مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الزراعية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Agricultural Science Series Vol. (18) No (4) 1996

تأثير الكثافة الظاهرية الناتجة عند مستويات مختلفة للرطوبة أثناء الضغط على الخواص الفيزيائية للتربة وعلى نمو بادرات الشوندر السكري

الدكتور جهاد إبراهيم*

☐ الملخّص ☐

من خلال دراسة تأثير الكثافة الظاهرية الناتجة عن مستويات مختلفة للرطوبة أثناء الضغط على الخصائص الفيزيائية للتربة وعلى نمو بادرات الشوندر السكري، تبين أن الكثافة الظاهرية الواحدة تختلف في صفاتها الفيزيائية بحسب رطوبة التربة أثناء الضغط، فالكثافة الناتجة عند مستوى رطوبي أقل من الرطوبة المثلى (Wopt) يختلف فيها توزيع النظام المسامي وكل من الناقلية المائية للتربة المشبعة والناقلية الهوائية، عن تلك التي تبديها الكثافة نفسها الناتجة عند مستوى رطوبي أكبر من (.Wopt). هذه الاختلافات في الخصائص الفيزيائية، انعكست، أيضاً، على نسبة الجذور الرئيسية التي تخترق طبقة التربة المدروسة وعلى متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد. وبخاصة عند الكثافات العالية، حيث انخفضت نسبة الجذور التي اجتازت طبقة التربة خلال مرحلة القياس من 70% عند الكثافة 1.6 الناتجة عند الرطوبة 14.2% وزناً (رطوبة أقل من Wopt) إلى 18% عند الكثافة نفسها (1.6 غ/سم^3) والناتجة عند المستوى الرطوبي 20.7% وزناً (رطوبة أكبر من Wopt) وانخفض متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد عند الكثافة نفسها 1.6 غ/سم^3 والرطوبة 20.7% وزناً إلى 53% مقارنة بالرطوبة 14.2% وزناً.

رغم التغيرات الفيزيائية التي تبديها الكثافة الواحدة أثناء تحضيرها عند مستويات مختلفة للرطوبة لم يكن هناك تأثير معنوي لهذه الاختلافات على نسبة الجذور التي اجتازت طبقة التربة وعلى متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد عند الكثافات التي قيمتها أقل من 1.5 غ/سم^3. بينما عند الكثافات التي قيمتها أكبر أو تساوي 1.5 غ/سم^3 كانت جميع الاختلافات معنوية.

---

* مدرس في قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الزراعة – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية - سلسلة العلوم الزراعية المجلد (18) العدد (4) 1996
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Agricultural Science Series Vol. (18) No (4) 1996

The Effect of Soil Bulk Density Resulted from Various Moisture Levels Pressure on the Physical Characteristics of Soil and on the Growth of Sugar Beet Plant

Dr. Jihad IBRAHIM*

❐ ABSTRACT ❐

From the study of effect of soil bulk density resulted from various moisture levels by pressure on the physical characteristics of soil and on the growth of sugar Beet plant, was found that the physical characteristics on the same density differs according to soil moisture by pressure.

The resulting density from less moisture level < (wopt.) it differs distribution of (pore system, hydraulic conductivity of saturated soil and air permeability) from the resulting density which appears at moisture level more than (wopt).

Also these differences in physical characteristics reflected on the rooting rate witch passes the soil layer and the weight green plant especially at high densities. Where the rate of roots witch passed the soil layer decreased during the measuring stage from 70% at density 1.6 resulting at moisture 14.2% (moisture <wopt) to 18% at the same density (1.6 g/cm^3) and witch is resulted at the moisture level 20.7% weight (moisture >wopt).

The weight of the green plant decreased at the same density 1.6 g/cm^3 and at moisture 20.7% weight to 53 % comparative with moisture 14.2 % weight.

In spite of the physical changes that the bulk density (happened at different levels of moisture, there was no significant effect of these differences on the roots rate witch passed the layer and o the weight green plant at densities < 1.5 g/cm^3. While at densities witch ≥ 1.5 g/cm^3 all differences are significant.

* Lecturer at Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, Tishreen University, Lattakia, Syria

1- المقدمة:

إن نمو وتطور وانتشار المجموع الجذري داخل التربة يعتبر أحد أهم الشروط الأساسية لمد النباتات بالماء والعناصر الغذائية الضرورية خلال مراحل نموه المختلفة، وهذا يتطلب وجود وسط فيزيائي مناسب للنمو، هذا الوسط يمكن تحقيقه عبر تحقيق حالة البناء المثالية اللازمة لنمو وتطور النبات، وفي هذا المجال تلعب كثافة التربة الظاهرية كأحد المؤشرات الأساسية لحالة بناء التربة، الدور الهام في تحديد هذا الوسط. ونظراً لكون الكثافة أحد أهم الخصائص الفيزيائية للتربة فقد اعتمدت في أبحاث كثيرة لدراسة العلاقة بينها وبين إنتاجية النبات، بقصد معرفة الكثافة المثلى وبالتالي السعي لتحقيق هذه الكثافة أثناء تنفيذ العمليات الزراعية الهادفة إلى تحسين بناء التربة. إضافة لذلك تعتبر أحد المقاييس الأساسية المعتمدة في تحديد الضغط المطبق على التربة وبالتالي تحديد وزن وضغط الآلة المستخدمة (Ermich, 1980; Petelkau, 1984][Kunze & Petelkau, ua, 1979). غير أن انضغاط التربة وما يرافقه من تغيير في كثافتها الظاهرية، قد يتم عند مستويات مختلفة من الرطوبة أثناء العمليات الزراعية. وحسب استجابة التربة للانضغاط، يمكن حصر درجات الرطوبة هذه ضمن مجالين أساسيين.

