تصميم وتصنيع آلة تهيئة التربة المركبة وتقييم أدائها الميكانيكي والاقتصادي وتأثيرها في بعض خصائص التربة ومؤشرات نمو وحاصل الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)

أطروحة مقدمة إلى

مجلس كلية الزراعة– جامعة البصرة

وهي جزء من متطلبات نيل درجة دكتوراه فلسفة في علوم التربة والموارد المائية
(إدارة تربة – معدات تهيئة التربة)

من قبل

عقيل جوني ناصر

ماجستير علوم زراعية (مكننة زراعية)

2004

بإشراف

أ.د. داخل راضي نديوي
قسم علوم التربة والموارد المائية

أ.د. صادق جبار محسن
قسم المكائن والآلات الزراعية

ربيع الثاني 1445 هـ

تشرين الثاني 2023 م

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

قَالَ تَعَالَىٰ: ﴿وَهُوَ ٱلَّذِىٓ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ
نَبَاتَ كُلِّ شَىْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُّخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُّتَرَاكِبًا
وَمِنَ ٱلنَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّٰتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ
وَٱلزَّيْتُونَ وَٱلرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَٰبِهٍ ۗ ٱنظُرُوٓا۟ إِلَىٰ ثَمَرِهِۦٓ إِذَآ
أَثْمَرَ وَيَنْعِهِۦٓ ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكُمْ لَءَايَٰتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾﴾

صدق الله العلي العظيم

سورة الانعام الآية 99

توصية الاستاذين المشرفين على الرسالة

نشهد ان اعداد هذه الأطروحة قد تم تحت اشرافنا في قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة البصرة، وهي جزء من متطلبات نيل شهادة دكتوراه فلسفة في علوم التربة والموارد المائية (ادارة تربة – آلات تهيئة التربة)

التوقيع :

الاسم: أ.د داخل راضي نديوي

المرتبة العلمية: استاذ متمرس

التاريخ: / / 2023

التوقيع :

الاسم : أ.د. صادق جبار محسن

المرتبة العلمية: استاذ

التاريخ : / /2023

توصية رئيس قسم علوم التربة والموارد المائية

بناءً على التوصية المقدمة من الاستاذين المشرفين أعلاه، أحيل هذه الأطروحة إلى لجنة المناقشة لدراستها وبيان الرأي فيها.

التوقيع:

رئيس القسم: هيفاء جاسم حسين

المرتبة العلمية: أستاذ

التاريخ : / /2023

إقرار لجنة المناقشة

نحن أعضاء لجنة المناقشة الموقعين أدناه نشهد بأننا قد أطلعنا على الاطروحة المقدمة من قبل طالب الدكتوراه عقيل جوني ناصر والموسومة **(تصميم وتصنيع آلة تهيئة التربة المركبة وتقييم أدائها الميكانيكي والأقتصادي وتأثيرها في بعض خصائص التربة ومؤشرات نمو وحاصل الذرة الصفراء Zea mays L.)** وقد ناقشنا الطالب في محتواها وفيما له علاقة بها ووجدناها جديرة بالقبول لنيل درجة دكتوراه فلسفة في علوم التربة والموارد المائية (إدارة تربة- معدات تهيئة التربة)

رئيس اللجنة

الاسم: أ.د. علي حمضي ذياب

كلية الزراعة/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

عضواً

الاسم: أ.د. حسين ظاهر طاهر

كلية الزراعة/ جامعة كركوك

التاريخ / 11 / 2023

عضواً

الاسم: أ.م.د. سالم عجر بندر

كلية الزراعية/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

عضواً

الاسم: أ.م.د. رحيم خزعل مصاول

كلية الهندسة/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

عضواً

الاسم: أ.م.د. خولة رشيج حسن

كلية الزراعية/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

عضواً ومشرفاً

الاسم: أ.متمرس: داخل راضي نديوي

كلية الزراعة/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

عضواً ومشرفاً

الاسم: أ.د. صادق جبار محسن

كلية الزراعة/ جامعة البصرة

التاريخ / 11 / 2023

مصادقة عميد كلية الزراعة

الاسم: ا.م.د. رعدان هاشم محسن

عميد كلية الزراعة/ جامعة البصرة

الاهـــــــــداء

إلى سيد الخلق وخاتم النبيين، نبي الرحمة، سيدنا محمد صلى الله عليه وآلة وسلم. الذي جاء بالهدى والنور، وكان رحمة للعالمين.

إلى والدي العزيز (رحمه الله) ووالدتي العزيزة، اللذين ربوا وسطعوا طريقي بالحب والتوجيه، فكلما كبرت رؤيتي للعلم، كلما زاد امتناني لكما.

إلى إخوتي، الذين شاركوني رحلة الحياة وكانوا دعما لا يضاهى، فأنتم شركاء النجاح والفرح.

إلى شريكة حياتي زوجتي الحبيبة، التي كانت دافعا وإلهاما لي في كل خطوة، فأنت قوة لا تضاهى، شكرا لك على الالتزام والتفاني، وعلى كل جهد تبذلينه لجعل حياتنا مليئة بالهناء والتوازن. أنت الرفيقة الوفية، والصديقة الحنونة، ولا يمكنني إلا أن أعبر بكل تواضع عن امتناني العميق

إلى بناتي العزيزات، الاتي أضفن لحياتي السرور والهدف، فأنتن مصدر الفخر والسعادة.

اهدي هذا الجهد المتواضع

عقيل

شكـر وتـقـديـــر

الحمد لله الذي ما خُتم جهد الا بعونه، ولا تمّ سعي الا بفضله وتوفيقه، والصلاة على خير خلقه النبي محمد الاكرم (صلى الله عليه وسلم واله وسلم). الحمد لله تبارك وتعالى الذي وفقني لإنجاز هذه الاطروحة،

أتقدم بجزيل الشكر والتقدير الى الاستاذين الفاضلين الأستاذ المتمرس الدكتور داخل راضي نديوي والأستاذ الدكتور صادق جبار محسن لتفضلهما بالأشراف على هذه الاطروحة وما قدما من جهود كبير وعون وافر ووقت لإنجازها طوال فترة الإشراف عليها ولما قدماه لي من نصائح سديدة وإرشادات قيمة وتشجيع مستمر، فقد كانا منهلاً للعطاء، فجزاهم الله خير الجزاء.

كما أتقدم بوافر الشكر والتقدير الى السادة رئيس واعضاء لجنة المناقشة وهم الأستاذ الدكتور علي حمضي ذياب والأستاذ الدكتور حسين ظاهر طاهر والأستاذ المساعد الدكتور سالم عجر بندر والأستاذ المساعد الدكتوره خوله رشيج حسن والأستاذ المساعد الدكتور رحيم خزعل مصاول لما أبدوه من ملاحظات قيمة لإخراج اطروحتي بشكلها النهائي.

