم التربة وحراثتها حراثة سطحية (0–5) سم وتركت التربة في العمقين (5–20) سم و(20–40) سم منضغطة .

ثم أضيفت الدفعة الأولى من السماد الازوتي (اليوريا) قبل الزراعة حيث تمت إضافة اليوريا كما يلي:

الدفعة الأولى قبل الزراعة 30كغ/هـ–الدفعة الثانية بعد التفريد 100كغ/هـ– الدفعة الثالثة عند بداية الازهار 100كغ/هـ تم تجهيز خطوط الزراعة حيث المسافة بين الخط والاخر 50سم وبين النبات والاخر 25سم ،ثم تمت عملية الزراعة في شهر نيسان من العام 2022، بعد ذلك بدأت عمليات الخدمة من تفريد وتعشيب وري.

وأُخذَت عينات من المعاملات من الأعماق (5–20 ، 20–40 سم) بواسطة أسطوانات معدنية بمعدل (6) اسطوانات لكل عمق لتحديد الخصائص الفيزيائية للتربة غير مخربة البناء كما أخذت عينات لتربة مخربة البناء من هذه الأعماق لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية للتربة المدروسة فكانت النتائج كماهي موضحة في الجدول رقم (2).

الجدول (2): بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة

التحليل	العمق	
	5-20سم	20-40سم
الطين	%45.89	%47.36
السلت	%50.51	%47.35
الرمل	%3.6	%5.29
حد الترقيق % وزنا	%24.19	%24.78
حد الانكماش	17.2%حجما	19.32%حجما
نوع التربة	UT طينية سلتية	UT طينية سلتية
نسبة المادة العضوية	0.82%	0.65%
كربونات الكالسيوم الكلية	%43.2	%43.8
كربونات الكالسيوم الفعالة	%24	%26
سعة التبادل الكاتيوني	33.7 م.م/100غ تربة	33.7 م.م/100غ تربة
السعة الحقلية %حجما"	%38.0	%37.1
نقطة الذبول الدائم% حجما"	%20.71	%23.21
الكثافة الحقيقية	2.63 غ/سم^3	2.64 غ/سم^3
الكثافة الظاهرية	1.09 غ/سم^3	1.19 غ/سم^3
pH	7.53	8.1

من خلال الجدول (2) يتبين أن التربة المدروسة هي تربة طينية سلتية في العمقين (5–20 سم)، (20–40 سم) ذات محتوى منخفض من المادة العضوية، يُلاحظ زيادة نسبة الطين مع العمق إذ تراوحت بين (45.89 % – 47.36 %) في العمقين المذكورين (5–20 سم)، (20–40 سم) على التوالي. وإن نسبة السلت كانت عالية إذ بلغت (50.51 % – 47.35 %) في العمقين المذكورين.

وتم تحديد الكثافة الظاهرية بواسطة اسطوانات معدنية بسعة 100 سم3.

وثم حساب المسامية الكلية وتوزيع النظام المسامي باستخدام جهاز الضغط الغشائي الذي يحوي على لوحات من السيراميك المتحملة للضغط لتحديد حجم المجموعات المساميه وفق العلاقة التالية (إبراهيم وبركات; 2013):

Pm: الضغط (باسكال)، σw: التوتر السطحي للماء (نيوتن/متر)، d: قطر المسام (متر) $Pm = \frac{4\sigma w}{d}$

بعد ذلك تم تحديد حجم كل مجموع من المجموعات المسامية كما يلي:

$$PV\%>50\mu m = PV\% - Wvol.pF1.8$$

$$PV\%>10\mu m = PV\% - Wvol.pF2.5$$

$$PV\%(10-50)\ \mu m = Wvol.pF1.8 - Wvol.pF2.5$$

$$PV\%(0.2-10)\ \mu m = Wvol.pF2.5 - Wvol.pF4.2$$

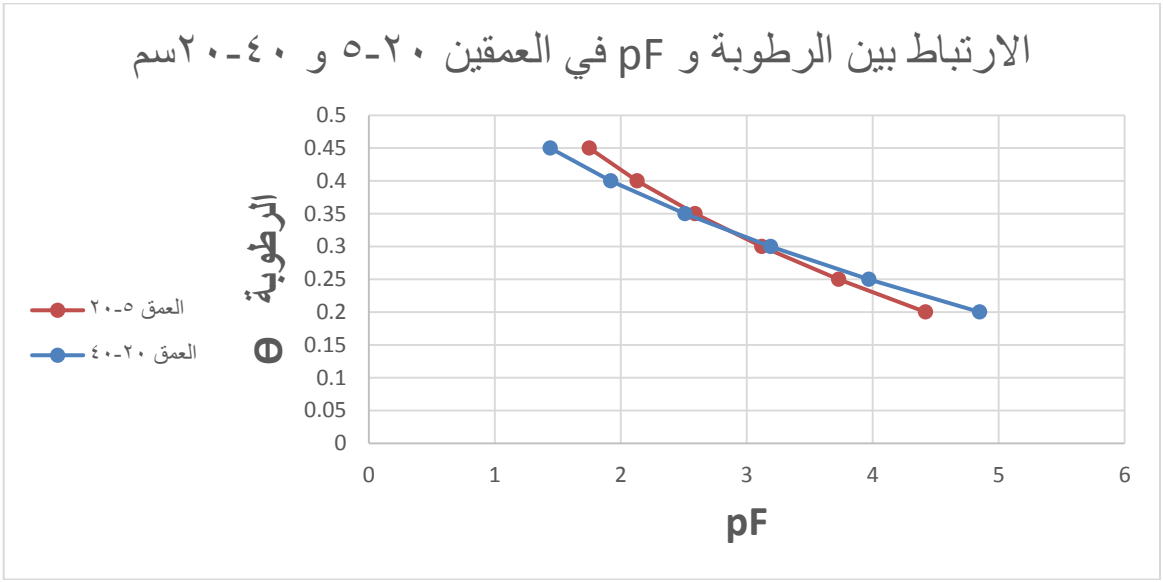
$$PV\%<0.2\ \mu m = Wvol.pF4.2$$

حيث إن WvolPF1.8 هي الرطوبة الحجمية عند نهاية الضغط المعادل لـpF1.8

PV% حجم المسامية الكلية للتربة وتحدد كما يلي:

$$\%\mathcal{PV} = \left(1 - \frac{\varrho d}{\varrho s}\right) * 100$$

حيث إن ϱd الكثافة الظاهرية. ϱs الكثافة الحقيقية للتربة.(غ/سم^3).



