تأثير الانضغاط على بعض الخواص الطبيعية للتربة

د. محمد عيسى موسى، د. فتحي محمد فرح ، م. عيادة محمد عمار هلاب

isamohammed @gmail.com

جامعة طرابلس - كلية الزراعة - قسم الهندسة الزراعية

الملخص

لدراسة تأثير الانضغاط الناتج عن حركة الجرارات على سطح التربة والتغيرات التي قد تطرأ على بعض الخواص الطبيعية في الحقل، أجريت هذه الدراسة في محطة أبحاث ومعامل كلية الزراعة، وكلية الهندسة جامعة طرابلس. أستخدم في هذه التجربة جرار زراعي نوع جذع 435 بقدرة (53.7 كيلو وات)، يزن 2590 كيلو جرام بدون ملحقات، بسرعة 5 كم/ ساعة. قسم الحقل إلى 10 أجزاء حسب عدد مرات مرور الجرار الزراعي، الجزء الأول لعدد مرات المرور صفر (بدون مرور) كمعاملة مقارنة، والأجزاء الباقية لمرات المرور (1- 9) والتي تمثل معاملات الانضغاط للتربة، وجمعت عينات لقياس كل من معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي، الكثافة الظاهرية، المسامية الكلية عند العمقين (0 – 15)، (15 – 30) سم لمعرفة تأثير المرور على كل منها. أشارت نتائج البحث إلى أن الانضغاط الناتج عن عدد مرات مرور الجرار الزراعي له تأثير واضح على جميع الخواص المدروسة عند مستوى معنوية 5% ، وكان الفارق عالي المعنوية بين المعاملات والشاهد، وسجل التأثير الأكبر للمرور على الكثافة الظاهرية في الطبقة السطحية وكان أعلى مستوى كثافة عند المرور الثاني والثالث والسادس والسابع مقارنة بالمرور (8، 9 ، 5 ، 4 ، 1)، كما لوحظ انخفاض في المسامية الكلية مقارنة بالمعاملة بدون مرور، حيث إن متوسط قيم المسامية الكلية للتربة انخفض من 46.53 % في معاملة المقارنة إلى 39.53 % بعد المرور الثاني ووصلت إلى 41.14 % بعد المرور السابع، وأن الأثر الذي أحدثه المرور على المسامية كان ظاهرا عند العمق (0 - 30) سم، هذا ولوحظ انخفاض عام في قيم متوسط التوصيل الهيدروليكي التشبعي مع زيادة عدد مرات المرور وكان هذا الانخفاض بعد المرور الثاني والرابع والسادس والسابع للجرار الزراعي.

الكلمات الدالة: الانضغاط، الكثافة الظاهرية، المسامية الكلية، الجرار الزراعي، التربة.

Abstract

This study was conducted at the Research Station and Laboratories of the Faculty of Agriculture and the Faculty of Engineering, University of Tripoli, in order to study the effect of traffic pressure on the surface of the soil and the changes that occur on some of the natural properties of the soil. In this experiment, an agricultural tractor was used Trunk type 435 with a power of (53.7 kilowatts) weighs 2590 kg without accessories, at a speed of 5 km / h. The field was divided into 10 parts according to the number of traffic times of the agricultural tractor, the first part was assigned for zero traffic (without traffic) as a control treatment, and the remaining parts for traffic times (1-9) represented the soil's compression effect. Samples were collected to measure saturated hydraulic conductivity coefficient, bulk density, and total porosity at two depths (0-15), (15-30) cm to know the effect of passing on each of them. It is clear on all the studied properties at a significant level of 5%, that the difference was highly

significant between the transactions and the control, and the greatest impact of traffic on the apparent density was recorded in the surface layer, and the highest intensity level was at the second, third and sixth passage and the seventh compared to the passage (8, 9, 5, 4, 1), A decrease in the total porosity was also observed compared to the treatment without passage, as the average values of the total porosity of the soil decreased from 46.53% in the control treatment to 39.53% after the second pass and reached 41.14% after the seventh pass, and the effect that the passage had on the porosity was Apparently at the depth (0-30) cm, a general decrease in the values of the average saturation hydraulic conductivity was observed with the increase in the number of passes, and this decrease was after the second, fourth, sixth and seventh traffic of the agricultural tractor.

Key words: compaction, bulk density, total porosity، agricultural tractor، the soi

المقدمة

تتأثر خصائص وسمات التربة بالعمليات الزراعية المختلفة، كعمليات الحرث، التنعيم، التسوية، البدر والحصاد، وتؤثر حركة الآلات والاستخدام المتكرر لها أثناء المواسم الزراعية على خواص التربة، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات سلبية كزيادة سحق التربة وتدهور بنائها، إضافة إلى أن المركبات والآلات الثقيلة الوزن تؤدي إلى زيادة الأحمال على محاور العجلات الدافعة للآلات والجرارات، والتي يتم نقلها إلى التربة عبر مساحات التلامس بين التربة والعجلات، مما ينتج عنه انضغاط التربة في طبقات متراصة بشكل مكثف بما يؤثر أو يحدث تغيراً ملحوظاً على الخصائص الفيزيائية للتربة الزراعية من حيث النفاذية، المسامية، حركة الماء وتغلغل الجذور، مسبباً في تدهور التربة بصورة دائمة، مما ينعكس سلبا على نمو النباتات، وبالتالي تدني المردود الاقتصادي خلاف المتوقع.

نظرا للتزايد المطرد في السكان وزيادة الطلب على الغذاء والكساء من الحبوب والأعلاف وغيرها من المحاصيل الرئيسة، أصبحت الميكنة الزراعية العصب الرئيس لعمل الكثير من المزارع التي تتميز بالإنتاج العالي كمّيّاً وكيفاً، حيث إن الآلات الزراعية تعمل على توفير الطاقة اللازمة لاستصلاح مساحات شاسعة من الأراضي للزراعة، وعلى تقليل الاعتماد على المجهود العضلي للإنسان والحيوان بشكل كبير، تقليل الحاجة إلى العمالة التي تحتاجها العمليات الزراعية باختلاف أنواعها، ومن جهة أخرى فهي تساهم في زيادة الإنتاج وتقليل الوقت اللازم للإنجاز.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير الانضغاط الناتج عن حركة الآلات الزراعية والتغيرات في بعض الخواص الطبيعية من خلال قياس التوصيل الهيدروليكي التشبعي، الكثافة الظاهرية والمسامية الكلية

الدراسات السابقة

يعرف انضغاط التربة بأنه ضغط على التربة بواسطة قوى خارجية، تقلل من حجم المسام مع زيادة كثافة التربة، وما يرتبط بها من تغييرات على بنية التربة وانخفاض في التوصيل الهيدروليكي (Harris،1971) و(Ouwerkerk و Soane ، 1994)، ويعرف أيضا الانضغاط بأنه تقليل حجم التربة بفعل قوى خارجية مسلطة عليها (Duiker، 2004)، يسبب ذلك في التأثير على بنائها فمثلا يقلل من مساميتها وقدرتها على الاحتفاظ بالماء ويحد من قدرتها على الرشح، كما أنه يزيد من كثافتها الظاهرية مما يزيد مقاومتها لاختراق جذور النباتات، بالإضافة إلى الحد من تيسر العناصر الغذائية للنبات الأمر الذي يؤدي في نهاية المطاف إلى تقليل إنتاجية المحاصيل المزروعة بالترب المتأثرة بالانضغاط.