أتقدم بشكري وامتناني لرئيس واساتذة قسم علوم التربة والموارد المائية لما قدموه من تسهيلات طيلة فترة الدراسة والبحث، واتقدم بشكري وامتناني الى الأساتذة والموظفين في قسم المكائن والآلات الزراعية لما بذلوه من جهود لإكمال مستلزمات البحث.

كما أتقدم بجزيل الشكر والعرفان الى الدكتور أكرم عبد الدائم احمد والدكتور مروان نوري رمضان والأستاذ قصي سمير صباح والأستاذ علي حسين عواد لما قدموه من دعم ومساعده طيلت فترة الدراسة.

أخيراً وليس آخراً لابد لي من تقديم الشكر الى افراد اسرتي الذين ما انفكت دعواتهما للباري عز وجل بتوفيقي، كما أقدم شكري وتقديري إلى كل من مد لي يد العون أو ساهم بالجهد أو رأي أو مشورة وفاتني ذكر أسمه فألتمس منهم العذر فجزأهم الله خير الجزاء.

"وختاماً لا يسعني إلا أن أسال الله التوفيق ، أنه خير معين وانه نعم المولى ونعم النصير"

والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آلة الطيبين الطاهرين.

عقيل جوني ناصر

الخلاصة

تَمَّ تصميم وتصنع آلة الحراثة المركبة (آلة تهيئة التربة المركبة) في ورش قسم المكائن والآلات الزراعية في كلية الزراعة–جامعة البصرة. وتم تقييم الأداء الميكانيكي للآلة ومركباتها وتأثيرها في بعض خصائص التربة ونمو وحاصل الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)، فضلاً عن حساب المؤشرات الاقتصادية للوحدة الميكنية. استعملت آلة الحراثة المركبة بخمس تراكيب (معاملات حراثة) تضمنت الآتي: التركيب الأول (T1) يتكون من محراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومحراث حفار ومشط قرصي وحادلة، التركيب الثاني (T2) يتكون من محراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم ومحراث حفار ومشط قرصي وحادلة، التركيب الثالث (T3) يتكون من محراث حفار يعمل على عمق 20 سم+ المحراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 60 سم، التركيب الرابع (T4) يتكون من محراث حفار يعمل على عمق 20 سم+ المحراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 40 سم، التركيب الخامس (T5) يتكون من محراث حفار ومشط قرصي، أجريت ثلاث تجارب في محطة أبحاث كلية الزراعة / جامعة البصرة في موقع كرمة علي/ الواقعة بين دائرة عرض°50 ′30 شمالاً وخط طول °74 ′47 شرقاً في تربة ذات نسجة طينية اثناء الموسم الزراعي 2021. تم حساب مؤشرات الأداء الميكانيكي (قوة السحب والنسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة ومعدل زمن الحراثة والكفاءة الحقلية ومعدل استهلاك الوقود ودليل تفتيت التربة) لآلة الحراثة المركبة وتراكيبها (T1، T2، T3، T4، T5) تحت مستويين من السرعة الأمامية (1.5 و3 كم ساعة$^{-1}$). وتَمَّ تحليل نتائج التجربة وفقاً لتصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RBCD) بأسلوب القطع المنشقة وقورنت متوسطات المعاملات باختبار أقل فرق معنوي (RLSD) عند مستوى احتمالية 0.05. كما نفذت تجربه حقلية زراعية لدراسة تأثير معاملات الحراثة (T1، T2، T3، T4، T5) والســـرعة الأمامية (1.5 و3 كم ساعة$^{-1}$) في خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية (معدل القطر الموزون والكثافة الظاهرية للتربة والمسامية الكلية ومقاومه التربة للاختراق والمحتوى الرطوبي والإيصالية المائية المشبعة والإيصالية الكهربائية للتربة) ونمو حاصل نبات الذرة الصفراء (ارتفاع النبات والوزن الجاف للمجموع الخضري وحاصل الحبوب) اثناء فترتين بدأيه ونهاية موسم نمو النبات ولثلاث اعماق للتربة (0–20 سم و20–40 سم و40–60 سم). اما مؤشرات نمو النبات وحاصل الحبوب فقد

تم قياسه نهاية موسم نمو النبات، تم تحليل نتائج الصفات المدروسة وفقاً لتحليل التباين باستعمال تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأسلوب القطع المنشقة وقورنت متوسطات المعاملات باختبار أقل فرق معنوي (RLSD) تحت مستوى احتماليه 5%. كما تم حساب المؤشرات الاقتصادية لتراكيب إله الحراثة المركبة (T1، T2، T3، T4، T5) عند سرعتين اماميتين (1.5 و3 كم ساعة$^{-1}$) وقورنت ايضا مع ما يقابلها من نظم الحراثة التقليدية (M1، M2، M3، M4، M5) على التوالي، إذ تضمنت تجربة التحليل الاقتصادي حساب التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج والعائد الكلي والعائد الصافي ونسبه الفائدة. وأظهرت الدراسة النتائج الأتية:

1- سجلت معاملة الحراثة (T1) أعلى قوة سحب ونسبة انزلاق وقدرة مفقودة ومعدل زمن الحراثة وأعلى تكاليف كلية للوحدة الميكنية وتكاليف كلية للإنتاج والعائد الكلي وصافي العائد ونسبة الفائدة قياساً بمعاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5).

2- حققت السرعة الأمامية المنخفضة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أقل قوة سحب ونسبة انزلاق وقدرة مفقودة ومعدل زمن الحراثة وأقل كفاءة حقلية ودليل تفتيت للتربة وأعلى عائد اجمالي وصافي عائد ونسبة فائدة قياسا بالسرعة الأمامية العالية (3 كم ساعة$^{-1}$) بنسبة 13.53% و19.88% و12.41%على التوالي. قياساً مع السرعة الأمامية العالية 3 كم ساعة$^{-1}$.

3- كان للتداخل بين تراكيب آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية للجرار تأثير معنوي في جميع مؤشرات الأداء الميكانيكي والمؤشرات الاقتصادي المحسوبة.

4- تفوقت معاملات الحراثة (T1، T2، T3، T4, T5) بتقليل معدل زمن الحراثة بنسبة 17 و47.87 و53.55 و 49.56 و63.72% وخفض استهلاك الوقود بنسبة 54.86 و60.42 و 36.77 و39.77 و 42.20% قياساً مع ما يقابلها من نظم الحراثة التقليدية (M1، M2، M3، M4، M5) على التوالي. كما حققت معاملات الحراثة (T1، T2، T3، T4، T5) أقل تكاليف كلية للوحدة الميكنية وتكاليف كلية للإنتاج وأعلى عائد كلي وصافي العائد ونسبة الفائدة قياساً مع ما يقابلها من نظم الحراثة التقليدية (M1، M2، M3، M4، M5) على التوالي.

5- حققت معاملة الحراثة (T1) أعلى معدل قطر موزون ومسامية كلية وايصالية مائية مشبعة وأقل محتوى رطوبي وايصالية كهربائية للتربة ومقاومة التربة للاختراق قياساً بتراكيب آلة الحراثة المركبة الأخرى (T2، T3، T4، T5).