المجال الأول: هو مجال الرطوبة الذي تبدي التربة فيه مرونة معينة أثناء الانضغاط. في هذا المجال تتزايد الكثافة الظاهرية للتربة، عند تعرضها لضغط معين، كلما زادت الرطوبة أثناء الضغط، حتى الوصول إلى الرطوبة المثلى للانضغاط (.Wopt).

أما المجال الثاني: هو المجال الذي يبدأ من نقطة الرطوبة المثلى للانضغاط (.Wopt) حتى الرطوبة عند نقطة تشبع التربة. في هذا المجال تبدأ التربة بالالتصاق والتعجن أثناء تعرضها لضغط معين دون أن يرافق ذلك زيادة في كثافتها الظاهرية، حيث أن الماء الزائد في التربة عند حد معين، يعيق عملية الانضغاط (Hartge & Horn, 1991). إن تخريب بناء التربة الناتج عن الضغط في هذا المجال الرطوبي، يزداد سوءاً كلما اقتربت التربة من نقطة الإشباع أثناء الانضغاط على الرغم من أن هذا الضغط لا يرافقه زيادة في الكثافة الظاهرية يكون التشوه الحاصل هنا نتيجة تعجن التربة وتحطم الحبيبات الثانوية وتخريب النظام المسامي وما يرافقه من تشوهات في شكل وتوزيع هذه المسامات.

وإذا أخذنا المجالين السابقين بعين الاعتبار، نلاحظ أنه يمكن للكثافة الواحدة أن تنتج عند رطوبة منخفضة أو عند رطوبة عالية أثناء تعرض التربة لضغوط معينة، ومثل هذه الحالة يمكن أن تقابلنا في

الحقول الزراعية على نطاق واسع، وبخاصة في الطبقة السطحية للتربة، إذ تكون التربة على تماس مباشر مع الضغط الذي تتعرض له.

غير أن الكثافة الواحدة الناتجة عند رطوبة معينة تختلف من حيث الخصائص الفيزيائية عند الكثافة نفسها الناتجة عن مستوى رطوبي آخر أثناء الضغط. ومثل هذه الناحية يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء العلاقة بين الكثافة الظاهرية للتربة والخصائص الفيزيائية الأخرى، من جهة، وبين الكثافة الظاهرية والإنتاجية، من جهة أخرى.

ومن هذا المنطلق تم تحضير كثافات ظاهرية مختلفة عند ثلاث مستويات مختلفة للرطوبة. مستوى رطوبي يقع ضمن المجال الأول، ومستوى رطوبي يقع ضمن المجال الثاني، والمستوى الثالث يقع بالقرب من نقطة الرطوبة المثالية (Wopt.)، أي بالقرب من الحد الفاصل بين المجالين السابقين للرطوبة. وذلك لمعرفة التغيرات الفيزيائية التي تبديها الكثافة الواحدة أثناء تحضيرها عند مستويات مختلفة للرطوبة ومعرفة سلوك النبات تجاه هذه التغيرات.

ولدراسة سلوك نمو النبات بتأثير الكثافة الواحدة الناتجة عند مستويات مختلفة للرطوبة، فقد اختير نبات الشوندر السكري باعتبار أن هذا النبات من أكثر النباتات تأثراً بحالة بناء التربة. فهو يتطلب حالة بناء جيدة خلال مراحل نموه المختلفة خاصة في مراحل النمو الأولية فالبناء الجيد للتربة يجعل اختراق الجذور لطبقة التربة السطحية عملية سهلة وسريعة، فتصل بذلك طبقات التربة التحتية خلال وقت قصير، فيقل الخطر الناتج عن مرور موجة جفاف لأن الجذور في هذه الحالة تبدأ بالاستفادة من المخزون المائي في تلك الطبقات. كما أن اختراق الجذر الرئيسي لهذه الطبقة في المراحل الأولية لنمو النبات (4-5 أوراق حقيقية) يحدد شكل وحجم الدرنات في المراحل اللاحقة لنمو النبات وبالتالي يقرر إنتاجية النبات.

2- طرائق البحث والتجهيزات المستخدمة:

لقد أجريت هذه التجربة المخبرية على تربة سلتية لومية (UL) مغربلة بغربال أقطار فتحاته 10 مم مأخوذة من الطبقات السطحية للتربة. بعض الخصائص الفيزيائية لهذه التربة يوضحها الجدول رقم (1).