يحدث الانضغاط عند مرور عجلات الآلات الزراعية على التربة حيث تعمل القوة المسلطة بواسطتها على رص جزيئات التربة، مقللة من حجم الفراغات البينية التي يشغلها الهواء والماء، وبالتالي تقلل التهوية والصرف بها مما ينعكس سلبا على نمو النباتات. كما وجد Singh وآخرون (2015) أن مرور العجلات يسبب في انضغاط الطبقة السطحية للتربة عند العمق 10 – 40 سم مؤديا إلى إعاقة نمو واختراق الجذور، واعتبر الرطوبة من أهم العوامل الأساسية المؤثرة على انضغاط التربة، حيث إن التربة تصل إلى أعلى قدر من الانضغاط عند السعة الحقلية المائية، كما وجد أنه كلما زاد محتوى التربة من المادة العضوية كلما قلت قابليتها للانضغاط.

الجدير بالذكر أنه ليست جميع حالات انضغاط التربة ضارة، فعلى الرغم من أنها مشكلة في بعض الترب إلا أنها قد تكون عاملا مساعدا في بعض الحالات، فالضرر يعتمد على بناء التربة وقوامها، مقدار الحمل المركز عليها، المحتوى الرطوبي للتربة أثناء الحركة وعدد مرات المرور في الحقل، ومن جهة أخرى يمكن الاستفادة من كبس التربة بعجلات آلات البذر في زيادة إمكانية الإنبات، إذ أنه يعطي تلامسا أفضل بين البذرة وحبيبات التربة، وكذلك من المعروف أن انضغاط التربة يقلل من مسامية التربة الأمر الذي قد يؤدي إلى زيادة قدرة الترب الرملية على الاحتفاظ بالماء، وخاصة إذا كانت هذه الطبقة على عمق أكبر من مستوى تعمق الجدور، فإنها تحد من التسرب العميق للماء في قطاع التربة مما يزيد من الماء المخزن في منطقة الجذور، فيمكن للنبات الاستفادة منه وبالتالي زيادة العائد (بشر، 2009).

يؤثر انضغاط التربة على نمو وإنتاجية النباتات، ففي دراسة قام بها Bluin وآخرون (2008) لمعرفة تأثير انضغاط التربة على نمو بادرات الصنوبر، باستخدام 4 مستويات من الرطوبة و 3 مستويات من انضغاط التربة، وجد أن أعلى قيمة لصلابة التربة بلغت 1275 كيلو بسكال عند أعلى مقدار من الانضغاط وجفاف التربة، كما لوحظ أن المحتوى الرطوبي للتربة له تأثير أكبر من تأثير

الانضغاط على قيم صلابة التربة، وأن قيمة 2500 كيلو بسكال أثرت على بادرات الصنوبر من حيث تقليل قطر الساق والكثافة الكلية للجذور وزيادة محتوى الأوراق من العناصر الغذائية مع زيادة الانضغاط للتربة الجافة، كما وجد Cokca وآخرون (2004) أنه مع بلوغ انضغاط التربة الطينية والمحتوى الرطوبي أعلى قيمة قلت زاوية الاحتكاك وزاد التماسك، كما لوحظ أنه لا يوجد تأثير لتبليل التربة على زاوية الاحتكاك.

وجد أن معدل الرشح للتربة يقل بسبب زيادة الانضغاط بنسبة تتراوح بين 77% - 99% وذلك عند دراسة الرشح لكل من تربة الغابات الطبيعية، المزروعة وتربة المراعي، وأن أعلى انضغاط يمكن أن يحدث للتربة عند عمق يتراوح بين 20 – 30 سم (Gregory وآخرون، 2006).

دراسة أخرى قام بها Ogunjirin وآخرون (2010) وجد أنه لتقليل انضغاط التربة فإنه يوصى باستخدام جرارات بضغط عجلات يتراوح بين 100 – 140 كيلو بسكال للتربة الرملية الطميية، كما أوصت الدراسة أنه لتفادي تأثير مرور الجرارات فإنه من الأفضل استخدام جرار متوسط الحجم لإحداث أقل تأثير عند الحراثة. وجد Richard وآخرون (2001) أن التربة المنضغطة لها القدرة على الاحتفاظ بالماء أعلى من غير المنضغطة، كما أن العلاقة بين التوصيل الهيدروليكي والمحتوى المائي لم تتأثر بالتغير في الكثافة الظاهرية.

بحث بشر (2009) لمعرفة تأثير حركة مرور الآلات الزراعية في التربة الرملية على الخواص الفيزيائية لهذه التربة عند الأعماق (0 – 15 سم)، (15 – 30 سم) و (30 – 45 سم)، ووجد انخفاض عام في قيم متوسط التوصيل الهيدروليكي التشبعي فكان 40 % من هذا الانخفاض بعد المرور الثاني، وسجل التأثير الأكبر للمرور على الكثافة الظاهرية في الطبقة السطحية فقد زادت قيمتها بعد المرور الثاني بنسبة 9%.

ذكر Baver وأخرون (1972) أن قيمة المسامية تعتمد بشكل كلي على قيمة الكثافة الظاهرية، حيث العلاقة تكون بينهما عكسية دائما، أي بزيادة قيمة الكثافة الظاهرية تقل المسامية في التربة مما يدل على ارتباطها الوثيق بتقنية الحراثة، لدا عدت المسامية إحدى الصفات الفيزيائية للتربة وبين أن المسامية تتغير بتغير قوام التربة وتركيبها.

أشار Hetzedmundo (2001) إلى أن كبس التربة يؤدي إلى انخفاض المسامية الكلية، وتغيرات في توزيع حجم مسامات التربة باتجاه حجم المسامات الدقيقة، ويتبع ذلك ارتفاع قيمة الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة في مقاومتها، وبالتالي سيترك أثاراً سلبية على الخصائص الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية للتربة، وعلى نسبة وحركة كل من الماء والهواء، وتغلغل الجذور في التربة. يمكن تخفيض الكثافة الظاهرية للتربة الرملية الطميية من (1.5 إلى 1.4 جم / سم ^{3}) بواسطة الحراثة واستخدام أوزان

الآلات المناسبة، وكذلك المحتوى الرطوبي الملائم أثناء تطبيق العمليات الزراعية داخل الحقل Meek وآخرون (1988).

أظهرت النتائج لدراسة تأثير كل من الحمل المحوري، شكل وحجم الإطار على انضغاط التربة الطينية المحروثة، أن لها أثراً كبيراً على انضغاط الطبقة تحت السطحية، وقد كانت الزيادة في قراءات مؤشر مقاومة الاختراق حوالي 35 % في كلتا الطبقتين، مع ملاحظة زيادة كبيرة على بعد 600 مم تصل إلى حوالي 50 %، وذلك بسبب زيادة الحمل المحوري. أما الكثافة الظاهرية للتربة فكانت أقل تأثيراً من مقاومة الاختراق للتربة Botta وأخرون (2006).

أشارت الكثير من الدراسات إلى العلاقة بين زيادة انضغاط التربة واستخدام الآلات الثقيلة، فقد بين Hillel (1982) أن استخدام الآلات الزراعية من الأسباب الرئيسة لانضغاط الترب، حيث وجد أن حوالي 80% من الانضغاط يحدث بعد المرور الأول للآلة على التربة المحروثة، كما بين Hillel (1982) أنه سنويا تتعرض حوالي 90% من المساحة السطحية للحقول الزراعية لمرور الآليات عند إعداد مهد البذرة، وقد أشار إلى أن التربة المثالية تحتوي على 50 % حبيبات صلبة، وحوالي 50 % فرغات مسامية، وأن الكثافة الظاهرية لهذه الترب تكون في حدود 1.3 جرام/ سم ^{3}. ذكر (البنا، 1990) أن نسبة الانزلاق تتأثر بعدة عوامل، منها مقاومة السحب، ونوع التربة ورطوبتها، وتغير السرعة العملية لوحدة العمل، الوزن الواقع على العجلات الخلفية، وارتفاع ذراع السحب، ونوع التربة ورطوبتها، وضغط الهواء داخل العجلات الدافعة، وحجم الإطار وشكله.