6- سجل عمق التربة السطحي (D1) أعلى قيمة لمعدل القطر الموزون عند بداية الموسم بنسبة بلغت 14.33 و31.41% قياساً مع عمقي التربة D2 وD3 على التوالي، كما حقق عمق التربة السطحي (D1) أعلى مسامية وايصالية مائية وأقل كثافة ظاهرية ومحتوى رطوبي ومقاومة التربة للاختراق وايصالية كهربائية للتربة عند بداية ونهاية موسم النمو قياساً مع عمقي التربة D2 وD3.

7- ازدادت قيم معدل القطر الموزون والكثافة الظاهرية والمحتوى الرطوبي ومقاومة التربة للاختراق عند نهاية موسم مقارنةً مع بداية موسم النمو بنسبة بلغت 14.18 و4.69 و21.05 و43.53% للصفات على التوالي، وانخفضت قيم المسامية الكلية للتربة والايصالية الكهربائية للتربة والإيصالية المائية للتربة بنسبة بلغت 4.50 و29.87 و43.60% للصفات على التوالي عند نهاية الموسم قياساً ببدايةُ الموسم.

8- حققت معاملة الحراثة (T1) أعلى معدل لارتفاع النبات والوزن الجاف للمجموع الخضري وحاصل حبوب إذ بلغ 175.21 سم و16.58ميكا غرام هكتار$^{-1}$ و6.28 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ على التوالي.

9- حققت السرعة الأمامية البطيئة (1.5 كم ساعة$^{-1}$) أعلى معدل لارتفاع النبات والوزن الجاف للمجموع الخضري وحاصل حبوب قياساً بالسرعة الأمامية العالية (3 كم ساعة$^{-1}$) بنسبة 2.44% و5.14% و15.61% على التوالي.

10- كان للتداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية تأثير معنوي في ارتفاع النبات والوزن الجاف للنبات وحاصل حبوب.

الموضوع	رقم الصفحة
1- المقدمة	1
2- مراجعة المصادر	4
2-1- مؤشرات الأداء الحقلي للوحدة الميكنية:	4
2-1-1- قوة السحب	4
2-1-1-1- تأثير نوع المحراث في قوة السحب	4
2-1-1-2- تأثير السرعة الامامية في قوة السحب	5
2-1-2- النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة	6
2-1-2-1- تأثير نوع المحراث في النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة	7
2-1-2-2- تأثير السرعة الأمامية في النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة	8
2-1-3- معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة	9
2-1-3-1- تأثير نوع المحراث في معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة	10
2-1-3-2- تأثير السرعة الأمامية في معدل الزمن اللازم لإتمام عمليات حراثة التربة	11
2-1-4- الكفاء الحقلية	11
2-1-4-1- تأثير نوع المحراث في الكفاءة الحقلية	11
2-1-4-2- تأثير السرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية	12
2-1-5- معدل استهلاك الوقود	13
2-1-5-1- تأثير نوع المحراث على معدل استهلاك الوقود	13
2-1-5-2- تأثير السرعة الأمامية على معدل استهلاك الوقود	15
2-1-6- دليل تفتيت التربة	16
2-1-6-1- تأثير نوع المحراث في دليل تفتيت التربة	16
2-1-6-2- تأثير السرعة الأمامية في دليل تفتيت التربة	17
2-2- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة	18
2-2-1- معدل القطر الموزون (MWD)	18
2-2-1-1- تأثير نوع المحراث في معدل القطر الموزون (MWD)	19
2-2-1-2- تأثير السرعة الأمامية في معدل القطر الموزون (MWD)	20
2-2-2- الكثافة الظاهرية ومسامية التربة	21

2-2-2-1- تأثير نوع المحراث في الكثافة الظاهرية ومسامية التربة	21
2-2-2-2- تأثير السرعة الأمامية في الكثافة الظاهرية ومسامية التربة	23
2-2-3- المحتوى الرطوبي للتربة	24
2-2-3-1- تأثير نوع المحراث في المحتوى الرطوبي للتربة	24
2-2-3-2- تأثير السرعة الأمامية في المحتوى الرطوبي للتربة	25
2-2-4- مقاومة التربة للاختراق	26
2-2-4-1- تأثير نوع المحراث في مقاومة التربة للاختراق	26
2-2-4-2- تأثير السرعة الأمامية في مقاومة التربة للاختراق	27
2-2-5- الإيصالية المائية المشبعة للتربة (Ks)	28
2-2-5-1-تأثير نوع المحراث في الإيصالية المائية المشبعة للتربة	29
2-2-5-2-تأثير السرعة الأمامية في الإيصالية المائية المشبعة للتربة	30
2-2-6- الإيصالية الكهربائية للتربة (EC)	31
2-2-6-1- تأثير نوع المحراث في الإيصالية الكهربائية للتربة	31
2-2-6-2- تأثير السرعة الأمامية في الإيصالية الكهربائية للتربة	32
2-3- صفات النمو وحاصل النبات	33
2-3-1- تأثير نوع المحراث في بعض صفات النمو والحاصل	33
2-4- المؤشرات الاقتصادية	36
2-4-1- التكاليف الثابتة	36
2-4-2- التكاليف المتغيرة (تكاليف التشغيل)	37
2-4-2-1- تكاليف الوقود Fuel costs	37
2-4-2-2- تكاليف الزيوت	37
2-4-2-3- تكاليف الصيانة والتصليح	37
2-4-2-4- أجور العمال	37
2-4-3- التكاليف الكلية	38
2-4-3-1- تأثير نوع المحراث في التكاليف الكلية	38
2-4-3-2- تأثير السرعة الأمامية في التكاليف الكلية	39
3- المواد وطرائق العمل	41
3-1- تصميم وتصنيع الة تهيئة التربة المركبة	41

3-1-1- الهيكل	43
3-1-2- المحراث الحفار	44
3-1-3- المحراث تحت سطح التربة	44
3-1-4- الامشاط القرصية	45
3-1-5- الحادله	47
3-3 – موقع التجربة	51
3-4- الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية الأولية للتربة المستعملة في التجارب	51
3-5- التجربة الميكانيكية	57
3-6- الأجهزة والمعدات المستعملة في التجربة الميكانيكية	58
3-6-1- الجرارات الزراعية	58
3-6-2- جهاز قياس قوة السحب (الخلية الوزنية)	58
3-6-3 جهاز قياس معدل استهلاك الوقود	59
3-7- قياس مؤشرات الأداء الميكانيكي	59
3-7-1 – قياس قوة السحب	59
3-7-3 – قياس معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$)	60
3-7-4 –النسبة المئوية للانزلاق	61
3-7-5 – القدرة المفقودة بالانزلاق	61
3-7-6- الكفاءة الحقلية	62
3-7-7- معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة	62
3-7-8 – دليل تفتيت التربة	62
3-7-10- مقارنة بعض مؤشرات الأداء الميكانيكي لآلة الحراثة التربة المركبة مع نظم الحراثة التقليدية	63
3-8- التجربة الحقلية الزراعية	65
3-9- تهيئة التربة وأجراء العمليات الحقلية	65
3-10- قياساًت التجربة الحقلية الزراعية	66
3-10-1- خصائص التربة	66
3-10-2- صفات النبات	66
3-10-2-1- ارتفاع النبات	66
3-10-2-2- الوزن الجاف للمجموع الخضري للنبات	67