الجدول (1): يوضح بعض الخصائص الفيزيائية للتربة المدروسة (UL)

طين %	سلت %	رمل %	السعة الحقلية % وزناً	نقطة الذبول %	الكثافة الظاهرية العظمى غ/سم^3	رطوبة التربة المثلى للانضغاط % وزناً Wopt.
20.0	71.1	8.9	24.5	10.6	1.64	16.5

بعد تحضير التربة تم ترطيبها عند مستويات ثلاث للرطوبة: المستوى الأول عند 14.2% وزناً وهذه الرطوبة تعادل 57.9% من السعة الحقلية للتربة، المستوى الثاني هو عند الرطوبة 17.2 وزناً وهذه الرطوبة تعادل 70.2% من السعة الحقلية للتربة وهو مستوى الرطوبة القريب من نقطة الرطوبة المثلى (Wopt. = 16.5)، أما المستوى الرطوبي الثالث فهو عند 20.7 وزناً وهذه الرطوبة تعادل 84.5% من السعة الحقلية للتربة.

أما ترطيب التربة الجافة هوائياً للحصول على المستويات المقررة فقد تم باستخدم العلاقة التالية:

$$H_2O = \left[\{(M2\%+100)/(M1\%+100)\}-1\right] mm \quad (1)$$

حيث أن H_2O: هي كمية المياه اللازمة لرفع رطوبة التربة من رطوبة معينة إلى رطوبة أخرى مرغوبة.

M1%: رطوبة التربة الأولى قبل إضافة الماء.

M2%: رطوبة التربة المطلوبة.

mm: وزن التربة مع رطوبتها الأولية.

وبعد تحضير مستويات الرطوبة السابقة الذكر تم تحضير الكثافات الظاهرية التالية 1.3-1.4-1.5-1.6 غ/سم^3 بوساطة أسطوانات معدنية سعة كل منها 250 سم^3 عند كل مستوى رطوبي وذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$mm = \rho_d.V.(M\%+100)/100 \quad (2)$$

حيث أن:

mm: وزن التربة الرطب للوصول إلى الكثافة المطلوبة.

ρ_d: الكثافة المطلوبة.

V: الحجم الذي يجب أن تأخذه التربة بعد الضغط للحصول على الكثافة المطلوبة وهو يساوي هنا حجم الأسطوانة الداخلي أي 250 سم^3.

M%: رطوبة التربة أثناء تحضير الكثافة المطلوبة.

بعد معرفة رطوبة التربة التي تم التوصل إليها وفق العلاقة (1) وحجم الأسطوانة الداخلي والكثافة المطلوبة تحسب قيمة mm أي وزن التربة اللازم لتحضير الكثافة من العلاقة (2) بحيث توضع كمية التربة هذه في الأسطوانة المعدنية المستخدمة بعد وضع حلقة معدنية

لها القطر نفسه فوق الأسطوانة المستخدمة لمنع ضياع التربة أثناء الضغط.

بعد ذلك تم ضغط التربة بوساطة مكبس هيدروليكي مخصص لهذا الغرض حتى تأخذ كمية التربة mm الحجم المخصص لها وهو حجم الأسطوانة الداخلي، وبذلك يتم الوصول إلى الكثافة المطلوبة. وبالطريقة نفسها تم تحضير جميع الكثافات، بواقع 14 مكرر لكل كثافة عند كل مستوى رطوبي من مستويات الرطوبة الثلاث، وبالتالي يكون عدد الأسطوانات الكلي المستخدمة في هذه التجربة 168 أسطوانة. بعد ذلك تم تقسيم المكررات إلى قسمين. قسم خصص للزراعة بواقع 8 مكررات لكل كثافة عن كل مستوى رطوبي، وقسم آخر خصص لدراسة الخصائص الفيزيائية، بواقع 6 مكررات لكل كثافة عند كل مستوى رطوبي. العينات المخصصة للزراعة أشبعت بالماء تماماً ثم طبق عليها PF = 2.5 ليكون هناك تجانس في رطوبة التربة أثناء الزراعة بعد ذلك وضعت في كل أسطوانة 12 بذرة شوندر سكري سبق نقعها بالماء مدة يومين، وزعت بشكل متجانس على مساحة مقطع التربة، ثم وضعت حلقة بلاستيكية بارتفاع 2 سم على كل أسطوانة معدنية. هذه الحلقة تم ملأها بالرمل الناعم الرطب ليحمي سطح التربة من الجفاف.

بعد ذلك وضعت العينات على شبك معدني محمول على حوض مائي لاستقبال الجذور النافذة إلى أسفل عينة التربة. ثم وضعت العينات هذه مع الشبك والحوض المائي داخل جهاز Phytotron للتحكم بالإضاءة ودرجات الحرارة أثناء التجربة. حيث كانت الإضاءة خلال التجربة 12 ألف لوكس لمدة 12 ساعة يومياً ودرجات الحرارة بين 10-12 $^{\circ}$م وعقب الإنبات جرت عملية التفريد لتصبح 8 نباتات/أسطوانة، هذه الظروف التجريبية تمكن من عد الجذور الرئيسية النافذة إلى أسفل عينة التربة (حيث أن ارتفاع عينة التربة يبلغ 6سم)، وبشكل يومي هذا واستمرت عملية المراقبة وعد الجذور الرئيسية التي اخترقت طبقة التربة المدروسة لمدة 27 يوماً من تاريخ الزراعة. وبعد ذلك أخرجت العينات من الجهاز ثم حصدت النباتات وتم حساب متوسط وزن النبات الواحد عند الكثافات المختلفة ومستويات الرطوبة المدروسة.

وفي الوقت الذي استمرت فيه التجربة كانت تجرى القياسات الفيزيائية على عينات التربة المخصصة للدراسة الفيزيائية.