يؤثر المحتوى الرطوبي على الخواص الفيزيائية للتربة، من حيث تأثره بالأوزان وحركة المركبات داخل الحقل. وعند تأثير أي حمل خارجي على التربة يزداد انضغاط التربة بازدياد المحتوى الرطوبي (Spoor وGodwin، 1978).

استنتج Swan وآخرون (1987) أن تأثير انضغاط التربة على نمو النبات يختلف حسب الظروف الجوية والتربة، لوحظ أن عملية الانضغاط المحدودة كانت مفيدة تحت ظروف الجفاف، بينما كان الانضغاط الزائد مؤثراً على نمو المحصول تحت الظروف الرطبة، وأن الانضغاط المحدود للتربة أسفل منطقة البذور يزيد من المحتوى الرطوبي في التربة بالقرب من البذرة مما يسرع عملية الإنبات، كم أنه يشجع عملية صعود الماء الشعري من الترب تحت السطحية. وأشار العاني (2000) إلى أن نسبة الرطوبة المثلى لإجراء العمليات الزراعية في تربة مزيجه طينية غرينيه كانت عند المتوسط 19 %.

ولاحظ (Hakasson و Lipic، 1999) إن حراثة التربة عند نسبة رطوبة عالية يؤدي إلى تحطيم ورص حبيبات التربة وبالتالي تزداد كثافتها الظاهرية، مما يؤثر على ظهور إنبات البادرات ومعدل الإنبات خلال موسم النمو. وجد (Al-janobi و Zeineldin، 1997) النسبة المئوية للانزلاق

تزداد بزيادة السرعة العملية للجرار وانخفاض رطوبة التربة، حيث تقلل من فرصة تماسك العجلة مع الأرض فيزداد الانزلاق.

المواد وطرائق البحث

أجريت هذه الدراسة على مرحلتين استمرت من شهر مارس 2016 وحتى شهر ديسمبر 2017، بمحطة أبحاث كلية الزراعة ومعامل قسم التربة والمياه بكلية الزراعة، ومعامل كلية الهندسة جامعة طرابلس، على قطعة أرض مساحتها حوالي 1700 م ^{2}.

المرحلة الأولى: دراسة بعض الصفات العامة لتربة الحقل في الحالة الطبيعية، وذلك من خلال إجراء بعض الاختبارات المعملية والحقلية

قيست بعض الخواص الفيزيائية للتربة في الحالة الطبيعية، وذلك لتحديد مدى تأثر هذه التربة بالقوى الخارجية المؤثرة على سلوكها.

تحديد قوام التربة ودرجة التفاعل ودرجة التوصيل الكهربي

حفر قطاع للتربة بموقع التجربة وأخذت منه عينات تربة من العمقين (0- 15) و (15- 30) سم، وأجري على هذه العينات التحليل الميكانيكي للتربة بطريقتي الهيدروميتر والماصة لتحديد قوام التربة (يحي وسليمان، 1980). كما قيست درجة التوصيل الكهربي (EC)، وذلك باستخدام جهاز التوصيل الكهربي، وقيست أيضا درجة التفاعل (PH) بواسطة جهاز قياس درجة التفاعل(Blank وأخرون، 1965)،

اختبار القص المباشر للتربة

يستخدم لقياس خواص التربة (φ ، C)، يتم استخدامه في الترب الرملية أكثر من الترب المتماسكة. بناءً على نظرية كولومب للإخفاق فإن: $\tau = C + \delta \tan \varphi$ ..... (1).

الهدف من التجربة: تحديد زاوية الاحتكاك الداخلي بين حبيبات التربة، وتماسك التربة باستخدام صندوق القص.

المعدات والمواد المستخدمة: صندوق القص وهيكل التحميل، أجهزة التحميل والقياس للأحمال الرأسية، صحن لتجفيف و وزن التربة، عداد إزاحة، قمع، ميزان حساس، ساعة إيقاف. يتألف جهاز القص المباشر من نصفين، السفلي ثابت والعلوي متحرك متصل بساعة التحميل الأفقي وملحق به عدد من العدادات لقياس مقدار الحمل الأفقي الواقع على العينة ومتصل أيضا بساعة القوة العمودية، وطول ضلع المكعب 6 سم (شيخة 2018).

خطوات العمل: قيست الأبعاد الداخلية للصندوق وأخذت عينة من التربة الجافة في وعاء وسجلت كتلتها وكتلة الوعاء. وضعت العينة بعناية في صندوق القص بواسطة القمع بحيث سقطت التربة تحت تأثير وزنها، ، وبعد ذلك تم تعبئة الصندوق إلى العلامة المحددة (مسافة 2.3 سم)، من قاع الصندوق وتم الاستعانة بصفيحة لتسوية السطح ، ووزن الوعاء بعد تفريغ التربة إلى الصندوق وسجل وزن التربة التي في الصندوق . ثم ثبتت التربة المستعملة في كل الحسابات المتكررة حتى لا تتغير الكثافة، ووضعت تركيبة (جسر) التحميل على الصندوق بعد تثبيته في الجهاز ، وكذلك وضعت الأوزان المطلوبة حسب جدول الأوزان. شغلت ألة القص المباشر عند إزاحة أفقية ثابتة، وسجل الزمن باستخدام ساعة الإيقاف، حيث حسبت وسجلت عدد القراءات في مؤشر الجهاز التي حصل فيه انهيار العينة، وكررت الخطوات السابقة مع تغير قيم الأوزان في كل مرة، وتم حساب قيم إجهاد القص عند الانهيار في كل مرة والقيم المناظرة من الإجهادات العمودية.

الحسابات:

حمل القص = معامل الحلقة (2.13) × قراءة المؤشر (قيمة انهيار العينة)……..……(2)

)3(……..

$$\text{إجهاد القص} = \frac{\text{حمل القص}}{\text{مساحة العينة}}$$

وزن العينة = وزن العينة قبل التجربة – وزن العينة بعد التجربة……..(4)

وزن العينة = 949.5 – 115.7 جرام. = 833.3

)5(……..…..…..

$$\text{كثافة التربة} = \frac{\text{وزن العينة}}{\text{حجم الصندوق}}$$

$$\text{كثافة التربة} = \frac{115.7}{2.3\times 36)} \text{ جرام / سم}^3 = 1.397$$

بتطبيق قانون كولومب للإخفاق لتحيد مقدار التماسك الموجود في التربة وكذلك زاوية الاحتكاك الداخلي بين حبيبات التربة لتربة رملية طمييية القوام، وهذا قبل مرور الجرار الزراعي .

قانون كولومب للإخفاق:

$$\tau = C + \delta \tan \varphi$$

حيث τ إجهاد القص المباشر (كيلو جرام / سم ^{2}).

C مقدار التماسك في التربة عند الحمل صفر (كيلو جرام / سم ²).

δ معامل الاحتكاك بين حبيبات التربة أثناء الحركة التد حرجية أو الانزلاق(كيلو جرام / سم ²).

φ زاوية الاحتكاك الداخلي (درجة).

ومن قانون كولومب نجد أن:

$$C + 4\tan\varphi = 3.0156$$

$$C + 2\tan\varphi = 1.5982$$

بطرح المعادلتين نحصل على:

φ زاوية الاحتكاك الداخلي = 35.32°، C معامل تماسك التربة = 0.1813 كجم / سم ².

3.1.3. اختبار بروكتور القياسي (الدمك القياسي)

الهدف من تجربة الدمك القياسي، تحديد أقصى كثافة جافة والمحتوى المائي الأمثل لعينة من التربة عند جهد دمك قياسي قدره 594 كيلو جول / متر ³.

المواد المستخدمة: قالب دمك قياسي قطره (10.2 سم)، وارتفاعه (11.6 سم) (وحجمه 947.86 سم ³)، مطرقة بكتلة 2.5 كجم، وعاء كبير لخلط العينة، مسطرة لتسوية سطح التربة، ملعقة تربة، مدق مطاطي، قنينة للتحكم في زيادة المحتوى المائي، ميزان بحساسية 0.01 جرام، فرن تجفيف، وبوتقات تجفيف.