3-10-2-3- حاصل الحبوب	67
3-11- التكاليف الاقتصادية	67
3-11-1 : التكاليف الثابتة	67
3-11-1-1- الاندثار (الاستهلاك)	67
3-11-1-2-الفائدة على الاستثًمَّار	68
3-11-2-3- الضرائب والتامين والمأوى	69
3-11-2- التكاليف المتغيرة	69
3-11-2-1- تكاليف الوقود	69
3-11-2-2- تكاليف الزيوت	70
3-11-2-3- تكاليف الصيانة والتصليح	70
3-11-2-4- أجور العمال	70
3-11-3- التكاليف الكلية للجرار	71
3-11-4- التكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة	71
3-11-5- إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية	72
3-11-6- إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية وتكاليف الإنتاج	72
3-11-7- العائد الكلي	73
3-11-8- العائد الصافي	73
3-11-9- نسبة الفائدة	73
3-12 تصميم التجارب والتحليل الاحصائي	74
4-النتائج والمناقشة	75
4-1- قوة السحب	75
4-2- النسبة المئوية للانزلاق	79
4-3- القدرة المفقودة بالانزلاق	82
4-4- معدل زمن الحراثة	85
4-5- الكفاءة الحقلية	89
4-6- معدل استهلاك الوقود	92
4-7- دليل تفتيت التربة	96
4-2- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة	100
4-2-1 معدل القطر الموزون	100

4-2-2- الكثافة الظاهرية للتربة	109
4-2-3- المسامية الكلية للتربة	118
4-2-4- المحتوى الرطوبي للتربة	127
4-2-5- مقاومة التربة للاختراق	134
4-2-6- الايصالية المائية المشبعة	142
4-2-7- الايصالية الكهربائية للتربة	151
4-3- مؤشرات نمو نبات الذرة الصفراء	159
4-3- 1- ارتفاع النبات	159
4-3- 2- الوزن الجاف للنبات	162
4-3-3- حاصل الحبوب	165
4-4- المؤشرات الاقتصادية	168
4-4-1- التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج	169
4-4-2- العائد الكلي والعائد الصافي	175
4-4-3- نسبة الفائدة	180
5- الاستنتاجات والتوصيات	187
5-1- الاستنتاجات	187
5-2- التوصيات	188
6-المصادر	190
6-1- المصادر العربية	190
6-2- المصادر الاجنبية	193
7- الملاحق	208

قائمة الاشكال		
رقم الشكل	عنوان الشكل	رقم الصفحة
1	منظر امامي لآلة الحراثة المركبة	47
2	منظر رأسي لآلة الحراثة المركبة	48
3	منظر جانبي لآلة الحراثة المركبة	48
4	منظر جانبي (أ) ومنظر رأسي (ب) للمحراث الحفار و محراث تحت سطح التربة	49
5	أ- منظر جانبي ب- ورأسي للمشط القرصي	49
6	منظر جانبي أ- لمحراث تحت سطح التربة ب- للمحراث الحفار	50
7	أ- منظر جانبي ب- منظر رأسي للحاذلة	50
8	تأثير معاملات الحراثة في قوة السحب (كيلو نيوتن)	76
9	تأثير السرعة الامامية في قوة السحب (كيلو نيوتن)	77
10	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في قوة السحب (كيلو نيوتن).	78
11	تأثير معاملات الحراثة في النسبة المئوية للانزلاق (%)	79
12	تأثير السرعة الامامية في النسبة المئوية للانزلاق (%).	80
13	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في النسبة المئوية الانزلاق (%).	81
14	تأثير معاملات الحراثة في القدرة المفقودة (كيلو واط)	83
15	تأثير السرعة الامامية في القدرة المفقودة (كيلو واط).	84
16	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في القدرة المفقودة (كيلو واط)	85
17	تأثير معاملات الحراثة في معدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$).	86
18	تأثير السرعة الامامية في معدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$).	87
19	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في معـــدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$)	88
20	مقارنة معدل زمن الحراثة بتراكيب آلة الحراثة المركبة ونظم الحراثة التقليدية	89
21	تأثير معاملات الحراثة في الكفاءة الحقلية (%).	90
22	تأثير السرعة الامامية في الكفاءة الحقلية (%).	91
23	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في الكفاءة الحقلية (%).	92
24	تأثير معاملات الحراثة في معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$).	93
25	تأثير السرعة الامامية في معدل استهلاك الوقود(لتر هكتار$^{-1}$).	94

26	تأثير التداخل معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة والسرعة الامامية في معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$).	95
27	مقارنة معدل استهلاك الوقود لتراكيب آلة الحراثة المركبة ونظم الحراثة التقليدية (لتر هكتار$^{-1}$).	96
28	تأثير معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة في تفتيت التربة (ملم).	98
29	تأثير السرعة الامامية في دليل تفتيت التربة (ملم).	98
30	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة والسرعة الامامية في ديل تفتيت التربة (ملم).	100
31	تأثير معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	101
32	تأثير السرعة الامامية في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	102
33	تأثير عمق التربة في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	103
34	تأثير بداية ونهاية موسم نمو المحصول في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	108
35	تأثير معاملات الحراثة في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	110
36	تأثير السرعة الامامية في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	111
37	تأثير عمق التربة في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	112
38	تأثير فترتي بداية ونهاية موسم النمو في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$)	118
39	تأثير معاملات الحراثة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	119
40	تأثير السرعة الامامية في المسامية الكلية للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	120
41	تأثير عمق التربة المسامية الكلية للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	121
42	تأثير فترة موسم النمو في المسامية الكلية للتربة (%).	127
43	تأثير معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	128

44	تأثير السرعة الامامية في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	129
45	تأثير عمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	130
46	تأثير فترة موسم نمو المحصول في المحتوى الرطوبي للتربة.	133
47	تأثير معاملات الحراثة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	135
48	تأثير السرعة الامامية في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	136
49	تأثير عمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	137
50	تأثير فترة موسم النمو في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$).	142
51	تأثير معاملات الحراثة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	143
52	تأثير السرعة الامامية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	144
53	تأثير عمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	145
54	تأثير فترة موسم نمو المحصول في الايصالية المائية المشبعة للتـــربة (م يوم$^{-1}$).	150
55	تأثير معاملات الحراثة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيمينز م$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	152
56	تأثير السرعة الامامية في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$)	153
57	تأثير عمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيمنز م$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.	154
58	تأثير فترة موسم النمو في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيمنز م$^{-1}$).	158
59	تأثير معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في ارتفاع النبات (سم).	160
60	تأثير السرعة الامامية في ارتفاع النبات (سم).	161
61	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في ارتفاع النبات (سم).	162
62	تأثير معاملات الحراثة في الوزن الجاف للنبات (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).	163
63	تأثير السرعة الامامية في الوزن الجاف للنبات (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).	164
64	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في الوزون الجاف للنبات	165
65	تأثير معاملات الحراثة في حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).	166