الشكل(3) منحنيات الشد الرطوبي في الأعماق المدروسة 5–20 و 20–40 سم

في العمق 5−20سم:

$$Log\Psi = -0.8369-7.6197.Log\theta$$
$$R^2 = 0.98$$

في العمق 20−40سم:

$$Log\Psi = -1.875-9.744.Log\theta$$
$$R^2 = 0.98$$

التحليل الإحصائي:

تم تنفيذ التجربة وفق تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، بواقع ثلاثة مكررات لكل معاملة. وحُسبت الفروق المعنوية بين المعاملات باستخدام برنامج ANOVA، وحساب الفرق المعنوي LSD عند مستوى معنوية 5%. استخدم البرنامج الإحصائي costat.

النتائج والمناقشة:

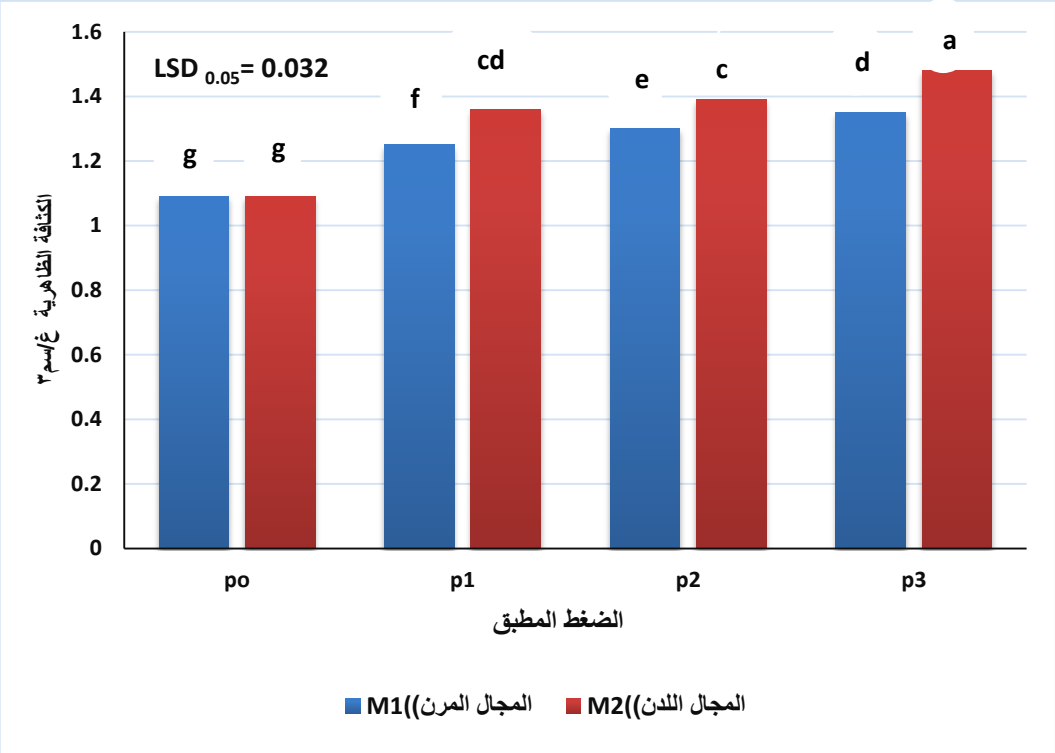
1−أثر الضغط و الرطوبة أثناء الضغط في الكثافة الظاهرية للتربة في المجال المرن والمجال اللدن:

تمت دراسة الكثافة الظاهرية كونها صفة فيزيائية متغيرة باستمرار (وبما أن الحجم الكلي يشمل حجم المسامات والحبيبات)، فهي تتأثر بالضغط بشكل مباشر ولحظي. والكثافة الظاهرية صفة فيزيائية مركبة يمكن من خلالها التعرف على الكثير من الخصائص الفيزيائية الأخرى فهي تدل على الحالة البنائية للتربة، وتدخل بحسابات فيزيائية أخرى وتساعد في تحويل الرطوبة الوزنية إلى رطوبة حجمية لذلك كان لابد من دراسة هذه الصفة الفيزيائية وتغيراتها أثناء عملية الانضغاط.

يتضح من النتائج المبينة في الشكل (4) أن قيمة الكثافة الظاهرية في العمق (5−20) سم بلغت (1.09) غ/سم3 في المعاملة بدون ضغط (الشاهد) وعند الضغط P1 زادت بمقدار 0.16 غ/سم3 عند (المجال المرن) ومع زيادة الرطوبة الى (المجال اللدن) بلغت الزيادة بمقدار 0.27 غ/سم3 وكانت هذه الزيادة معنوية عند مستويي الرطوبة بالمقارنة مع الشاهد.

مع زيادة الضغط الى P2 كانت الزيادة عند (المجال المرن) بمقدار 0.21 غ/سم3 وعند نفس الضغط والرطوبة في (المجال اللدن) زادت بمقدار 0.30 غ/سم3 مقارنة بمعاملة الشاهد أما عند الضغط P3 والرطوبة في (المجال المرن) زادت الكثافة بمقدار 0.26 غ/سم3 وكانت الزيادة الأكبر في (المجال اللدن) حيث زادت الكثافة بمقدار 0.39 غ/سم3 وكانت هذه الزيادة معنوية مقارنة بالشاهد.

وعند نفس الضغط P3 نلاحظ أيضا بأن الكثافة تزداد مع زيادة الرطوبة وأن تأثير الضغط أكبر من تأثير الرطوبة وهذا مشابه لماتوصل اليه (Sivarajan, S,*et al*.2018).