خطوات الاختبار: وزن قالب الدمك بقاعدته وأخذت عينة كتلتها 3 كجم من التربة المارة من المنخل رقم (4 مم) بعد تجفيفها وتفكيكها باليد، وتم خلط التربة بنسبة ابتدائية من الماء 3% من وزن العينة ، وبعد خلط التربة جيداً تم وضعها في القالب على ثلاث طبقات متساوية وكل طبقة دمكت 25 ضربة بحيث وزعت الضربات على العينة بالتساوي، وكان ارتفاع التربة في الطبقة الأخيرة أعلى بقليل من حافة القالب، ونزع الامتداد العلوي للقالب، وتم تسوية سطح العينة بالمسطرة والتخلص من كل التربة الموجودة خارج القالب، ونظف القالب جيداً ووزن مع التربة المدكوكة.

المرحلة الثانية: دراسة تأثير الانضغاط على بعض الخواص الطبيعية للتربة

أجريت هذه المرحلة من التجربة حقليا ومعمليا في الفترة من شهر سبتمبر 2016 م إلى شهر ديسمبر 2017 م.
العوامل الثابتة: عدد مرات المرور(1– 9)، العمق (0 – 15)، (15 – 30) سم، والصفات المدروسة: الكثافة الظاهرية، المسامية الكلية، التوصيل الهيدروليكي التشبعي.

صممت التجربة وفقاً للتصميم العشوائي الكامل Completely Randomize Design (CRD)، ووزعت المعاملات عشوائياً على جميع المكررات بداخل الحقل، وبناءً على تأثير العوامل المدروسة حللت البيانات إحصائيا. أجري تحليل التباين لبيانات التجربة باستعمال برنامج التحليل الإحصائي Statistical Analysis System (SAS, 2002)، وأستخدم اختبار دانكن متعدد الحدود (Duncan، 1955) لتحديد معنوية الفروق بين متوسطات المعاملات المختلفة عند مستوى معنوية 5%.

حللت بيانات الصفات المدروسة إحصائياً خلال فترة التجربة على أساس تجربة عامليه بعاملين أساسين وهما، تأثير عدد مرات مرور الجرار والعمق والتداخل بينهما على الخواص الفيزيائية للتربة والتي تتمثل في (الكثافة الظاهرية، المسامية الكلية، التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة)، بمعدل ثلاثة مكررات لكل معاملة، وكان النموذج الرياضي للتصميم التجريبي كالاتي:

$$Y_{ijk} = M + A_i + B_j + A\,B_{ij} + E_{ijk} \quad \text{.....(6)}$$

حيث إن:

Y_{ijk} الاستجابة المتغيرة في التجربة، والتي تشمل: التغير في الخواص الفيزيائية للتربة والمتمثلة في (الكثافة الظاهرية، المسامية الكلية، التوصيل الهيدروليكي التشبعي،).

M المتوسط العام.

Ai تأثير العمق على الخواص الفيزيائية للتربة (i = 1،2).

Bj تأثير عدد مرات المرور على الخواص الفيزيائية للتربة (j = 1،2،3،4،5،6،7،8،9،10).

Ai Bj تأثير التداخل بين العمق وعدد مرات المرور.

E_{ijk} الخطأ التجريبي.

خطوات تنفيذ التجربة

أستخدم في هذه التجربة جرار زراعي من نوع جدع 435 بقدرة 72 حصان ميكانيكي يزن 2590 كجم، بسرعة ثابتة قدرها 5 كم/ س.

قيست رطوبة التربة باستخدام طريقة تقدير كمية الماء في التربة، وأخذت عينات من التربة في حالتها الطبيعية بواسطة مجرفة وأسطوانة بعد عملية ري الحقل مباشرة ، و وضعت العينات في علب الرطوبة ونقلت إلى المعمل، حيث قيس الوزن الرطب لعينات التربة وجففت في الفرن على درجة حرارة 105 م° ولمدة 24 ساعة، وقيس لها الوزن الجاف بعد عملية التجفيف ، ومن خلال العلاقة التالية حسبت نسبة الرطوبة داخل الحقل (يحى وسليمان، 1980).

$$\text{نسبة الرطوبة} \ (\%) = \frac{\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}}{\text{الوزن الجاف}} \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

قسم الحقل بعد ريه إلى 10 أجزاء حسب عدد مرات مرور الجرار الزراعي، الجزء الأول لعدد المرور صفر (بدون مرور) كمعاملة مقارنة، والأجزاء الباقية لمرات المرور من 1 إلى 9، والتي تمثل معاملات الانضغاط للتربة ، حيث أُخذت ثلاثة مكررات لكل معاملة وذلك لحساب التوصيل الهيدروليكي التشبعي والكثافة الظاهرية والمسامية الكلية للتربة في المعمل.

التوصيل الهيدروليكي التشبعي

استخدمت طريقة الضغط الرأسي الثابت، باستخدام قانون دارسي.

قانون دارسي: يتمثل في أن معدل التدفق يتناسب مع الانحدار الهيدروليكي (Hubbert, 1956).

$$K = \frac{Q}{A\,T\,I} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \ (8)$$

حيث K معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي (سم / دقيقة).

Q حجم الماء المتجمع (سم ^{3}).

A مساحة مقطع الأنبوب (سم ^{2}).

I الميل الهيدروليكي.

T الزمن (دقيقة).

المواد المستخدمة في الاختبار: أنابيب بلاستيكية، أوراق ترشيح، حامل الأنابيب، ساعة إيقاف، قارورة زجاجية، مخبار مدرج، شاش، لصقة، مطرقة، لوحة خشبية.

خطوات التجربة: أخذت عينات من التربة في حالتها الطبيعية (الحقلية) ولجميع المعاملات والأعماق المذكورة سابقا، وذلك باستخدام أسطوانة بلاستيكية بطول 20 سم وقطر 5.4 سم، وضعت الأسطوانة على الطبقة السطحية للتربة وتم إدخالها داخل قطاع التربة، بواسطة مطرقة ولوحة خشبية ، حيث إن ارتفاع كتلة التربة داخل الأسطوانة لا يتعدى 15 سم، ووضعت قطعة من الشاش على نهاية العمود وشبعت العينات بالماء البارد من الأسفل لمدة 24 ساعة، حيث استخدمت طريقة عمود الماء الثابت وقيس حجم الماء المار خلال التربة عند زمن معين، وحسب معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي باستخدام المعادلة السابقة.

الكثافة الظاهرية

قيست الكثافة الظاهرية بطريقة اللب أو القالب (الأسطوانة). جمعت عينات من التربة التي تعرضت لمرور الجرار، غير مفتتة وفي وضعها الطبيعي، من العمقين (0 – 10) سم، (10 – 20) سم، كما مبين بالملحق (14)، بواسطة أسطوانة قطرها 5.63 سم وارتفاعها 3.76 سم، حيث جففت العينات معمليا بداخل الفرن على درجة حرارة 105 م° لمدة 24 ساعة، وحسبت الكثافة الظاهرية من خلال معرفة وزن كتلة التربة الجافة وحجم الأسطوانة التي استعملت لتجميع العينات من الحقل (يحى وسليمان، 1980).

$$\text{الكثافة الظاهرية (ث ظ)} = \frac{\text{وزن التربة (المجففة في الفرن)}}{\text{الحجم الكلي للعينة (جحم الأسطوانة)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

المسامية الكلية

المسامية الكلية للتربة في حالتها الطبيعية تعرف بأنها نسبة الحجم الكلي المشغول بالهواء (في حالة التربة جافة) بين ذرات التربة، ويمكن حسابها من معرفة الكثافة الفعلية والكثافة الظاهرية للتربة:

$$\text{المسامية الكلية (\%)} = \frac{\text{الكثافة الظاهرية} \quad (1 - \quad)}{\text{الكثافة الفعلية}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10) \times 100$$

النتائج والمناقشة

نتائج تحديد قوام التربة ودرجة التفاعل ودرجة التوصيل الكهربي

من نتائج التحليل الميكانيكي لعينة التربة عند العمقين (0-15) ،(15-30)، اتضح أن لها قوام طمي رملي، كما مبين بالجدول (1)، وكانت نتائج كل من المحتوى الرطوبي ودرجة التفاعل، درجة التوصيل الكهربي كما هو مبين بالجدول (2).