66	تأثير السرعة الامامية في حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).	**167**
67	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في حاصل الحبوب	**168**
68	تأثير معاملات الحراثة في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار$^{-1}$).	**171**
69	تأثير معاملات الحراثة في التكاليف الكلية للإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).	**171**
70	تأثير السرعة الامامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار$^{-1}$).	**172**
71	تأثير السرعة الامامية في التكاليف الكلية للإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).	**172**
72	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار$^{-1}$).	**174**
73	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في التكاليف الكلية للإنتاج (التكاليف الكلية للانتاج (دينار هكتار$^{-1}$).	**174**
74	تأثير معاملات الحراثة في العائد الكلي (دينار هكتار$^{-1}$).	**176**
75	تأثير معاملات الحراثة في العائد الصافي (دينار هكتار$^{-1}$).	**177**
76	تأثير السرعة الامامية في العائد الكلي (دينار هكتار$^{-1}$).	**178**
77	تأثير السرعة الامامية في صافي العائد (دينار هكتار$^{-1}$).	**178**
78	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في العائد الكلـــــــي (دينار هكتار$^{-1}$).	**179**
79	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في العائــد الصـــافي (دينار هكتار$^{-1}$).	**180**
80	تأثير معاملات الحراثة في نسبة الفائدة.	**181**
81	تأثير السرعة الامامية في نسبة الفائدة.	**182**
82	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في نسبة الفائدة.	**183**
83	مقارنة التكاليف الكلية (دينار هكتار$^{-1}$) لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية.	**185**
84	مقارنة العائد الصافي (دينار هكتار$^{-1}$) لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية	**186**

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
1	نتائج اختبار الشد لأجزاء آلة الحراثة المركبة	42
2	التركيب الكيميائي لأجزاء آلة الحراثة المركبة	42
3	الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية الأولية للتربة المستعملة في التجارب	52
4	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في معدل القطر الموزون (ملم) بداية ونهاية موسم النمو	104
5	تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في معدل القطر الموزون (ملم) بداية ونهاية موسم النمو	105
6	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في معدل القطر الموزون (ملم) بداية ونهاية موسم النمو	107
7	تأثير التداخل بين معاملات والسرعة الامامية في الكثافة الظاهرية للتـــربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو	113
8	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الكثافة الظاهرية للتـــــربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو	115
9	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الكثافة الظاهرية للتربـــــة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم نمو	116
10	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في كثافة التربة الظاهرية (ميكاغرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو	117
11	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو	122
12	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو	124
13	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو	125
14	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو	126

15	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) في نهاية موسم النمو	131
16	تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو	132
17	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو	138
18	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في مقاومة التربة للاختـــراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو	139
19	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية موسم النمو	141
20	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو	146
21	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو	147
22	تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (ملم يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو	148
23	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو	149
24	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الإيصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو	155
25	تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية ونهاية الموسم	156
26	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في الايصـــالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية موسم النمو	157
27	تكاليف الإنتاج المتغيرة لمعاملة آلة الحراثة المركبة (دينار هكتار $^{-1}$) .	169

قائمة الملاحق

رقم الملحق	العنوان	رقم الصفحة
1	صور مختلفة لآلة الحراثة المركبة	208
2	الاجهادات المختلفة على ساق المحراث تحت سطح التربة	209
3	الاجهادات المختلفة على ساق المحراث الحفار	210
4	شكل امامي لآلة الحراثة المركبة	211
5	شكل رأسي لآلة الحراثة المركبة	211
6	شكل جانبي لالة الحراثة المركبة	212
7	شكل رأسي للمشط القرصي	212
8	منظور للحاذلة وهيكلها	212
9	جهاز قياس قوة السحب (خلية الحمل Load Cell)	213
10	جهاز قياس استهلاك الوقود وهو مثبت على الجرار	213
11	جهاز قياس مقاومة التربة للاختراق الرقمي	214
12	جهاز النخل الكهربائي.	214
13	مخطط لجهاز قياس قوة التماسك والاحتكاك الداخلي للتربة.	215
14	العلاقة بين الإجهاد الأفقي والإجهاد العمودي لأعماق التربة.	215
15	مخطط لجهاز قياس الالتصاق والاحتكاك ما بين التربة والمعدن	216
16	العلاقة بين الإجهاد العمودي والإجهاد الأفقي لحساب الالتصاق.	216
17	قيم F من جداول تحليل التباين لصفات التجربة الميكانيكية.	217
18	قيم (t) المحسوبة لمعدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة واستهلاك الوقود	217
19	التحليل الاحصائي لاختبار F لخصائص التربة في بداية موسم النمو	217
20	التحليل الاحصائي لاختبار F لخصائص التربة في نهاية موسم النمو	218
21	قيم t المحسوبة لتأثير فترة النمو في صفات التربة المدروسة	218
22	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في معدل القطر الموزون (ملم) بداية ونهاية موسم النمو	218
24	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة عمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة بداية موسم النمو	219

25	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة بداية موسم النمو	220
26	تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو	220
27	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية موسم النمو	221
28	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) نهاية موسم النمو	221
29	تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) نهاية موسم النمو	222
30	التحليل الاحصائي لاختبار F لصفات النبات المدروسة	222
31	تأثير معاملات الحراثة والسرعة الامامية والتداخل بينهما في التكاليف الكلية للجرار (دينار هكتار$^{-1}$)	223
32	تأثير معاملات الحراثة والسرعة الامامية والتداخل بينهما في التكاليف الكلية لتراكيب آلة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$)	223
33	التحليل الاحصائي لاختبار F للمؤشرات الاقتصادية	224
34	قيم (t) المحسوبة للتكاليف الكلية وصافي العائد عند مقارنة تراكيب آلة الحراثة المركبة مع الحراثة التقليدية باستخدام أدوات الحراثة منفردة	224
35	مقارنة حاصل الحبوب لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية	224
36	صور مختلفة توضح مراحل نمو المحصول	225