الشكل (4) تغير الكثافة الظاهرية مع تغير الضغط في المجال المرن واللدن في العمق 5–20سم

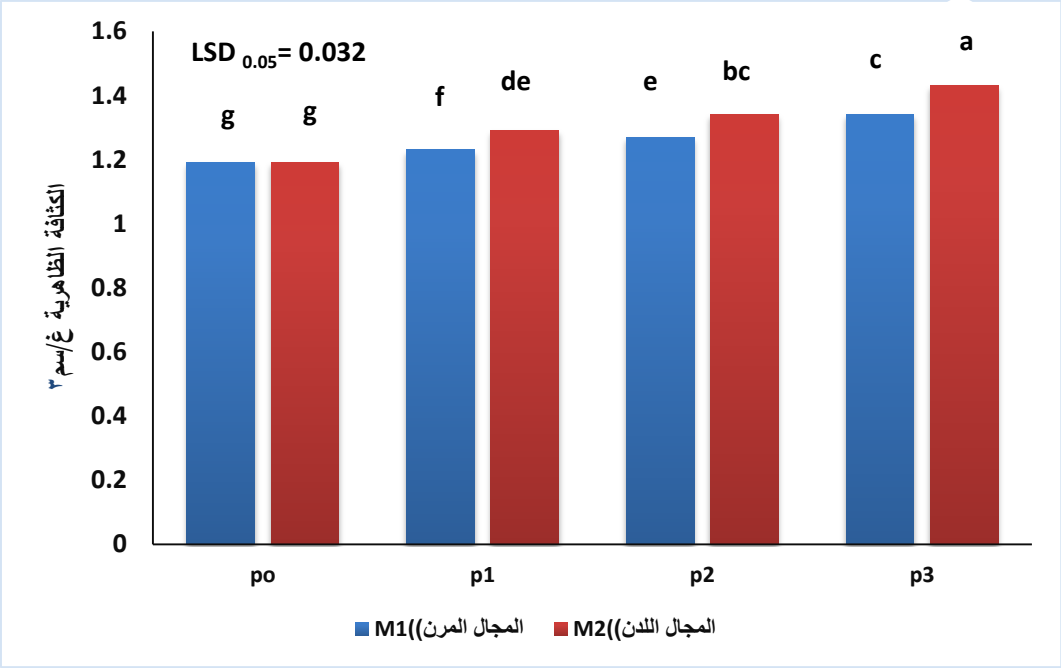
حيث P1=163، P2= 216 و P3= 297 كيلوباسكال

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

وتبين من الشكل (5) أنه في العمق (20–40)سم بلغت الكثافة في معاملة الشاهد 1.19 غ/سم3 وعند الضغط P1 زادت بمقدار 0.04 غ/سم3 عند (المجال المرن) ومع زيادة الرطوبة الى (المجال اللدن) بلغت الزيادة بمقدار 0.1 غ/سم3 وكانت هذه الزيادة معنوية عند مستويي الرطوبة بالمقارنة مع الشاهد.

مع زيادة الضغط الى P2 كانت الزيادة عند نفس الرطوبة (المجال المرن) بمقدار 0.08 غ/سم3 وعند نفس الضغط والرطوبة في (المجال اللدن) بلغت الزيادة بمقدار 0.15 غ/سم3 وكانت الزيادة الأكبر عند (المجال اللدن) حيث زادت الكثافة بمقدار 0.24 غ/سم3 وكانت هذه الزيادة معنوية مقارنة بالشاهد.

كما يتضح أن الكثافة تقل مع العمق وهذا دليل على أن الضغط يتلاشى مع العمق وهذا مشابه لما توصل اليه (Keller *et al.*,2016) .



الشكل (5) تغير الكثافة الظاهرية مع تغير الضغط في المجال المرن واللدن في العمق 20-40سم

حيث P1=163، P2= 216 و P3= 297 كيلوباسكال

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

2-أثر الضغط والرطوبة أثناء الضغط في المسامية الكلية وتوزيع النظام المسامي للتربة في المجال المرن والمجال اللدن:

إن حجم المسامات الكلي في التربة يلعب دوراً مهماً بالنسبة لعمليات النقل والتخزين داخل قطاع التربة لكن الدور الأبرز في مجمل هذه العمليات يلعبه توزيع النظام المسامي لذلك تم تحديد حجم المجموعات المسامية ذات القطر أكبر من 50 ميكرون والاكبر من 10 ميكرون وحجم المجموعات المسامية ذات القطر(0.2-10) ميكرون والمسامات ذات القطر اقل من 0.2 ميكرون فكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول (3).

بينت النتائج أنه في المجال المرن (رطوبة 20% وزنا) عند العمق من (5-20) سم عند الضغط 0 (الشاهد) كانت المسامية الكلية (PV%)=58.55 %، في حين انخفضت عند الضغط 163 كيلو باسكال إلى 52.47% معنوياً أي بمقدار 6.08% ، بينما عند ارتفاع الضغط المطبق إلى 216 كيلو باسكال انخفضت قيمة PV% إلى 50.57 % وبلغت قيمة الانخفاض 7.98% وكان هذا الانخفاض معنوياً بالمقارنة مع الشاهد ، وعند تطبيق الضغط 297 كيلو باسكال انخفضت قيمة PV% إلى 48.28 % أي بمقدار 10.27% وكان هذا الانخفاض معنوياً بالمقارنة مع الشاهد حيث نستنتج مما سبق بأن حجم المسامية الكلية ينخفض مع زيادة الضغط أي أن انضغاط التربة يقلل من مساحة المسام ويغير حجم المسام وتوزيعها(Keller *et al.*,2013)

أما في المجال اللدن (رطوبة 28% وزناً يلاحظ أنه عند الضغط 163 كيلو باسكال انخفض حجم المسامية الكلية معنويا من 52.47 % الى 48.28% أي بمقدار 4.19%، وعند الضغط 216 كيلو باسكال انخفض حجم المسامية الكلية معنويا من 50.57 % الى 47.14% أي بمقدار 3.43%، بالمقابل عند الضغط 297 كيلو باسكال انخفض حجم المسامية الكلية معنويا بمقدار 4.94%.