جدول 1. التحليل الميكانيكي للتربة.

العمق (سم)	الطين(%)	السلت(%)	الرمل(%)	القوام
0 - 15	4.916	24	71.084	رملي طمي
15 -30	5.036	20.60	74.364	رملي طمي

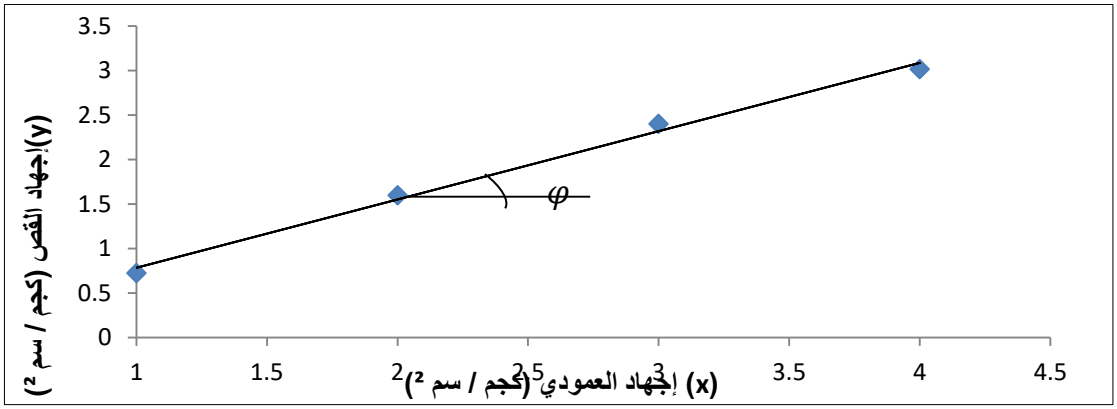
جدول 2. خصائص تربة الحقل.

العمق سم	تركيز الأس الهيدروجيني PH	تركيز الملوحةEC ms/h	نسبة الرطوبة%

8.33	0.16	8	15 – 0
7.05	1.58	7.3	30 – 15

نتائج اختبار القص المباشر للتربة

بناء على تطبيق قانون كولومب للإخفاق أستنتج مقدار التماسك الموجود في التربة وزاوية الاحتكاك الداخلي بين حبيبات التربة لتربة رملية طميية القوام، وهذا قبل مرور الجرار الزراعي وأوضحت النتائج أنه كلما زاد الإجهاد العمودي (زيادة الأثقال) ازداد إجهاد القص المباشر للتربة كما موضح في الشكل (1).



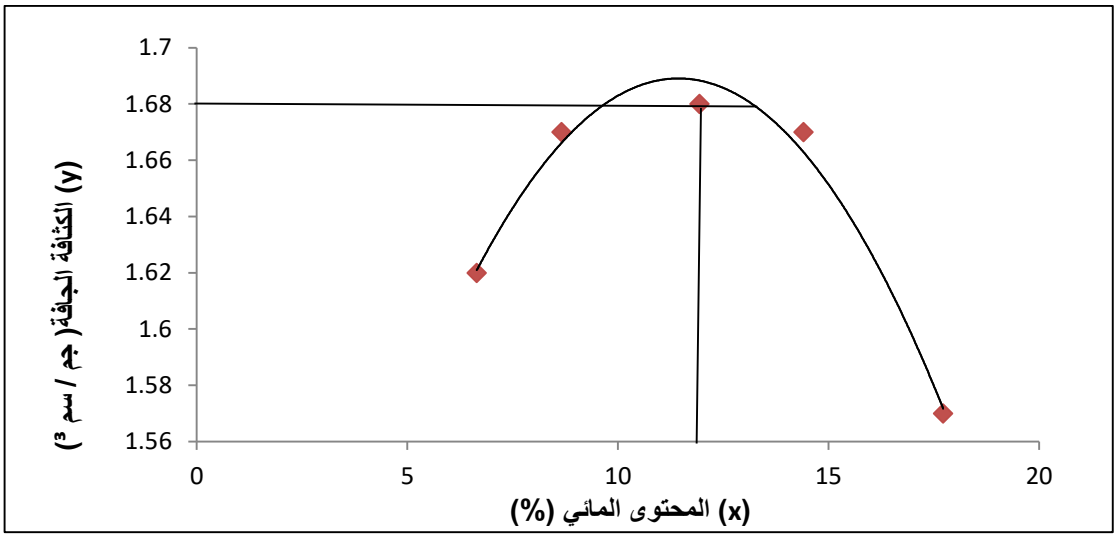
شكل 1 . العلاقة بين إجهاد القص والإجهاد العمودي لتربة الحقل.

نتائج اختبار بروكتر القياسي لتحديد أقصى كثافة جافة ونسبة المياه الحرجة المناظرة لها.

يبن الشكل (2) النتائج المعملية لاختبار بروكتور القياسي، حيث اعتمدت كفاءة الدمك على المحتوى المائي للتربة المدكوكة وجهد الدمك المبذول لوحدة الحجم من التربة. أظهرت نتائج التجربة أنه كلما زاد المحتوى الرطوبي ازدادت الكثافة الجافة للتربة حتى بلغت 1.68 جم /سم ³ كحد أقصى للكثافة الجافة عند محتوى رطوبة 11.94 %، ولوحظ أيضا انخفاض في قيم الكثافة الجافة بعد الاستمرار في زيادة المحتوى الرطوبي للعينة.

تأثير عدد مرات المرور على الكثافة الظاهرية للتربة

جدول (3) يبين تأثير عدد مرات المرور على الكثافة الظاهرية للتربة. أظهرت نتائج تحليل التباين أن عدد مرات مرور الجرار الزراعي كان له تأثير واضح على الكثافة الظاهرية للتربة عند العمقين (0 – 15)، (15 – 30) سم. اتضح وجود فروق معنوية عند المستوى 5 %، بين قيم متوسطات الكثافة الظاهرية للتربة، و بين جميع المعاملات والشاهد عند الأعماق المذكورة سابقاً.



شكل 2. العلاقة بين الكثافة الجافة والمحتوى الرطوبي لتربة الحقل.

يتضح من خلال نتائج الدراسة أن هناك تأثيراً لعدد مرات المرور على قيم الكثافة الظاهرية للتربة، حيث لوحظ زيادة قيمة متوسط الكثافة الظاهرية للتربة من 1.42 جم / سم ³ في معاملة المقارنة إلى 1.57 جم/ سم ³ بزيادة وصلت 10.56 % بعد المرور الثاني، بينما كانت نسبة الزيادة في الكثافة الظاهرية للتربة من المرور الثاني إلى التاسع 4 % وبلغت الكثافة 1.51 جم/سم ³. هذا وبلغ المتوسط العام للكثافة الظاهرية للطبقتين 1.53 جم / سم ³. يعود سبب التغير الذي طرأ على الكثافة الظاهرية إلى الانضغاط الناتج من حركة الجرار الزراعي على سطح التربة، حيث أدى إلى تراص وتشابك الحبيبات واندماجها وتقاربها من بعضها بعضاً وقلل من الفراغ البيني بين هذه الحبيبات مما زاد من كتلة التربة في وحدة المساحة وبالتالي ازدادت قيم الكثافة الظاهرية للتربة نتيجة هذا التغير. و أن التأثير الأكبر لعدد مرات المرور على الكثافة الظاهرية، كان في الطبقة السطحية للتربة (0- 15) سم، فقد زادت قيمة متوسط الكثافة الظاهرية من 1.40 جم / سم ³ في معاملة المقارنة إلى 1.52 جم / سم ³ بعد المرور التاسع بزيادة بلغت 8.6 %، وقد كان التأثير أكثر لمرات المرور الأولى، حيث زادت بعد المرور الثاني بنسبة 10.83 %، ووصلت الكثافة الظاهرية إلى 1.57 جم / سم ³. وقل تأثير المرور في الطبقة (15 – 30) سم، حيث كانت قيمة متوسط الكثافة الظاهرية 1.43 جم / سم ³ في معاملة المقارنة، وزادت إلى 1.50 جم / سم ³ بعد المرور التاسع بنسبة مقدارها 5%، وسجلت بنسبة 9 % بعد المرور الثاني حيث بلغت الكثافة 1.56 جم / سم ³.