	قائمة الرموز	
الرمز	المعنى	الوحدة
T1	آلة حراثة مركبة مكونة من محراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 60 سم ومحراث حفار يعمل على عمق 20 سم ومشط قرصي يعمل على عمق 10 سم وحادلة	
T2	آلة حراثة مركبة مكونة محراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 40 سم ومحراث حفار يعمل على عمق 20 سم ومشط قرصي يعمل على عمق 10 سم وحادلة	
T3	آلة حراثة مركبة مكونة من المحراث الحفار يعمل على عمق 20 سم+ سلاح المحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 60 سم	
T4	آلة حراثة مركبة مكونة من المحراث الحفار يعمل على عمق 20 سم+ سلاح المحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 40 سم	
T5	آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار يعمل على عمق 20 سم ومشط قرصي يعمل على عمق 10 سم	
M1	حراثة تقليدية تضمنت أربعة مرورات مرور اول للمحراث الحفار ومرور ثاني لمحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 60 سم ثم مرور ثالث بالأمشاط القرصية ثم مرور رابع للحاذلة	
M2	حراثة تقليدية تضمنت أربعة مرورات مرور اول للمحراث الحفار ومرور ثاني لمحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 40 سم ثم مرور ثالث بالأمشاط القرصية ثم مرور رابع للحاذلة	
M3	حراثة تقليدية تضمنت مرورين مرور اول للمحراث الحفار ومرور ثاني لمحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 60 سم	
M4	حراثة تقليدية تضمنت مرورين مرور اول للمحراث الحفار ومرور ثاني لمحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 40 سم	
M5	حراثة تقليدية تضمنت مرورين مرور اول للمحراث الحفار ثم مرور ثاني بالأمشاط القرصية	
G1	السرعة الامامية للجرار (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	كم ساعة$^{-1}$
G2	السرعة الامامية للجرار (3 كم ساعة$^{-1}$)	كم ساعة$^{-1}$
D1	عمق التربة (0–20 سم)	سم
D2	عمق التربة (20–40 سم)	سم

D3	عمق التربة (40–60 سم)	**سم**
τ	إجهاد قص التربة لقياس تماسك التربة	**كيلو نيوتن م$^{-2}$**
L_o	طول النموذج المطلوب (القطعة)	**ملم**
Th	سمك النموذج	**ملم**
W	عرض النموذج	**ملم**
σ	اجهاد العمودي لقياس تماسك التربة	**كيلو نيوتن م$^{-2}$**
m	عزم قص التربة لقياس تماسك التربة	**كيلو نيوتن م**
r	نصف قطر القرص المعدني لجهاز التماسك	**م**
Q_1	القوة العمودية المسلطة على التربة (وزن الجهاز + الوزن المضاف)	**كيلو نيوتن**
A_1	مساحة القرص المعدني لجهاز التماسك	**م^2**
τ_a	الاجهاد الافقي في حساب الالتصاق	**كيلو نيوتن م$^{-2}$**
F_1	قوة سحب القطعة المعدنية مع الاوزان لحساب الالتصاق	**كيلو نيوتن**
A_2	مساحة تلامس القطعة المعدنية مع التربة لجهاز الالتصاق	**م^2**
σ_a	الاجهاد العمودي لحساب الالتصاق	**كيلو نيوتن م$^{-2}$**
Q_2	الوزن المسلط على التربة (وزن الجهاز + الوزن المضاف)	**كيلو نيوتن**
ρb	الكثافة الظاهرية للتربة	**ميكا غرام م$^{-3}$**
m_s	كتلة الدقائق الصلبة	**ميكا غرام**
V_t	الحجم الكلي للتربة ويمثل حجم الأسطوانة	**م$^{-3}$**
Pw	النسبة المئوية لرطوبة التربة على أساس الوزن الجاف	**%**
Mw	وزن الرطوبة في التربة	**غم**
Ms	وزن الدقائق الصلبة الجافة	**غم**
CI	دليل المخروط	**ميكا غرام م$^{-3}$**
F	قوة السحب آلة الحراثة	**كيلو نيوتن**
Ft	قوة السحب الكلية	**كيلو نيوتن**
R	مقاومة التدحرج للجرار	**كيلو نيوتن**
S	النسبة المئوية للانزلاق	**%**
Va	السرعة العملية للساحبة	**كم ساعة$^{-1}$**
Vt	السرعة النظرية للساحبة	**كم ساعة$^{-1}$**
PL	القدرة المفقودة بالانزلاق	**كيلو واط**
pd	القدرة عند العجلات	**كيلو واط**
pf	قدرة السحب	**كيلو واط**
FE	الكفاءة الحقلية	**%**
Fcr	معدل استهلاك الوقود	**لتر هكتار$^{-1}$**
TFC	كمية الوقود المستهلك	**لتر ساعة$^{-1}$**

v	حجم الوقود المستهلك	**لتر**
vb	كمية الوقود الموجودة في الأسطوانة المدرجة عند الشاخص الأول	**لتر**
ve	كمية الوقود الموجودة في الأسطوانة المدرجة عند الشاخص الثاني بعد قطع 20 م	**لتر**
Bp	العرض الشغال لالة الحراثة المركبة	**م**
B	العرض الشغال التصميمي لالة الحراثة	**م**
ρs	الكثافة الحقيقية للتربة	**ميكا غرام م$^{-3}$**
V_s	حجم الدقائق الجافة للتربة	**ميكا غرام**
F	المسامية الكلية للتربة	**%**
Ks	الإيصالية المائية المشبعة للتربة	**م يوم$^{-1}$**
A	المساحة السطحية لمقطع التربة لحساب الإيصالية المائية	**م^2**
T	الزمن	**يوم**
H	طول عمود التربة + ارتفاع عمود الماء فوق عمود التربة	**م**
MWD	معدل القطر الموزون للتربة	**ملم**
Xi	معدل القطر ألي مدى حجمي للتجمعات المفصولة	**ملم**
Wi	وزن التجمعات المتبقية ضمن المدى الحجمي الواحد كنسبة إلى الوزن الجاف الكلي لنموذج التربة.	**كيلو غرام**
pH	درجة تفاعل التربة	
EC	الإيصالية الكهربائية للتربة	**ديسيسمنز م$^{-1}$**
Pr	مقاومة التربة للاختراق	**م^2**
t_p	الزمن الازم لإنجاز عملية الحراثة	**ساعة هكتار$^{-1}$**
PI	دليل التفتيت	**هكتار ساعة$^{-1}$**
$\bar{d}$	معدل قطر منخلين متتاليين	**ملم**
Dep	الاندثار السنوي	**دينار سنة$^{-1}$**
V_n	المتبقي من قيمة الالة عند (n) من السنين	**دينار**
V_{n-1}	المتبقي من قيمة الالة عند (n+1) من السنين	**دينار**
P	سعر شراء الآلة	**دينار**
L	عمر الآلة بالسنين	**سنة**
x	نسبة معدل الاندثار مقارنةً بطريقة الاندثار المتساوي	**دينار ساعة$^{-1}$**
n	العمر عند حساب الاندثار	**سنة**
Int	الفائدة على الاستثمار	**دينار ساعة$^{-1}$**
hi	عدد ساعات التشغيل السنوية للجرار وتبلغ	**ساعة سنة$^{-1}$**
Int_{Rate}	الفائدة على الاستثمار	**دينار ساعة$^{-1}$**
$T.I.S.$	الضرائب والتأمين والمأوى	**دينار ساعة$^{-1}$**