3- النتائج والمناقشة:

3-1: دراسة الخصائص الفيزيائية:

3-1-1: حجم المسامات الكلي وتوزيعها:

بعد تحضير العينات تم تحديد الخصائص الفيزيائية إذ تم حساب الحيز المسامي الكلي ونسب توزيع حجم المسام وقياس كل من الناقلية الهوائية والمائية لها حيث تم تعريض عينات التربة لـ PF = 1.8 لتحديد حجم المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون ولـ PF = 2.5 لتحديد حجم المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون ومن خلال ذلك يتسنى تحديد حجم المسامات التي قطرها بين 10-50 ميكرون.

بالنسبة لحجم المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون (GPI) تم تحديدها كتابع لكل من الكثافة pd والرطوبة (Wv) أثناء تحضير الكثافة، فكانت علاقة الارتباط من الدرجة الأولى ومعامل الارتباط عال جداً حيث بلغ القيمة B = 0.97 وكذلك الحال بالنسبة لحجم المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون GP(I+II) تم تحديدها، أيضاً، كتابع من الكثافة الظاهرية (ρ_d) والرطوبة (Wv) أثناء تحضير هذه الكثافة فكانت علاقة الارتباط من الدرجة الأولى ومعامل الارتباط عال جداً حيث بلغ القيمة B = 0.98 وفق العلاقة التالية:

$$GPI > 50\mu m = -94.87 + 7.64.Wv + + 60.61, \rho d - 4.79.Wv.\rho d$$

$$B = 0.97$$

ومتوسط مجال الانحراف – 2.3% حجما:

$$GP(I+II) > 10\mu m = 93.94 - 46.51.\rho d - 0.45\ Wv.\rho d$$

$$B = 0.98$$

متوسط مجال الانحراف = 1.7% حجماً

هذا ويمكن توضيح نتائج التحليل الخاص كحجم المسام الكلي وتوزيع هذه المسامات كما هو في الجدول رقم (2).

الجدول (2): يوضح الحيز المسامي الكلي ونسب توزيع حجم المسام عند الكثافة المختلفة ومستويات الرطوبة المدروسة:

الرطوبة أثناء تحضير الكثافة	14.2 % وزناً				17.2% وزناً				20.7% وزناً			
الكثافة الظاهرية غ/سم^3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6
حجم المسامات الكلي % حجماً	50.9	47.5	43.4	39.6	50.9	47.5	43.4	39.6	50.9	47.5	43.4	39.6
حجم المسامات التي قطرها >50 ميكرون	4.0	3.3	2.7	1.8	8.32	6.1	3.9	1.7	13.2	9.3	5.5	1.6
حجم المسامات التي قطرها >10 ميكرون	25.2	19.9	14.6	9.3	23.4	17.9	12.6	7.1	21.4	15.8	10.2	4.6
حجم المسامات التي قطرها 10-50 ميكرون	21.2	16.6	11.9	7.5	15.2	11.8	8.7	5.4	8.2	6.5	4.7	3.0
حجم المسامات التي قطرها 0.2-10 ميكرون	11.9	12.8	12.9	13.4	13.7	14.8	14.9	15.6	15.7	16.9	17.3	18.1
حجم المسامات التي قطرها أقل من 0.2 ميكرون	13.8	14.8	15.9	16.9	13.8	14.8	15.9	16.9	13.8	14.8	15.9	16.9

الجدول رقم (2) يبين أن حجم المسامات الكلي يتناقص بشكل واضح، مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة، وأنه عند الكثافة الواحدة يبقى حجم المسام الكلي ثابتاً، على الرغم من تغيير رطوبة التربة أثناء تحضير الكثافة، وهذا يعود إلى أن حجم المسامات الكلي يتعلق بالكثافة الظاهرية للتربة (ρd) وبالكثافة الحقيقية (ρs) وفقاً للعلاقة التالية:

$$PV\% = 100 - (\rho_d / \rho_s)100$$

حيث PV%: النسبة المئوية للحيز المسامي الكلي.

أما بالنسبة لحجم المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون فيلاحظ بأنها تتناقص مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة المحضرة عند مستوى رطوبي معين.

ولكن عند الكثافة الواحدة يلاحظ بأنها تتزايد مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير الكثافة حتى 1.5 غ/سم^3 حيث بلغت على سبيل المثال عند الكثافة 1.3 والرطوبة 14.2 القيمة 4% حجماً وارتفعت عند الكثافة نفسها 1.3 والرطوبة 17.2 إلى القيمة 8.2% حجماً واستمرت بالارتفاع إلى 13.2% حجماً عند الرطوبة 20.7.

وقد يعود ذلك إلى نشاط عملية التحبيب إذ أن التربة أثناء الترطيب والتحريك لتحريك مستويات الرطوبة المطلوبة، تتشكل مجمعات ترابية ذات حجم أكبر عند منسوب الرطوبة الأعلى من تلك التجمعات المتكونة عند منسوب الرطوبة الأقل، وبذلك تتكون فراغات كبيرة بين هذه التجمعات، ونظراً لكون الضغط اللازم لتحقيق الكثافة المطلوبة هنا عند مستويات الرطوبة العالية منخفض نسبياً، فإنه يبقى جزء كبير من هذه الفراغات ثابتاً لا يتخرب.