سجل التأثير الأكبر للمرور على الكثافة الظاهرية في الطبقتين وكان أعلى مستوى كثافة عند المرور الثاني والثالث والسادس والسابع مقارنة بالمرور (1،4،9،5،8)، وهذا الاختلاف يمكن أن يفسر أنه ناتج عن بعض الظروف البيئية والحقلية وظروف التربة نفسها، مثل وجود عوائق أو أجسام غريبة داخل قطاع التربة والمتوقع أن تكون جدور وأغصان أشجار ونباتات أو فجوات هوائية كبيرة أو وجود

بعض القطع البلاستيكية تحت أعماق مختلفة من التربة مما أثر على حركة المرور للجرار، حيث أدى إلى انخفاض الكثافة عند بعض مرات المرور، هذا رغم الحركة المتكررة للجرار الزراعي عند كل مرة. تتفق النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة مع ما أوضحه (Botta وآخرون 2006)، من أن الكثافة الظاهرية تتأثر بعدد مرات المرور على التربة وتوصل إلى أن ازدياد عدد مرات المرور أثر على انضغاط الطبقة السطحية ونشأ عنه زيادة في الكثافة الظاهرية للتربة ومقاومة اختراق الجذور لها.

جاءت هذه النتائج متوافقة مع النتائج التي حصل عليها (جاسم وأخرون، 1992) حيث أشار إلى تأثير نظم الحراثة المستعملة على الكثافة الظاهرية، فقد وجد ارتفاعاً في قيم الكثافة الظاهرية للتربة، عند استخدام الآت الحراثة التقليدية (المحراث المطرحي القلاب – القرصي الدوار) مقارنة بنظام الزراعة بدون حراثة، ويعود سبب ذلك إلى الدك الحاصل من قبل المعدات الزراعية الثقيلة وتدهور تجمعات التربة لمعاملات الحراثة التقليدية. تتفق أيضاً مع ما توصل إليه الباحث (AL Ghazal, 2000) من أن الكثافة الظاهرية تزداد مع عدد مرات المرور، وكذلك تتفق مع نتائج (Materachera, 2009). حيث وجد أن الكثافة الظاهرية في الحقول التي تعرضت لحركة المركبات، كانت أكبر بكثير مقارنة بالحقول غير المحروثة.

جدول 3 . تأثير مرات المرور على متوسط الكثافة الظاهرية للتربة (جم/ سم ^{3}).

عدد مرات المرور	العمق		المتوسط
	0 – 15 سم	15 – 30 سم	
0	1.40(±0.047)	1.43(±0.077)	d 1.42
1	1.48(±0.015)	1.47(±0.071)	c 1.48
2	1.57(±0.031)	1.56(±0.032)	a 1.57
3	1.53(±0.057)	1.55(±0.054)	b 1.54
4	1.54(±0.023)	1.46(±0.027)	bc 1.50
5	1.48(±0.024)	1.55(±0.018)	bc 1.52
6	1.55(±0.067)	1.57(±0.014)	ab 1.56
7	1.55(±0.013)	1.56(±0.032)	ab 1.56
8	1.50(±0.029)	1.56(±0.029)	bc 1.53
9	1.52(±0.050)	1.5(±0.072)	bc 1.51

*المتوسطات التي تحمل حروفاً متوافقة لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5 %.

نتائج تأثير عدد مرات المرور على المسامية الكلية للتربة

جدول (4) يبين تأثير عدد مرات المرور على المسامية الكلية. أظهرت نتائج تحليل التباين أن عدد مرات مرور الجرار الزراعي كان له تأثير واضح على المسامية الكلية للتربة عند العمقين (0 –

15)، (15 – 30) سم. حيث اتضح وجود فروق معنوية عند المستوى 5 %، بين قيم متوسطات المسامية الكلية للتربة، و بين جميع المعاملات والشاهد عند الأعماق المذكورة سابقاً. من خلال نتائج الدراسةيتضح أن هناك تأثيراً لعدد مرات المرور على قيم المسامية الكلية للتربة، حيث انخفضت قيمة متوسط المسامية الكلية للتربة من a 46.53 % في معاملة المقارنة إلى d 39.53 %، بنسبة وصلت 15.04 % بعد المرور الثاني، بينما كانت نسبة الانخفاض في المسامية الكلية للتربة من المرور الثاني إلى التاسع 8.83 % وبلغت المسامية bc 43.02 %، وكان المتوسط العام للمسامية الكلية للطبقتين .%46.67

يعود سبب التغير الذي طرأ على المسامية الكلية إلى الانضغاط الناتج من حركة الجرار الزراعي على سطح التربة، حيث أدى إلى تراص وتشابك الحبيبات واندماجها، وتقاربها من بعضها بعضا وقلل من الفراغ البيني بين هذه الحبيبات مما زاد من كتلة التربة في وحدة المساحة، الأمر الذي أدى إلى انخفاض قيم المسامية الكلية للتربة نتيجة هذا التغير. وأن التأثير الأكبر لعدد مرات المرور على المسامية الكلية سجل في الطبقة السطحية للتربة بشكل عام ، فقد لوحظ انخفاض في قيمة متوسط المسامية الكلية من 47.07 % في معاملة المقارنة إلى 42.66 % بعد المرور التاسع، بنسبة انخفاض بلغت 9.37 %، وقد كان التأثير أكثر لمرات المرور الأولى، حيث زادت بعد المرور الثاني بنسبة 13.70 %، ووصلت المسامية الكلية إلى 40.62 %. كما لوحظ انخفاض المسامية الكلية عند الطبقة الثانية (15– 30) سم لمرات المرور، حيث انخفض متوسط قيم المسامية الكلية للتربة من a 46 % في معاملة المقارنة إلى d 38.44 % بعد المرور الثاني بنسبة 16.43%، ووصلت المسامية إلى cd 41.29 % بعد المرور السابع. ومن خلال النتائج الواردة لهذه الدراسة ،تبين أن الأثر الذي أحدثه المرور على المسامية كان ظاهرا عند العمق (0 - 30) سم وكان أعلى مستوى انخفاض للمسامية قد سجل عند المرور الثاني والسادس والسابع مقارنة بالمرور (1،4،9،5،8،3)، وهذا الاختلاف يمكن أن يكون ناتجاً عن بعض الظروف البيئية والحقلية وظروف التربة نفسها، مثل وجود عوائق أو أجسام غريبة داخل قطاع التربة والمتوقع أن تكون جدور وأغصان أشجار ونباتات أو فجوات هوائية كبيرة أو وجود بعض القطع البلاستيكية تحت أعماق مختلفة من التربة، أثرت على حركة مرور الجرار، حيث أدت إلى اختلاف بين قيم المسامية الكلية من حيث الانخفاض المتوقع لها في بعض مرات المرور وعدم انخفاضها في بعضها الآخر، رغم الحركة المتكررة للجرار الزراعي عند كل مرة.