$T.I.S._{Rat}$	النسبة المئوية للضرائب والتأمين والمأوى وتبلغ (4%)	
F_c	التكاليف الثابتة	**دينار ساعة$^{-1}$**
Ae	المصاريف الإدارية	دينار هكتار$^{-1}$
Fuc	تكاليف الوقود للهكتار الواحد	**دينار هكتار$^{-1}$**
Q_f	كمية الوقود المستهلك	**لتر هكتار$^{-1}$**
Fup	سعر شراء التر الواحد من وقود الديزل	**دينار لتر$^{-1}$**
O_c	تكاليف الزيت	**دينار هكتار$^{-1}$**
Q_o	كمية الزيت المضافة في كل عملية استبدال للزيت	**لتر**
O_p	سعر لتر الزيت	**دينار لتر$^{-1}$**
P_o	مدة تغيير الزيت وتبلغ (96 ساعة عمل) حسب المتبع في موقع إجراء التجربة	**ساعة**
P_r	الإنتاجية العملية	**دينار هكتار$^{-1}$**
MRC	تكاليف الصيانة والتصليح	**دينار هكتار$^{-1}$**
MRC_{Rate}	النسبة المئوية لتكاليف الصيانة والتصليح	**%**
LC	تكاليف تشغيل العمال	**دينار هكتار$^{-1}$**
D_L	أجرة العامل اليومية	**دينار يوم$^{-1}$**
d	عدد ساعات العمل في اليوم الواحد	**7ساعة يوم$^{-1}$**
Vc	التكاليف المتغيرة لتشغيل الجرار	**دينار هكتار$^{-1}$**
T_{Tc}	تكاليف تشغيل الجرار الكلية	**دينار هكتار$^{-1}$**
CTM_{Vc}	التكاليف المتغيرة لالة الحراثة المركبة	**دينار هكتار$^{-1}$**
CTM_{FC}	التكاليف الثابتة لالة الحراثة المركبة	**دينار هكتار$^{-1}$**
CTM_{Tc}	التكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة	**دينار هكتار$^{-1}$**
TC	اجمالي التكاليف للوحدة الميكنية (الجرار والة الحراثة المركبة)	**دينار هكتار$^{-1}$**
TPC	إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية وتكاليف الإنتاج	**دينار هكتار$^{-1}$**
PC	تكاليف الإنتاج	**دينار هكتار$^{-1}$**
GMR	العائد الإجمالي	**دينار هكتار$^{-1}$**
Y	العائد الكلي من الحبوب والسيقان	**دينار هكتار$^{-1}$**
Uc	سعر الطن من حبوب الذرة الصفراء والسيقان	**دينار طن$^{-1}$**
NMR	صافي العائد	**دينار هكتار$^{-1}$**
BCR	نسبة الفائدة	

1- المقدمة Introduction

يعد تطوير المعدات الزراعية وخصوصاً معدات تهيئة التربة من الطرق التي يلجأ إليها كثير من المصممين والمصنعين لمعدات تهيئة التربة بهدف تحسين خصائص التربة لتكون أكثر ملائمة لنمو النبات. تعتبر معدات الحراثة المركبة أحدث التطورات في مجال الزراعة، حيث تسهم بشكل كبير في تحسين خصائص التربة، مما ينعكس في زيادة انتشار جذور النبات في التربة ومن ثَمَّ زيادة امتصاص الماء والمغذيات ومن ثَمَّ زيادة الحاصل في وحدة المساحة كماً ونوعاً (Abou Hussien وآخرون، 2020). أنَّ تهيئة التربة عملياً يتطلب مرور الجرار ومعدات الحراثة أكثر من مرة في الحقل الزراعي، كما هو الحال عند تهيئة التربة لزراعة محصول الذرة الصفراء الذي يعد ثالث أهم المحاصيل الاقتصادية الغذائية بعد الحنطة والرز (Grote وآخرون، 2021).

أنَّ تحضير التربة بالطرق التقليدية بواسطة الاستخدام المنفرد لآلات الحراثة قد يسبب تكون طبقات تربة متراصة تؤدي إلى زيادة الكثافة الظاهرية للتربة ومقاومتها للاختراق وهذا بدوره يؤدي إلى إعاقة تغلغل وانتشار جذور النبات في التربة وسيادة الظروف اللاهوائية في طبقة التربة المرصوصة، فضلاً عن تقليل حركة الماء في جسم التربة ومن ثَمَّ زيادة تجمع الأملاح في المنطقة الجذرية الأمر الذي ينعكس سلباً في نمو وإنتاج النبات (Li وآخرون، 2022).

ان الحراثة العميقة تعد احد الطرق المتبعة في تحسين خصائص التربة لما لها من دور في استصلاح الأراضي وزيادة إنتاجيتها خصوصا في الترب الطينية ذات الخصائص المتدهورة من خلال تكسير أو إضعاف الطبقة الصماء المتكونة تحت سطح التربة بأعماق مختلفة. يرجع سبب تكون الطبقة الصماء إلى عوامل طبيعية كالأمطار التي تعمل على تكسير تجمعات التربة ، كما تعمل الأملاح الموجودة في جسم التربة على تفريق دقائق التربة ومن ثم تحطيم بناء التربة الامر الذي يؤدي الى ترسب دقائق التربة داخل مساماتها وانسدادها إذ تتكون طبقة صلبة ذات مسامية قليلة وكثافة ظاهرية عالية. كما يرجع سبب تكوين الطبقة الصماء الى استعمال الطرق التقليدية في تحضير التربة التي تتم من خلال مرورات عديدة في الحقل الزراعي مما يؤدي إلى رص التربة واقتراب دقائقها ومن ثَمَّ تكون طبقة صماء. وان هذه الطبقة المتكونة لها آثار سلبية على خصائص التربة ومن ثَمَّ على

نمو وإنتاجية النبات من خلال انخفاض بزل الماء الفائض مما يؤدي إلى تغدق التربة وقلة التهوية والتأثير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

ولأجل التغلب على مشاكل تدهور التربة يمكن استخدام الحراثة العميقة والسطحية، فضلاً عن تنعيم التربة في مرور واحد عوضاً عن الحراثة التقليدية التي تتم من خلال مرورات عديدة في الحقل نتيجة الاستخدام المنفرد لمعدات الحراثة. يمكن اختصار مرات المرور في الحقل الزراعي بواسطة استخدام معدات الحراثة المركبة التي تقوم بأجراء أكثر من عملية حراثة في أنَّ واحد وهذا بدوره يقلل من رص التربة، فضلاً عن تقليل التكاليف والوقت والعمالة (Prem وآخرون، 2016).