بينما عند الكثافات العالية جداً 1.6 غ/سم^3 كانت هذه المسامات متساوية عند مستويات الرطوبة المختلفة لكون الضغط اللازم لتحقيق هذه الكثافة عالياً وبالتالي يؤدي مثل هذا إلى انهيار التجمعات الترابية وانخفاض في المسام الواسعة أو المسام الكبيرة. حجم المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون أي ما يسمى بالسعة الهوائية للتربة يلاحظ من الجدول رقم (2) بأن هذه المسامات تتناقص بشكل واضح مع زيادة الكثافة الظاهرة عند مستوى رطوبي معين، ولكنها تتناقص في الوقت نفسه عند الكثافة الواحدة مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير هذه الكثافة، حيث بلغ عند الكثافة 1.3 وبرطوبة 14.2 قيمة 25.2% حجماً، انخفض عند الكثافة نفسها وبرطوبة 17.2 إلى 23.4 وبشكل معنوي، واستمر بالانخفاض المعنوي إلى الرقم 21.4 عند الرطوبة 20.7.

إذ يلاحظ من هذا الجدول بأن جميع الكثافات المحضرة عند الرطوبة 20.7% تبدي حجماً منخفضاً في السعة الهوائية للتربة قياساً بالكثافات نفسها المحضرة عند مستويات رطوبة أقل. حجم المسامات التي قطرها 10-50 ميكرون تم

حسابها من حاصل طرح المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون من حجم المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون. ويلاحظ من الجدول بأن حجم هذه المسامات يتناقص مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة المحضرة عند مستوى رطوبي معين، كما أنه يتناقص أيضاً عند الكثافة الواحدة مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير الكثافة نفسها. أما حجم المسامات التي قطرها بين 0.2-10 ميكرون تم حسابها من حاصل طرح كل من المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون والمسامات التي قطرها أقل من 0.2 ميكرون من حجم المسامات الكلي للتربة، أما بالنسبة لحجم المسامات التي قطرها أقل من 0.2 ميكرون فقد تم حسابها عن طريق جداء رطوبة التربة % وزناً عند نقطة الذبول بالكثافة الظاهرية، فنحصل على رطوبة التربة % حجماً عند نقطة الذبول، وهي تمثل بذلك حجم المسامات التي قطرها أقل من 0.2 ميكرون. ومن الجدول رقم (2) نلاحظ أيضاً بأن حجم المسامات التي قطرها بين 0.2 و10 ميكرون تزداد بشكل بسيط مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة، وتزداد في الوقت نفسه عند الكثافة الواحدة مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير الكثافة، وهذه الزيادة تعود بالأساس إلى نقصان سماكة التربة المدروسة بشكل مستمر مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة، إضافة إلى أنه أثناء الضغط يتحول جزء من المسامات الكبيرة إلى مسامات متوسطة. وفي الواقع لا تتغير كمية المياه القابلة للامتصاص، مقاسة (مم) ماء أي 1 ليتر/م^2 رغم زيادة حجم المسامات المتوسطة (Petelkau & Kunze, 1980) لأن سماكة الطبقة المدروسة تقل مع زيادة الكثافة الظاهرية لها وهذا يرافقه زيادة في رطوبة التربة الحجمية نظراً لأن الرطوبة نفسها أصبحت منسوبة لحجم تربة أقل، حيث أنه لو تم إعادة التربة إلى وضعها الطبيعي قبل الضغط أي إلى سماكتها الأولية، تعود رطوبتها الحجمية إلى نفس القيمة. وبالتالي يجب أن لا ينظر إلى هذه الزيادة على أنها ناحية إيجابية بل ينظر إليها على أنها ناحية سلبية، حيث أن الضرر يكمن هنا في نقصان سماكة طبقة التربة وبالتالي نقصان في حجم المجال الحيوي اللازم لانتشار المجموع الجذري وما يرافقه من نقصان في حجم المسامات الكلي وخاصة المسامات الهوائية، وزيادة في مقاومة التربة لاختراق الجذور.

3-1-2: الناقلية الهوائية لعينات التربة المدروسة:

لقد تم قياس الناقلية الهوائية للعينات المدروسة بعد تعريض عينات التربة لـ PF = 2.5 فكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (3).

الجدول (3): يوضح المتوسط الهندسي للناقلية الهوائية لعينات التربة المدروسة

رطوبة التربة أثناء تحضير الكثافة	14.2 % وزناً				17.2% وزناً				20.7 % وزناً			
الكثافة الظاهرية غ/سم^3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6
الناقلية الهوائية م/يوم	1672 ± 97.2	517 ± 83.4	213 ± 40.6	125 ± 10.3	3171 ± 222.0	806 ± 140.6	179 ± 18.6	121 ± 10.5	7535 ± 770.7	1230 ± 355	165 ± 46.3	97 ± 22.5

من خلال الجدول رقم (3) يلاحظ بأن الناقلية الهوائية للتربة تتناقص مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة ولكن عند الكثافة الواحدة تزداد هذه الناقلية مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير الكثافة وهذا يعود إلى أن حجم المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون كان أكبر عند مستويات الرطوبة العالية (لاحظ الجدول رقم 2) ولكن عند الكثافة 1.5 والكثافة 1.6 غ/سم^3 انخفضت قيمة الناقلية هذه عن القيمة الحدية (260 م/يوم) المعطاة من قبل (Petelkau and Kunze, 1980) بينما بقيت عند الكثافة 1.3-1.4 غ/سم^3 خارج الحدود الضارة بنمو النبات.