تُعد هذه النتائج متفقة مع ما توصل إليه (Hetzedmundo ,2000) حيث لاحظ أن الانضغاط (كبس التربة) يؤدي إلى انخفاض المسامية الكلية، وتغيرات في توزيع حجم مسامات التربة باتجاه حجم المسامات الدقيقة وهذا يؤثر على نسبة وحركة كل من الماء والهواء، وتغلغل الجذور في التربة. وفي دراسة أخرى قام بها (Seker وآخرون 2000) فلقد لوحظ نقص في المسامية الكلية والمسامية الهوائية ومسامية الصرف للتربة وذلك مع زيادة عدد

مرات مرور الجرار في الحقل، كما توصل (Varsa وآخرون 1997) إلى أن لعمق الحراثة علاقة عكسية مع مسامية التربة، حيث لاحظوا أن زيادة عمق الحراثة يؤدي إلى انخفاض نسبة مسامية التربة.

جدول 4. تأثير مرات المرور على متوسط المسامية الكلية للتربة (%).

عدد مرات المرور	العمق		المتوسط
	0 – 15 سم	15 – 30 سم	
0	(±1.77) 47.07	(2.90 ±) 46	a 46.53
1	(±0.56) 44.17	(0.96 ±) 45.44	ab 44.80
2	(1.15 ±) 40.62	(1.19 ±) 38.44	d 39.53
3	(2.16 ±) 42.21	(2.04 ±) 41.47	d 41.84
4	(2.07 ±) 41.23	(1.00 ±) 44.74	bc 42.98
5	(0.89 ±) 44.15	(0.68 ±) 41.58	bc 42.86
6	(2.53 ±) 41.49	(0.53 ±) 40.79	cd 41.14
7	(0.51 ±) 41.68	(1.21 ±) 41.29	cd 41.14
8	(1.08 ±) 43.47	(1.08 ±) 41.18	c 42.32
9	(1.88 ±) 42.66	(2.73 ±) 43.39	bc 43.02

* المتوسطات التي تحمل حروفاً متوافقة لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5 %.

تأثير عدد مرات المرور على التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة

جدول (5) يبين تأثير عدد مرات المرور على التوصيل الهيدروليكي التشبعي. أظهرت نتائج تحليل التباين أن عدد مرات مرور الجرار الزراعي كان له تأثير واضح على التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة عند العمقين (0 – 15)، (15 – 30) سم، حيث اتضح وجود فروق معنوية عند المستوى 5%، بين قيم متوسطات التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة، وبين جميع المعاملات والشاهد عند الأعماق المذكورة سابقاً، ولوحظ انخفاض عام في قيم متوسط التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة مع زيادة عدد مرات المرور، حيث انخفض متوسط التوصيل الهيدروليكي التشبعي من 3.33 متر/ يوم في معاملة المقارنة إلى 2.01 متر/ يوم بنسبة وصلت 39.64 % بعد المرور الثاني ، بينما كانت نسبة الانخفاض في التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة من المرور الثاني إلى السابع 26.87 % وبلغت قيمته 1.47 متر/ يوم، وكان المتوسط العام للتوصيل الهيدروليكي التشبعي للطبقتين 1.56 متر/ يوم.

يفسر التغير الذي طرأ على التوصيل الهيدروليكي التشبعي بأن سببه الانضغاط الناتج من حركة الجرار الزراعي على سطح التربة، حيث أدى إلى تراص وتشابك الحبيبات واندماجها وتقاربها من بعضها بعضاً، حيث قلل من الفراغ البيني بين هذه الحبيبات مما زاد من كتلة التربة في وحدة المساحة،

الأمر الذي أدى إلى انخفاض قيم التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة نتيجة هذا التأثير. وكان التأثير الأكبر لعدد مرات المرور مع العمق على التوصيل الهيدروليكي التشبعي، سجل في الطبقة السطحية للتربة بشكل عام، فقد لوحظ انخفاض في قيمة متوسط التوصيل الهيدروليكي من 3.69 متر/ يوم في معاملة المقارنة إلى 1.51 متر/ يوم بعد المرور السابع، بنسبة انخفاض بلغت 59.08 %، وقد كان التأثير أكبر لمرات المرور الأولى، وأن 46.88 % سجلت بعد المرور الثاني، وبلغ التوصيل الهيدروليكي التشبعي 1.96 متر/ يوم، كما لوحظ انخفاض التوصيل الهيدروليكي التشبعي عند العمق (15– 30) سم لبعض مرات المرور، حيث انخفض متوسط قيم التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة من a 2.96 متر/ يوم في معاملة المقارنة إلى 2.05 متر/ يوم بعد المرور الثاني بنسبة 30.74 %، ووصل إلى 1.51متر/ يوم بعد المرور السابع.

هذا ومن خلال النتائج الواردة لهذه الدراسة ،تبين أن الأثر الذي أحدثه المرور على التوصيل الهيدروليكي التشبعي كان ظاهرا عند العمقين (0-15 سم)، (15 – 30) سم، وكان أعلى مستوى انخفاض، سجل عند المرور الثاني والرابع والسادس والسابع مقارنة بالمرور (1،3،5،8،9)، وكان الفرق معنوياً بين كل المعاملات والشاهد. وهذا يتفق مع ما توصل إليه بشر (2009) وهو: أن عدد مرات مرور الجرار الزراعي تؤدي إلى انخفاض في قيم التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة.

جدول 5. تأثير مرات المرور على متوسط التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة (متر/يوم).

عدد مرات المرور	العمق		المتوسط
	0 – 15 سم	15 – 30 سم	
0	3.69 (± 0.50)	2.96 (± 0.38)	a 3.33
1	2.33 (± 0.27)	2.08 (± 0.25)	b 2.21
2	1.96 (± 0.29)	2.05 (± 0.14)	bcd 2.01
3	2.18 (± 0.19)	2.05 (± 0.36)	cd 2.12
4	1.77 (± 0.14)	1.92 (± 0.38)	ecd 1.85
5	1.86 (± 0.11)	1.55 (± 0.30)	def 1.71
6	1.42 (± 0. 10)	1.29 (± 0.14)	g 1.36
7	1.51 (± 0. 09)	1.42 (± 0.28)	fg 1.47
8	1.51 (± 0.09)	1.73 (± 0.05)	efg 1.62
9	2.33 (± 0.27)	1.92 (± 0.24)	bc 2.13

* المتوسطات التي تحمل حروفاً متوافقة لا توجد بينها فروق معنوية عند مستوى 5 %.

الاستنتاجات و التوصيات

تلبيد الترب الزراعية يؤدي إلى نتائج أولية، نتيجة لتأثير الأحمال الخارجية الناتجة عن الحركة المرورية للمركبات والآلات داخل الحقول الزراعية.

نستنتج من خلال ما تقدم في هذا البحث، أن هناك تأثيرا معنويا لحركة الآلات على الخصائص الفيزيائية للتربة، وهذا التأثير كان واضحا عند مرات المرور الأولى للجرار الزراعي داخل الحقل، عند مستوى رطوبة 7.5 %. ازدادت قيم الكثافة الظاهرية بزيادة عدد مرات المرور وكانت الزيادة واضحة عند المرور الأول والثاني والثالث والسادس مقارنة بباقي مرات المرور والمعاملة بدون مرور (الشاهد)، وأستنتج أيضا أن عملية الانضغاط التي تعرضت لها الطبقة السطحية للتربة كانت سببا في التقليل من حجم المسامات الهوائية والمائية للتربة (المسامية الكلية) مما أدى إلى انخفاض في خاصية التوصيل الهيدروليكي التشبعي للتربة الرملية طمييية القوام.