وعند مقارنة قيم المسامية الكلية عند مستويي الرطوبة المرن واللدن نلاحظ انخفاض معنوي عند تطبيق الضغط نفسه نستنتج من كل ذلك ازدياد تأثير الرطوبة مع زيادة الضغط وهذا مشابه لماتوصل اليه Soane BD and Van (Ouwerkerk C,1994; Batey,2009).

أما المسامات التي أقطارها > من 10 ميكرون (وهي المسامات الهوائية) والتي يجب ألا تقل عن 12% في الترب الطينية (Czeratzki,1972) ففي المجال المرن (رطوبة 20%) لوحظ أنها في معاملة الشاهد أي بدون تطبيق الضغط كانت كافية للمبادلات الغازية، وانخفضت بشكل حاد عند الضغط 163 كيلو باسكال لتصل إلى 12.31%، وإلى 11.37% و 9.18% عند الضغط 216 و 297 كيلو باسكال على التتالي متجاوزة بذلك القيمة الحدية.

بينما في المجال اللدن (رطوبة 28%) يُلاحظ انخفاض حجم المسامات بشكل معنوي الى8.35% متجاوزة القيمة الحدية أي كان الانخفاض بمقدار 3.96% عند نفس الضغط المطبق 163 كيلو باسكال. وعند رفع الضغط إلى 216 كيلو باسكال انخفض حجم المسام الى 6.54% بمقدار 4.83% عن القيمة الحدية، وعند الضغط 297 كيلو باسكال انخفض حجم المسام الى 3.34% أي بمقدار بمقدار 5.84% عن القيمة الحدية.

الجدول (3): تغيرات النظام المسامي في المجال المرن والمجال اللدن للتربة في العمق (5 – 20) سم

الضغط (كيلوباسكال)	الرطوبة % وزنا	PV%	PV >50	PV >10	PV 0.2−10	PV <0.2
0	20(مجال مرن)	58.55 a	12.45 a	20.39 a	17.45 a	20.71 g
0	28(مجال لدن)	58.55 a	12.45 a	20.39 a	17.45 a	20.71 g
163	20(مجال مرن)	52.47 b	11.31 ab	12.31 b	16.41 ab	23.75 f
163	28(مجال لدن)	48.28 de	4.78 de	8.35 de	14.09 cd	25.84 d
216	20(مجال مرن)	50.57 c	9.97 c	11.37 bc	14.5 cd	24.7 e
216	28(مجال لدن)	47.14 e	5.64 d	6.54 e	14.19 cd	26.41 c
297	20(مجال مرن)	48.28 d	3.58 e	9.18 cd	13.26 de	25.84 d
297	28(مجال لدن)	43.34 g	1.74 f	3.34 f	11.69 e	28.31 a
LSD 0.05		1.22	1.67	2.10	1.89	0.47

حيث PV% (المسامية الكلية) ، PV >50 (المسامات أكبر من 50 ميكرون) ، PV >10 (المسامات أكبر من 10 ميكرون) ، PV 0.2−10 (المسامات بين 0.2 و 10 ميكرون) ، PV <0.2 (المسامات أقل من 0.2 ميكرون).

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

أما المسامات التي أقطارها (0.2–10) ميكرون وهي المسامات التي تحوي الماء المتاح للنبات وحجمها يجب أن يقع ضمن المجال الطبيعي لحجم المسامات المتوسطة (Hartge and Horn,1991) والذي يقع بين (7 – 20)% لهذا النوع من الترب، نلاحظ في المجال المرن (20% رطوبة) بأنها تنخفض مع زيادة الضغط من 17.45% في الشاهد بدون ضغط الى 16.41% عند الضغط 163 كيلو باسكال و إلى 14.5% عند الضغط 216 كيلو باسكال والى 13.26% عند الضغط 297 كيلو باسكال.بينما في المجال اللدن حيث نلاحظ عند الضغط 163 كيلو باسكال انخفض حجم هذه المسام بشكل معنوي الى 14.09% عند مستوى رطوبي 28% بمقدار 2.32% ، وعند الضغط 216 كيلو باسكال انخفض حجم هذه المسام بشكل غير معنوي الى 14.19% بمقدار 0.31% . عند الضغط 297 كيلو باسكال انخفض حجم هذه المسام بشكل غير معنوي الى 11.69% عند مستوى رطوبي 28% بمقدار 1.57% .

أما المسامات التي أقطارها <0.2 ميكرون وهي المسامات التي تحوي ماء غير متاح للنبات ومجالها الطبيعي حسب (Hartge and Horn,1991) بين (5 – 20)%، نلاحظ أن نسبتها تزداد مع ازدياد الضغط حيث كانت عند الضغط 0 =20.71% ووصلت عند الضغط 163 كيلو باسكال إلى 23.75% في المجال المرن (20% رطوبة) أي زادت معنويا بمقدار 3.04% وعند الضغط 216 كيلو باسكال ازدادت إلى 24.7% أي زادت بمقدار 3.99% وعند الضغط 297 كيلو باسكال زادت لتصبح 25.84% بمقدار زيادة 5.13%.

أما في مجال الرطوبة اللدن (28%) زاد حجم هذه المسام عند الضغط 163 كيلو باسكال بشكل معنوي لتصبح 25.84% بمقدار 2.09%، وعند الضغط 216 كيلو باسكال زاد حجم هذه المسام معنويا ليصبح 26.41% بمقدار 1.71% ، وعند الضغط 297 كيلو باسكال زاد حجم هذه المسام بشكل معنوي ليصبح 28.31% بمقدار 2.47% وهنا نلاحظ زيادة حجم هذه المسامات مع الضغط والرطوبة أثناء الضغط وهذا مشابه لماتوصل اليه (Bruand and Cousin,1995).

هذا وقد تم تحديد حجم المسامات الكلي وتوزيع النظام المسامي في الطبقة التحتية للتربة فكانت النتائج كماهي موضحة في الجدول (4).