3-1-3: الناقلية المائية للتربة المشبعة:

عقب إشباع التربة، تم قياس الناقلية المائية للتربة المشبعة فكانت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (4).

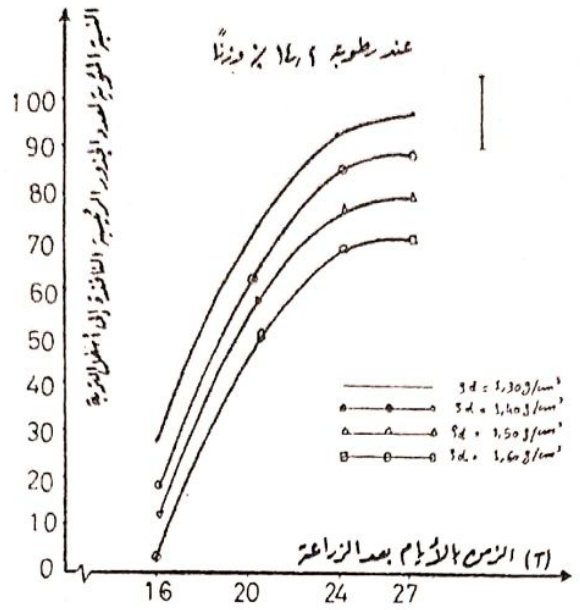
الجدول (4): يوضح المتوسط الهندسي للناقلية المائية للتربة المشبعة لعينات التربة المدروسة

رطوبة التربة أثناء تحضير الكثافة	14.2 % وزناً				17.2 % وزناً				20.7 %وزناً			
الكثافة غ/سم^3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6	1.3	1.4	1.5	1.6
الناقلية المائية (م/يوم)	2.15 ± 0.46	0.71 ± 0.33	0.23 ± 0.06	0.05 ± 0.07	1.90 ± 0.31	0.80 ± 0.17	0.21 ± 0.12	0.05 ± 0.003	5.62 ± 0.64	0.7 ± 0.26	0.03 ± 0.006	0.01 ± 0.004

يتضح من الجدول (4) أن الناقلية المائية للتربة المشبعة تتناقص مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة عند مستوى رطوبي معين. أما بالنسبة لتأثير الرطوبة أثناء التحضير يلاحظ بأن الناقلية هذه تزداد عند الكثافة المنخفضة 1.3 غ/سم^3 وخاصة عند الرطوبة 20.7 وهذا يعود إلى أن حجم المسامات الكبيرة التي تلعب الدور الأساسي في الناقلية (المسامات التي قطرها أكبر من 50 ميكرون) كان كبيراً عند هذه الكثافة والرطوبة (الجدول رقم 2). أما عند الكثافة 1.5 و1.6 غ/سم^3 يلاحظ بأن الناقلية تنخفض بشكل واضح مع زيادة الرطوبة أثناء الضغط لتصل إلى القيمة الحدية لها (0.1 م/يوم) لا بل تتجاوزها، خاصة، عند المستوى الرطوبي 17.2 والمستوى الرطوبي 20.7 وهذا يعود إلى الانخفاض الشديد في حجم المسامات التي قطرها أكبر من 10 ميكرون وبخاصة التي قطرها أكبر من 50 ميكرون. من واقع النتائج سالفة الذكر، يتضح بأن الكثافة الظاهرية الواحدة للتربة تبدي حجم المسامات الكلي نفسه، ولكن أثناء إنتاج هذه الكثافة سواء في الحقل أم في المخبر عند مستويات مختلفة من الرطوبة تتغير الخصائص الفيزيائية، وخاصة توزيع النظام المسامي وما يرافقه من تغيرات في قيمة الناقلية المائية للتربة المشبعة والناقلية الهوائية وتأثير ذلك على نمو وتطور النبات.

3-2: تأثير الكثافة الظاهرية الناتجة عند مستويات مختلفة من الرطوبة على نسبة الجذور الرئيسية النافذة إلى أسفل التربة:

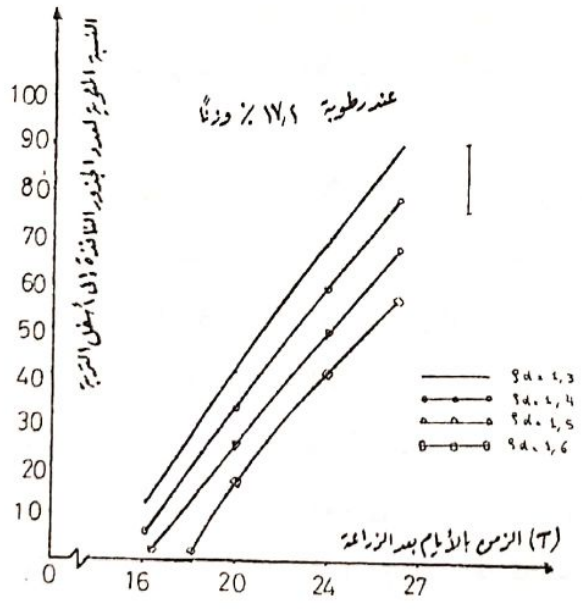
بعد حساب النسبة المئوية لعدد الجذور الأرضية التي اجتازت طبقة التربة بسماكة 6 سم، تم تقييم النتائج إحصائياً باستخدام علاقات الارتباط من الدرجة الثانية، بين كل من (Y) التي تمثل نسبة الجذور الرئيسية النافذة و(ρd) الكثافة الظاهرية والزمن (T) بالأيام. فكانت النتائج كما هي موضحة في الأشكال (1،2،3).