بناءً على ما ذُكر نوصي بالآتي:

1. إجراء دراسات أخرى على مختلف الترب الليبية لمعرفة مدى تأثرها بالضغوط الناتجة عن حركة المركبات داخل الحقول الزراعية.
2. إجراء دراسات موسعة في هذا المجال لمعرفة الأثار السلبية لانضغاط التربة على نمو النبات.
3. تنظيم أوقات دخول الآلات الزراعية للحقل، لتفادي الأضرار التي تسببها هذه المركبات، وكذلك يجب على المزارع أن يعير الاهتمام للمحتوى الرطوبي بالتربة، والحمل المحوري وحجم الإطار عند المرور.
4. حرث التربة على أعماق متفاوتة للتخلص من الطبقة الصماء المتكونة تحت سطح التربة نتيجة الحراثة المستمرة على عمق ثابت.
5. إعادة بقايا المحاصيل الزراعية للتربة (بقايا المحصول السابق)، لتحسين قوام وبناء وخصوبة التربة.
6. إضافة الأسمدة العضوية والتسميد الأخضر.
7. التأكيد على الدراسات السابقة بعدم استخدام الآلات الزراعية الثقيلة في إجراء عمليات خدمة التربة نظرا لتأثيرها على دمج طبقات التربة (كبس التربة).
8. إتباع الدورة الزراعية المناسبة تبعا لنوع التربة (تعاقب المحاصيل الزراعية) تشمل المحاصيل ذات الجذور العميقة التي تساعد على امتصاص العناصر الغذائية والماء من أعماق مختلفة في التربة نتيجة تعاقب محاصيل ذات أنظمة جذرية مختلفة حيث تقوم المحاصيل ذات الجذور العميقة بامتصاص العناصر الغذائية من الأعماق وتترك متبقياتها بعد الحصاد في الطبقات السطحية لكي تستفيد منها النباتات ذات الجذور السطحية.

9. تجنب العمل عندما تكون التربة عالية الرطوبة (السعة الحقلية المائية).
10. التخلص من ظاهرة التلبيد في الحقول الزراعية والأضرار التي تسببها، من تغير في الخواص الفيزيائية للتربة، يساعد على توفير بيئة صالحة لنمو النبات، وهذا يؤدي إلى زيادة الإنتاجية، وبالتالي يزداد العائد الاقتصادي للمزارع.

6. المراجع

البنا، عزيز رمو. 1990. معدات تهيئة التربة. مدرية دار الكتب للطباعة والنشر. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. جامعة الموصل.

العاني، عبدالله نجم؛ العاني، فراس سالم والجاسم، عبد الستار محمد. 2006. تأثير الرطوبة وعمق الحراثة في تربة مزيجية طينية غرينية في أداء الجرار المسرف (DT-75) مع المحراث المطرحي الرباعي القلاب. مجلة العلوم الزراعية العراقية. الندوة العلمية للآفاق المستقبلية لتطوير المكننة الزراعية. 1: 34-48.

جاسم، عبدالرزاق عبداللطيف؛ رشيد، محمد علي وحميد عبيد كاظم. 1992. تأثير بعض المحاريث على صفات التربة الفيزيائية وإنتاج فول الصويا. وقائع المؤتمر العلمي التقني. بغداد.

شيخة، خالد غسان. 2018. تجارب مختبر جيولوجيا وميكانيكا التربة. مختبر التربة.

يحي، الطاهر أحمد وسليمان، أبو بكر خليل. 1984. الدليل العملي لخواص التربة الطبيعية. منشورات جامعة طرابلس.

Al-Janobi, A. A. and Zeineldin, A. M. 1997. Development of soil bin test facility for soil tillage tool interaction studies. Agricultural. College of University. of King Saad. Kingdom of Saudi Arabia Agricultural Research, 72: 4-10.

Al-Ghasal, A. A. 2002. Effect of tractor wheel compaction on bulk density and infiltration rate of a loamy samd soil in Saudi Arabia. Dept. of Agricultural Engineering, College of Agriculture and Food Sciences, King Faisal University, 14: 24 – 33.

Baver, L .D., Walter, Gardner, H. and Garder., R. 1972 Soil Physical. 4th ed. John Willely and Sons, Inc New York, 508.

Blank, C. A., Evans, D. D., Ensminger, L. E., White, G .L and Clark, F. E. 1965. Methods of soil analysis, parts. Chemical and microbiological properties. Agronomy Journal, 9: 157-177.

Boluin, V. M., Schmidt, M. G., Bulmer, C. E. and. Krzic, M. 2008. Effects of compaction and water content on lodgepole pine seedling growth. Forest Ecology and Management, 255:2444-2452.

Botta, G. F., Jorajuria, D., Rosatto, H. and Ferrero, C. 2006. Light tractor traffic frequency on soil compaction in the rolling pampa region of Argentinia. soil and tillage research, 86 (1): 9-14.

Cokca, E., Erol, O. and Armangil, F. 2004. Effects of compaction moisture content on the shear strength of unsaturated clay. Geotechnical and Geological Engineering, 22:285.

Duncan, D. B. 1955. Multiple range and Multiple F Tests. Biometrics, 1 (1):1-42.

Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H. and. Miller, J. L. 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. Soil and Water Conservation Society, 61(3):117-124.

Hakasson, I. and Lipic. I. 1999. The degree of compaction studies paper accepted for publication in. Soil and Tillage Research, 53: 71-85.

Harris, W.L. 1971. The soil compaction process. Compaction of Agricultural soils, American Society Agricultural Engineers.

Hetzedmundo, J. 2001. Soil compaction potential of tractors and other heavy agricultural machines used in chile. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 32 (3): 38-42.

Hillel, D. 1982. Introduction of soil physics. San Diego. Academic Press, 364.

Hubbert, M. K. 1956. Darcy's law and the field equations of the flow of underground fluids. International Association of Scientific Hydrology. Bulletin American Institute of Mining. Metallurgical and Petroleum Engineers. Trans, 207: 222-239.

Materachera, S. A. 2009. Tillage and tractor traffic effects on soil compaction in horticultural fields used for Peri urban agriculture in a semi-arid environment of the North West Province, South Africa. Soil and Tillage Research, 103 (1): 11-15.

Meek, B. D., Rechel, E. R., Carter, L. M. and Detar, W. R. 1988. Soil compaction and its effect on alfalfa in zone production systems. Soil Science. A. J, 51: 236.

Ogunjirin, O. A., David, J. and. Kasali, M. Y. 2010. Effect of tyre inflation pressure and tractor passes on sandy loam soil. National Centre for Agricultural Mechanization.

Richard, G. I., Cousin, J. F., Sillon, A., Bruand and J. Guerif. 2001. Effect of compaction on the porosity of silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. European journal of Soil Science, 52:49-58.

SAS. 2002. Statistical Analysis System (SAS) 9.00. SAS Institute In., Cary, NC, USA.

Seker, C. and Isildar, A. A. 2000. Effects of wheel traffic porosity and compaction of soil. Turk Tarim ve Ormancilik Dergisi. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24(1):71-77.

Singh, J., Salaria, A. and Kaul, A. 2015. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. International of food, Agriculture Veterinary Science, 5(1):23-32.

Soane, B. D., van Ouwerkerk, C. 1994. Soil compaction problems in world Agriculture. In: Soil Compaction in Crop Production. ed. Soane, B. D. and Van Ouwerkerk, C. Developments in Agricultural Engineering, 1–21.

Spoor, G., Gowdin, R. J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. Journal of Agricultural Engineering Research, 23: 243-258.

Swan, J. B., Moncrief, J. F. and Voorhees, W. B. 1987. Soil compaction causes effects and control. Agricultural Bulletin. University of Minnesota Extension Service, 3115.

Varsa, E.C., Chong, S.K., Abolaji, J. O., Farquhar, D. and Olsen, F. J. 1997. Effect of deep tillage on soil physical characteristics and corn root growth and production. Soil and Tillage Research, 43 (3) : 219-228.

Wolkowski, R., Lowery, B. 2008. Soil compaction: causes concerns and cures. University of Wisconsin Extension.