حيث يتضح من الجدول رقم (4) أنه في المجال المرن (رطوبة 20% وزنا) في العمق من (20–40)سم عند الضغط 0 كانت PV%=54.92 %وعند الضغط 163 كيلو باسكال انخفضت إلى 53.40% معنوياً أي بمقدار 1.52% وعند الضغط 216 كيلو باسكال انخفضت إلى 51.51 % وبشكل معنوي أي بمقدار 3.41% وعند الضغط 297 كيلو باسكال انخفضت الى 49.24% معنويا بمقدار 5.68% أي أن حجم المسامية الكلية ينخفض مع زيادة الضغط والرطوبة أثناء الضغط وهذا مشابه لماتوصل اليه (Ewetola *et al*., 2022).كما نلاحظ أنه في المجال اللدن (رطوبة 28% وزناً) عند الضغط 163 كيلو باسكال انخفضت المسامية الكلية بشكل معنوي من 53.40% الى51.13% بمقدار 2.72%، و أيضا في المجال اللدن (رطوبة 28% وزناً) وعند الضغط 216 كيلو باسكال انخفضت المسامية الكلية بشكل معنوي من 51.51% الى 48.86% بمقدار 2.65% .و في المجال اللدن (رطوبة 28% وزناً) وعند الضغط 297 كيلو باسكال انخفضت المسامية الكلية بشكل معنوي من 49.24% الى 45.45% بمقدار3.79% وهذا مشابه لماتوصل اليه (Botta *et al*.2007).

أما المسامات التي أقطارها > من 10 ميكرون (وهي المسامات الهوائية) والتي يجب ألا تقل عن 12% في الترب الطينية حسب (Czeratzki,1972)،لوحظ أنها في المعاملة بدون ضغط (الشاهد) كانت كافية للمبادلات الغازية، وانخفضت بشكل غير معنوي عند الضغط 163 كيلو باسكال لتصل إلى 16.14%، وإلى 13.01% معنويا عند الضغط 216 كيلو باسكال والى 10.04% بشكل معنوي عند الضغط 297 كيلو باسكال متجاوزة بذلك القيمة الحدية .

ففي المجال المرن (رطوبة 20%) وعند الضغط 163 كيلو باسكال انخفضت هذه المسامات بشكل معنوي من 16.14% الى 12.3% بمقدار 3.84%، وفي الضغط 216 كيلو باسكال انخفضت بشكل معنوي من 13.01% الي 11.00% متجاوزة القيمة الحدية بمقدار 2.01% ، وفي الضغط 297 كيلو باسكال انخفضت بشكل معنوي من 10.04% الى 6.45% بمقدار 3.59% .

جدول (4) تغيرات النظام المسامي في المجال المرن والمجال اللدن للتربة في العمق (20–40) سم

الضغط (كيلوباسكال)	الرطوبة % وزنا	PV%	PV >50	PV >10	PV 0.2–10	PV <0.2
0	20(مجال مرن)	54.92 a	15.99 a	17.86 a	13.85 a	23.21 f
0	28(مجال لدن)	54.92 a	15.99 a	17.86 a	13.85 a	23.21 f
163	20(مجال مرن)	53.40 b	13.97 ab	16.14 a	13.28 a	23.98 e
163	28(مجال لدن)	51.13 cd	10.92 c	12.3 bc	13.68 a	25.15 cd
216	20(مجال مرن)	51.51 c	11.61 bc	13.01 b	13.54 a	24.96 d
216	28(مجال لدن)	48.86 ef	9.00 cd	11.00 cd	11.54 ab	26.32 bc
297	20(مجال مرن)	49.24 f	5.84 e	10.04 d	13.07 a	26.13 b
297	28(مجال لدن)	45.45 g	1.05 f	6.45 e	10.92 b	28.08 a
LSD 0.05		1.16	2.65	1.93	2.23	0.77

حيث PV% (المسامية الكلية) ، PV >50 (المسامات أكبر من 50 ميكرون) ، PV >10 (المسامات أكبر من 10 ميكرون) ، PV 0.2–10 (المسامات بين 0.2 و 10 ميكرون) ، PV <0.2 (المسامات أقل من 0.2 ميكرون).

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

أما المسامات التي أقطارها (0.2–10) ميكرون وهي المسامات التي تحوي الماء المتاح للنبات، نلاحظ بأنها لم تتغير بشكل معنوي عند مستويات الضغط والرطوبة أثناء الضغط المدروسة في هذا العمق باستثناء المعاملة في المجال اللدن

(رطوبة 28%) وذات الضغط 297 كيلو باسكال انخفض حجم هذه المسام الى 10.92% بشكل معنوي بمقدار 2.93% مقارنة بمعاملة الشاهد.

أما المسامات التي أقطارها <0.2 ميكرون نلاحظ أن نسبتها تزداد مع ازدياد الضغط حيث كانت عند الضغط 0 =23.21% وعند الضغط 163 كيلو باسكال أصبحت 23.98% أي زادت بمقدار 0.77% وعند الضغط 216 كيلو باسكال ازدادت إلى 24.96% أي زادت بمقدار 1.75% وعند الضغط 297 كيلو باسكال زادت لتصبح 26.13% بمقدار زيادة 2.92%، حيث في المجال اللدن (رطوبة 28%) وعند الضغط 163 كيلو باسكال زاد حجم هذه المسام بشكل معنوي لتصبح 25.15% بمقدار 1.17% ، وعند الضغط 216 كيلو باسكال زاد حجم هذه المسام ليصبح 26.32% وهذه الزيادة معنوية بمقدار 1.36% ، وعند الضغط 297 كيلو باسكال زاد حجم هذه المسام بشكل معنوي ليصبح 28.08% بمقدار 1.95% وهذا مشابه لما توصل اليه (Botta *et al*.2007)

3-أثر الضغط والرطوبة أثناء الضغط في إنتاجية محصول فول الصويا في المجال المرن والمجال اللدن:

كانت متوسط إنتاجية محصول فول الصويا كماهي موضحة في الشكل (6):

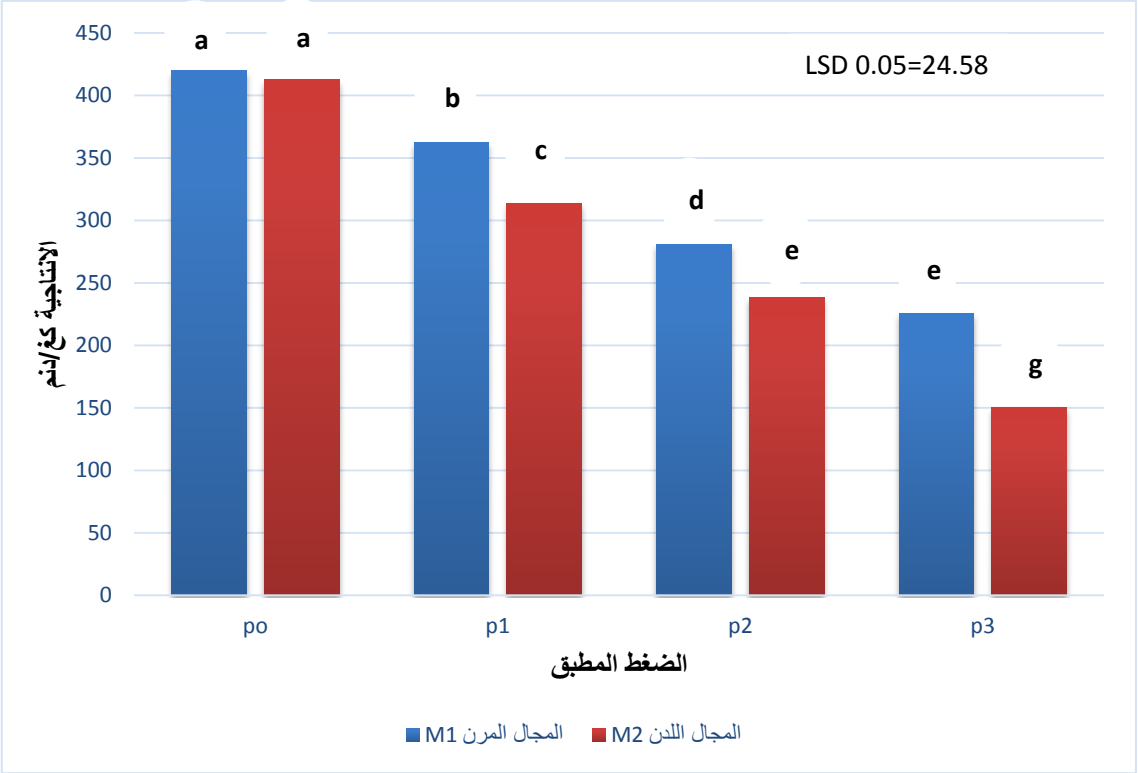
بينت النتائج في الشكل رقم (6) أن إنتاجية محصول فول الصويا بلغت في المعاملة دون ضغط (الشاهد)419.54 كغ/دنم وانخفضت بشكل معنوي عند الضغط 163 كيلوباسكال الى 362.66 كغ/دنم بمقدار 56.88كغ/دنم وانخفضت عند الضغط 216 كيلوباسكال معنويا الى 280.66 كغ/دنم بمقدار 138.88 كغ/دنم وانخفضت الى255.33 كغ/دنم بشكل معنوي أيضا عند الضغط 297 كيلوباسكال بمقدار 164.21 كغ/دنم.

حيث في المجال المرن (رطوبة 20%) عند الضغط 163 كيلوباسكال انخفض الإنتاج معنويا من 362.66 كغ/دنم الى 313.33 كغ/دنم في المجال اللدن (رطوبة 28%) بمقدار 49.33 كغ/دنم.

وبلغ الإنتاج في المجال المرن (رطوبة 20%) عند الضغط 216 كيلوباسكال 280.66 كغ/دنم حيث انخفض بشكل معنوي الى 238.21 كغ/دنم في المجال اللدن (رطوبة 28%) بمقدار انخفاض 42.45 كغ/دنم.

و في المجال المرن (رطوبة 20%) وعند الضغط 297 كيلوباسكال كان الإنتاج 225.33 كغ/دنم وانخفض معنويا في المجال اللدن (رطوبة 28%) ليصل الى 150.66 كغ/دنم بمقدار انخفاض 74.67 كغ/دنم.

حيث نلاحظ من النتائج أنه مع زيادة الضغط تقل الإنتاجية وأن تأثير الضغط كان أكبر من تأثير الرطوبة وهذا مشابه لما توصلت له (حسن، 2012).



الشكل (6) تغير الانتاجية مع تغير الضغط في المجال المرن واللدن للتربة

حيث P1=163، P2= 216 و P3= 297 كيلوباسكال

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

4-أثر الضغط والرطوبة أثناء الضغط في وزن ال100 بذرة لمحصول فول الصويا في المجال المرن والمجال اللدن:

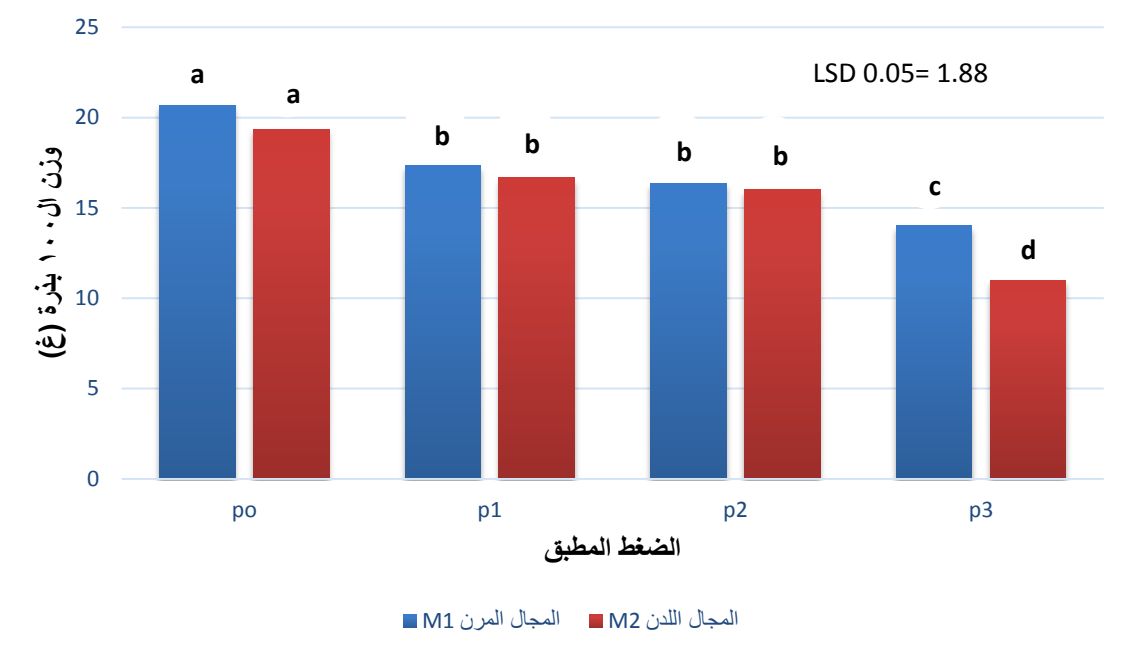
يتضح من الشكل رقم (7) أن وزن ال100 بذرة بلغ في المعاملة دون ضغط 20.66 غ وانخفض عند الضغط 163 كيلوباسكال الى 17.33 غ بشكل معنوي والى 16.33 غ معنويا عند الضغط 216 كيلوباسكال والى 14 غ عند الضغط 297 كيلوباسكال بشكل معنوي أيضا.

حيث في المجال المرن (رطوبة 20%) عند الضغط 163 كيلوباسكال انخفض وزن ال100 بذرة بشكل غير معنوي من 17.33 غ الى 16.66 غ في المجال اللدن (رطوبة 28%) بمقدار 0.67 غ.

و في المجال المرن (رطوبة 20%) وعند الضغط 216 كيلوباسكال كان الانخفاض غير معنوي أيضا حيث بلغ وزن ال100 16.33 غ وانخفضت الى 16 غ في المجال اللدن (رطوبة 28%) بمقدار 0.33 غ.

وبلغ وزن ال100 بذرة في المجال المرن (رطوبة 20%) عند الضغط 297 كيلوباسكال 14 غ وانخفض معنويا الى 11 غ في المجال اللدن (رطوبة 28%) بمقدار انخفاض 3 غ.

حيث نلاحظ أنه مع زيادة الضغط يقل وزن ال100 بذرة وهذا مشابه لماتوصلت له (اسكيف،2021)



الشكل (7) تغير وزن ال100 بذرة مع تغير الضغط في المجال المرن واللدن للتربة

حيث P1=163، P2= 216 و P3= 297 كيلوباسكال

التشابة بالحرف يعني عدم الاختلاف معنوياً

الاستنتاجات والتوصيات:

– ازدادت الكثافة الظاهرية في الطبقة السطحية مع زيادة الضغط المطبق كما ساهمت الرطوبة في زيادة تأثير الانضغاط مقارنة بالمعاملة دون ضغط.

– زادت الرطوبة من تأثير الضغط في الطبقة السطحية على حجم المسامية الكلية حيث انخفض حجم هذه المسامات في المجال اللدن عند الضغط 297 كيلوباسكال بمقدار 4.94% مقارنة بالمعاملة في المجال المرن عند نفس الضغط المطبق.

– انخفض حجم المسامات الأكبر من 10ميكرون في العمق (20–40)سم في المجال اللدن عند الضغط 297 كيلوباسكال بمقدار 3.59% متجاوزة بذلك القيمة الحدية وذلك مقارنة بالمعاملة في المجال المرن عند نفس الضغط المطبق.

– انخفض حجم المسامات التي تحوي الماء المتاح للنبات (0.2–10) ميكرون في الطبقة السطحية مع زيادة الضغط حيث كان أكبر انخفاض في حجم هذه المسامات في المعاملة ذات الضغط 297 كيلوباسكال في المجال اللدن بمقدار 5.76% مقارنة بمعاملة الشاهد.

كما أيضا انخفض حجم هذه المسام في العمق (20–40)سم مع زيادة الضغط دون فروق معنوية.

– زاد حجم المسامات الأقل من 0.2 ميكرون بشكل معنوي مع زيادة الضغط في العمق (20–40)سم وساهمت الرطوبة في زيادة تأثير الضغط حيث كانت الزيادة الأكبر في المعاملة ذات الضغط 297 كيلوباسكال في المجال اللدن بمقدار 4.87%.

– انخفض الإنتاج مع زيادة الضغط والرطوبة أثناء الضغط حيث كان أكبر انخفاض في الإنتاج في المجال اللدن في المعاملة ذات الضغط 297 كيلوباسكال بمقدار 261.76 كغ/دنم مقارنة بالشاهد .

- انخفض وزن ال100 بذرة مع زيادة الضغط والرطوبة اثناء الضغط حيث كان أكبر انخفاض في المجال اللدن في المعاملة ذات الضغط 297 كيلو باسكال بمقدار 8.33 غ مقارنة بالشاهد.

وانطلاقا من ذلك نوصي باستمرار البحث على أنواع أخرى من الأتربة والمحاصيل لمعرفة القيم الحدية للضغط والرطوبة أثناء الضغط للحد من انضغاط التربة في المستقبل.

References:

1- BATEY, T. *Soil compaction and soil management a review*. Soil use and management, 2009, 25.4: 335-345.

2- BOTTA, G., POZZOLO, O., BOMBEN, M., ROSATTO ,H., RIVERO, D., RESSIA, M., TOURN, M., SOZA, E. and VA'ZQUEZ, J. *Traffic alternatives for harvesting soybean (Glycine max L.)*. Effect on yields and soil under a direct sowing system. Soil and Tillage Research, 2007, 96.1-2: 145-154.