$$\hat{S} = -320.9 - 27.98\,\gamma_d^2 + 35.69T - 0.6858T^2$$

SR = 16.32 B=0.77

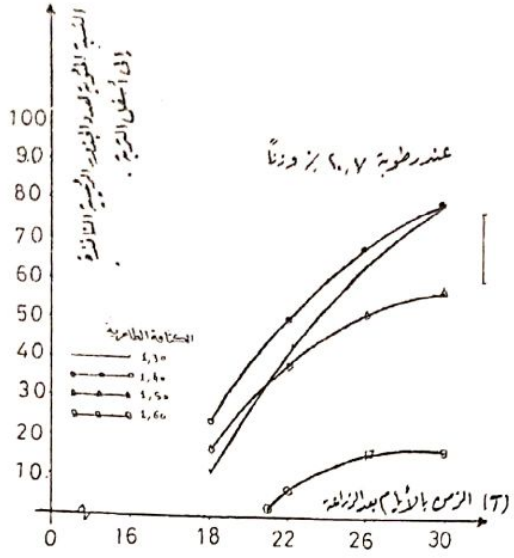
الشكل (1): يوضح العلاقة بين النسبة المئوية لعدد الجذور الرئيسية النافذة إلى أسفل التربة، والزمن (T) بالأيام عند الكثافات المدروسة والمستوى الرطوبي 14.2% وزناً أثناء الضغط.



$$\hat{S} = -112.995 + 6.8815\gamma_d + 13.4178T - 4.8715\gamma_d T$$

SR = 16.75 B = 0.76

الشكل (2): يوضح العلاقة بين النسبة المئوية لعدد الجذور الرئيسية النافذة إلى أسفل التربة والزمن (T) بالأيام عند الكثافات المدروسة والمستوى الرطوبي 17.2% وزناً أثناء الضغط.



$$\hat{y} = -2551.276 + 3121.93d - 1033.95d^2 + 33.24T - 0.275T^2 - 11.046dT$$

$SR = 16.58$ $\quad B = 0.75$

الشكل (3): يوضح العلاقة بين النسبة المئوية لعدد الجذور الرئيسية النافذة إلى أسفل التربة والزمن (T) بالأيام عند الكثافات المدروسة والمستوى الرطوبي 20.7% وزناً أثناء الضغط.

يتضح من الشكل (1) بأن نسبة الجذور النافذة إلى أسفل عينة التربة عند الرطوبة 14.2% تتناقص مع زيادة الكثافة الظاهرية حيث أنه بعد 27 يوماً من الزراعة، بلغت نسبة الجذور النافذة عند الكثافة 1.3 غ/سم^3 98%. انخفضت هذه النسبة إلى 80% عند الكثافة 1.5غ/سم^3 وإلى 70% عند الكثافة 1.6 غ/سم^3. أما بالنسبة للكثافات المحضرة عند الرطوبة 17.2 الشكل رقم (2) بلغت نسبة الجذور النافذة بعد 27 يوماً من الزراعة 90% عند الكثافة 1.3 غ/سم^3. وانخفضت عند الكثافة 1.6 غ/سم^3 إلى 56%. أما الانخفاض الشديد في نسبة الجذور النافذة فكان عند الرطوبة 20.7 والكثافة 1.6 غ/سم^3 حيث لم تتجاوز النسبة هنا 18% (الشكل 3). هذا ويلاحظ من خلال متوسط مجال الانحراف، بأنه يوجد اختلاف معنوي بين نسبة الجذور النافذة عند الكثافة 1.5 غ/سم^3 مقارنة مع الكثافة 1.3 غ/سم^3 وبين الكثافة 1.6 والكثافة 1.3 غ/سم^3 بعد 27 يوماً من الزراعة عند جميع مستويات الرطوبة المدروسة.

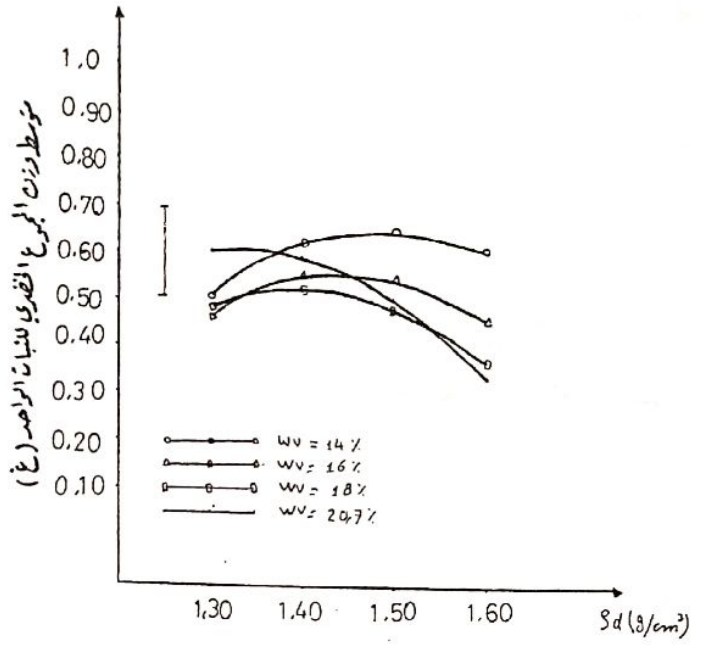
كما يلاحظ أيضاً من الأشكال (1،2،3) بأن نسبة الجذور النافذة تتأثر بشكل واضح بنسبة الرطوبة أثناء تحضير

الكثافة حيث أن هذه النسبة تقل مع زيادة الرطوبة أثناء تحضير الكثافة وخصوصاً عند الكثافات العالية. حتى انخفضت بشكل معنوي من الرقم 70% عند الكثافة 1.6 والرطوبة 14.2 إلى 56% عند الكثافة نفسها والرطوبة 17.2 واستمرت بالانخفاض المعنوي إلى 18% عند الكثافة نفسها والرطوبة 20.7. أما عند الكثافات المنخفضة 1.3-1.4 غ/سم^3 لم يكن هناك اختلاف معنوي في نسبة الجذور النافذة عند جميع مستويات الرطوبة المدروسة.

كما يلاحظ من الأشكال السابقة بأن زمن اختراق الجذور لهذه الطبقة تأخر عند الرطوبة العالية 20.7% بمقدار 3-4 يوماً مقارنة بالرطوبة 14.7%. إن انخفاض نسبة الجذور النافذة مع زيادة الكثافة الظاهرية وزيادة الرطوبة أثناء تحضير تلك الكثافة يعود إلى زيادة مقاومة التربة لاختراق الجذور من جهة وإلى التغيير الحاصل في توزيع النظام المسامي في التربة والذي يترافق مع نقصان المسام الهوائية بشكل خاص عند الكثافة العالية والرطوبة العالية أثناء التحضير وما يرافقه من نقصان الناقلية الهوائية للتربة.

3-3: تأثير الكثافة الناتجة عند مستويات الرطوبة المختلفة على متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد:

لقد تم حساب متوسط وزن النبات الواحد بعد 27 يوم من الزراعة وكانت النتائج بعد التقييم الإحصائي كما هي موضحة في الشكل رقم (4).



$$\hat{Y} = -10.478 + 0.0076WV^2 + 15.588Sd - 4.3166Sd^2 - 0.191WVSd$$

$$SR = 0.081 \qquad B = 0.65$$

الشكل (4): يبين العلاقة بين متوسط وزن النبات الواحد والكثافة الظاهرية الناتجة عند مستويات الرطوبة المختلفة.

يتضح من الشكل (4) بأن متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد يتزايد مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة بدءاً من الكثافة 1.3 ثم يبدأ بالتناقص خصوصاً عند الرطوبة المنخفضة للتربة أثناء تحضير الكثافة الظاهرية عند الرطوبة 14.2%. ولكن عند الرطوبة العالية (20.7%) نلاحظ أن متوسط وزن المجموع الخضري للنبات الواحد يتناقص باستمرار مع زيادة الكثافة الظاهرية للتربة.

كما يتضح من الشكل السابق أن الفروقات المعنوية في وزن المجموع الخضري تحصل عند الكثافات العالية المحضرة عند مستويات رطوبة عالية مقارنة مع الكثافات نفسها المحضرة عند مستوى رطوبي أقل. حيث يلاحظ كأنه يوجد خلاف معنوي في متوسط وزن المجموع الخضري عند الكثافة 1.6 المحضرة عند الرطوبة 14.2% مقارنة بمتوسط الوزن عند الكثافة نفسها (1.6) المحضرة عند رطوبة 20.7% حيث انخفض الوزن هنا حوالي 50%.

REFERENCES المراجع

- ERMICH, D, Auswirkungen des Raddrckes auf die Bodenstruktur and den pflanzenertrag and daraus abgeleitete agrotechnische Forderungen an den Techmikeinsatz bei der Saatbettbereitun. Wiss. Beitrage. MLU. Halle – Wittenberg. Halle (1980) 14 (S 22).
- Hartge. K.H.-; Horn, R: Einfuhrung in die Bodenphysik (BRD) Stuttgart – Enke – Verlag, (1991).
- Kunze, A., Petelkau, H. Richtwerte und Normative fur die Bodenbearbeitung nach Standortgruppen und Fruchtarten als Bestandteil Komplexer Verfahren zur Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit. Forschungsbericht, FZB – Munichерberg (1979).
- Petelkau, H. AusWirkungen von Schadverdichtungen auf Boden und Pflanzenertrag sowie Ma Bnahmen zu ihrer Minderung. Tag. Ber Akad. Land Wirtsf aft. – Wiss DDR. Berlin 227 (1984).
- Petelkau H. Kunze. A: Die Lagerungsdichte des Bodens als Wesentliche Steuerungsgroβe für die Bodenbearbeitung. Wissenschafliche Beiträge, MLU, Halle – Wittenberg 1980/14 (S 22).