3- BRUAND, A., COUSIN, I. *Variation of textural porosity of a clay-loam soil during compaction*. European journal of soil science, 1995, 46.3: 377-385.

4- Czeratzki, W., Die Anspru¨che der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand, Landbauforschung, Vo¨lkenrode. 1972. 10, 12–19

5- DE MORAES, M. T., DEBIASI,H., CARLESSO,R., FRANCHINI,J.C., SILVA,V.R. and LUZ,F.B. *Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil*. Soil and Tillage Research, 2016, 155: 351-362.

6- EWETOLA, E. A.; ONOFUA, O. E. and BABATUNDE, E. I. *Soil Compaction Effects on Soil Physical Properties and Soybean (Glycine max.) Yield in Ogbomoso,* Southwestern Nigeria. *Asian Soil Research Journal*, 2022, 6.2: 47-56.

7- FERREIRA,C.J.B.,TORMENA,C.A.,SEVERIANO,E.D.C., ZOTARELLI, L. and BETIOLI JUNIOR, E. *Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage*. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2021, 67.3: 383-396.

8- HAMZA, M. A., ANDERSON, W. K. *Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions*. *Soil and tillage research*, 2005, 82.2: 121-145.

9- HARTGE, K. H., HORN, R. *Einfiihrung in die Bodenphysik Ferdinand Enke*. Verlag, Stuttgart, 1991, 303.

10- HASAN, D. *Studying the effect of soil compaction by agricultural machinery on the physical and water properties of the soil and on the productivity of potato plants in the Syrian coast*. Master's thesis.Faculty of Agriculture-Tishreen University.Department of soil and Water Sciences.(2012). 99 p. (in Arabic).

11- IBRAHIM, J. , BARAKAT, M. *Soil physics (theoretical part)*, publications of the Directorate of books and university publications, Tishreen University,Syria,(2013),383 P.(in Arabic)

12- KADRO, O.F. *Soil compaction at different levels of organic matter affected the physical and hydrodynamic properties of the soil and the growth and yield of the maize plant*. Master's thesis.Faculty of Agriculture-Tishreen University.Department of soil and Water Sciences.(2020).68 P. (in Arabic).

13- KELLER, T., LAMANDE,M., PETH,S., BERLI,M., DELENNE,J.Y., BAUMGARTEN,W. and OR,D. *An interdisciplinary approach towards improved understanding of soil deformation during compaction*. *Soil and Tillage Research*, 2013, 128: 61-80.

14- KELLER, T, RUIZ,S., ARVIDSSON,J., STETTLER,M. and BERLI,M. *Determining soil stress beneath a tire measurements and simulations*. Soil Science Society of America Journal, 2016, 80.3: 541-553.
15- KELLER, T., COLOMBl,T., RUIZ,S., MANALILI,M.P. and REK,J. *Long-term soil structure observatory for monitoring post-compaction evolution of soil structure*. Vadose Zone Journal, 2017, 16.4: 1-16.
16- KELLER, T., SANDIN,M. COLOMBl,T., HORN,R. and OR,D. *Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning*. Soil and Tillage Research, 2019, 194: 104293.
17- SCHJONNING, P., LAMAND´E, M., CR´ETIN, V., NIELSEN, J.Å. *Upper subsoil pore characteristics and functions as affected by field traffic and freeze–thaw and dry–wet treatments*. Arid. Soil Res. Rehabil,2017, 55, 234–244
18- SINGH, K., MISHRA,S.K., SINGH,H.P., SINGH,A. and CHAUDHARY, O.P. *Improved soil physical properties and cotton root parameters under sub-soiling enhance yield of Cotton-Wheat cropping system*. Data in brief, 2019, 24: 103888.
19- SIVARAJAN, S., MAHARLOOEI,M., BAJWA,S.G. and NOWATZKI,J. *Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield*. Soil and Tillage Research, 2018, 175: 234-243.
20- SKEF,G.R. *The addition of potassium Humate during the mechanical dismantling of compacted subsoil layers affected their physical and hydrodynamic properties and the yield of soybeans both quantitatively and qualitatively*. Ph. D. thesis. Faculty of Agriculture-Tishreen University.Department of soil and Water Sciences.(2021). 93 P (in Arabic).
21- SOANE,B.D., VAN OUWERKERK.,C. *Soil compaction problems in worldagriculture*. In Soil compaction in crop production Elsevier Amsterdam,1994, 11:1–26
22- SOHNE, W. *Das mechanische Verhalten des Ackerbodens bei Belastungen unter rollenden Rädern sowie bei der Bodenbearbeitung. (The mechanical behaviour of soils under stresses of rolling wheels and during tillage).* Gründl. Landtechnik, 9. Konstrukteur Heft 1,1951, pp. 87-94 (in German)
23- LAL, R. *Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria*. I. Soil physical and hydrological properties. Land degradation & development, 1996, 7.1: 19-45.
24- MYAKA, F. A., KIRENGA, G. and MALEMA, B. *Proceedings of the First National Soybean Stakeholders Workshop,10-11 November 2005,Morogoro,Tanzania*.
25- OGUNREMI, L. T., LAL, R. and BABALOLA, O. *Effects of tillage methods and water regimes on soil properties and yield of lowland rice from a sandy loam soil in southwest Nigeria*. Soil and Tillage Research, 1986, 6.3: 223-234.
26- PETELKAU, H. *Durch Fahrwerke landwirtschaftlicher Mechanisierungsmittel verursachte Schadwirkungen und Vorschläge zu ihrer Vermeidung*. Wissenschaftliche Beiträge Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, 1987, 11: 106-119.
27- YOUSEF, D. A. *The effect of soil compaction at different levels of humidity on the physical and hydrodynamic properties of the soil and on the productivity and quality of the roots of sugar chondrite in the forest zone*. Master's thesis.Faculty of Agriculture-Tishreen University.Department of soil and Water Sciences.(2016).68 P. (in Arabic).