ان دراسة المؤشرات الاقتصادية لآلة تهيئة التربة المركبة يعطي فكر عن مدى نجاح المشروع من خلال معرفة العوائد المالية التي قد تنتج من زيادة انتاج المحصول وتقليل تكاليف التشتغيل التي تنعكس في زيادة العائد الصافي للمزارعين. وتهدف دراسة تكاليف تشغيل الآلات والمعدات الزراعية إلى رفع كفاءة تشغيل وتحسين أداء هذه المعدات والآلات بغرض الحصول على أعلى إنتاجية باقل تكاليف ممكنة كما هو الحال عند استعمال آلة الحراثة المركبة Wang وآخرون (2020). ونتيجة لذلك يمكن انتاج محاصيل زراعية بكميات مناسبة تحقق أكبر عائد مع اعلى كفاءه إنتاجية للمنتج دون تحمل المستهلك اعباء مالية ترهق ميزانيته وقدرته الشرائية. ولما كان إنتاج المحاصيل الزراعية يعتمد على العمل وموارد الانتاج مثل البذور والأسمدة والري والعمالة وعلى خدمات الموارد مثل الآلات والجرارات لذلك يجب تشغيل الآلات الزراعيه بكامل طاقتها حتى يمكن تغطية التكاليف العاليه المصروفة في شرائها وتشغيلها وصيانتها ويمكن ذلك عند استعمال آلات الحراثة المركبة التي تقلل من التكاليف وتختصر في الوقت اللازم لتحضير مهد البذرة ومن ثَّمَّ زيادة المساحة المعاملة بوحدة الزمن Sarauskis وآخرون (2012).

وبناءً على ما تقدم ولغرض تقليل مرور آلات الحراثة في الحقل وانجاز أكثر من عملية حراثة في وقت واحد وتقليل تكاليف التشغيل وزيادة العائد الصافي ولتحسين خصائص التربة المختلفة وخاصه الترب الطينية ذات الخصائص المتدهورة في المنطقة الجنوبية من العراق وزيادة نمو وحاصل النبات تم تصميم وتصنيع آلة حراثة مركبة تقوم بعملية الحراثة العميقة بواسطة المحراث تحت التربة والحراثة السطحية بواسطة المحراث الحفار وتنعيم التربة بواسطة المشط القرصي والحادلة التي تعطي تنعيماً

اضافياً واستواء للتربة لتوفير مهد ملائم لإنبات البذور في مرور واحد، كما صممت آلة الحراثة المركبة بشكل يسمح بتغير تراكيبها لتلائم عمليات تهيئة التربة حسب ظروف التربة ونوع المحصول وتوفر مصدر القدرة الملائم.

اهداف الدراسة

1- تصـــميم وتصـــنيع آلة حراثة مركبة تقوم بأربع عمليات لحراثه وتهيئة التربة في مرور واحد في الحقل كما يمكن استخدامها في خمسة تراكيب مختلفة.
2- تقييم الأداء الحقلي لآلة الحراثة المركبة ومركباتها من دراســـة متطلباتها من المؤشـــرات الميكنية تحت مستويين من سرعه الحراثة.
3- دراســـة تأثير آلة الحراثة المركبة ومركباتها في الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة ونمو وحاصل الذرة الصفراء وتحديد أفضل التوليفات التي تحسن من خصائص التربة وتزيد من نمو وحاصل النبات.
4- دراسة الجوانب الاقتصادية باستخدام آلة الحراثة المركبة ومركباتها ومقارنتها مع أنظمة الحراثة التقليدية في عملية تهيئة التربة.

2- مراجعة المصادر Literature Review

2-1- مؤشرات الأداء الحقلي للوحدة الميكنية:

Performance indicators of mEChanized unit

2-1-1- قوة السحب Draft force

هي القوة المطلوبة لسحب آلة معينة باتجاه مصدر القدرة (الجرار)، تعتمد قوة السحب على قوة التربة وخصائصها الفيزيائية والميكانيكية، كما تعتمد على التصميم الهندسي لأجزاء المحراث الفعالة المستعملة في عملية الحراثة الأولية والثانوية، وظروف التشغيل مثل عمق وسرعة الحراثة (Reynolds، وآخرون 2022). كما وصفت الجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين والبيولوجيين ASAE D497.5 (2006) العوامل المؤثرة في قوة السحب من المعادلة المقترحة من قبلهم

$$D = F[A + B.S + C.S^2]\,W.T \qquad (1)$$

أنَّ قوة السحب D هي دالة لنوع االتربة F وعمق الحراثة T والعرض الشغال W والسرعة الأمامية S ونوع نسجه التربة A وB وC .

2-1-1-1- تأثير نوع المحراث في قوة السحب Effect of plow type on draft force

وجد Ramadhan (2014) في تجربة نفذها في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة، جامعة البصرة في تربة نسجتها طينية غرينيه، واشتملت الدراسة على عاملين الأول: نوع المحراث (المحراث تحت سطح التربة المطور ذي الأسلحة المائلة والمحراث تحت سطح التربة الثنائي التقليدي) والثاني: عمق الحراثة (35 و45 و 55 و65 سم)، أنَّ المحراث تحت سطح التربة المطور ذا الأسلحة المائلة حقق أقل قوة سحب من المحراث الثنائي الاعتيادي بنسبة 25.51% وبين سبب ذلك إلى أنَّ تطوير المحراث سهل من اختراق التربة وتفكيكها عند العمق المطلوب مما قلل من متطلبات السحب، كما وجد أنَّ زيادة عمق الحراثة من 35 إلى 65 سم أدىٰ إلى زيادة قوة السحب بنسبة 24.25 و 37.19% للمحراث المطور والتقليدي على التوالي. كما توصل Dahab وآخرون (2021) في دراسة أجريت في السودان في تربة طينية إلى أنَّ الآلة المركبة (محراث حفار+ مرازة) تحتاج إلى متطلبات سحب إذ بلغت 7.51 كيلو نيوتن في حين متطلبات السحب عند استخدام أجزاء الآلة

المركبة كلا على انفراد وكانت بواقع 5.90 و4.60 كيلو نيوتن للمحراث الحفار والمرازة على التوالي، إذ أنَّ مجموع قوة السحب تساوي 10.50 كيلو نيوتن وهي أعلى من متطلبات السحب عند استخدام الآلة المركبة. واكد Croitoru وآخرون (2016) في دراسة نفذوها في تربة طينية مزيجه محتواها الرطوبي 24.10% في رومانيا، استعمل فيها محراث مركب مكون من المحراث تحت سطح التربة ومشط حفار عند أعماق حراثة مختلفة (20 و30 و40 و50 سم)، أنَّ قوة السحب زادت بنسبة 47% عند زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة من 20 إلى 50 سم. وعزوا سبب ذلك إلى زيادة كثافة التربة وتماسكها، فضلاً عن زيادة حجم التربة المحروثة مع زيادة عمق الحراثة مما يتطلب قوة سحب إضافية لقطع وتفكيك ذلك الحجم من التربة. كما توصل Prem وآخرون (2017) أثناء دراستهم متطلبات السحب آلة الحراثة المركبة (مشط قرصي + حادلة مموجه) ومقارنتها مع الحراثة التقليدية (استعمال المشط القرصي بمرور أول ثم الحادلة المموجة في مرور ثاني) في تربة طينية في الهند، إلى أنَّ قوة السحب للألة المركبة انخفضت بنسبة 27.81%، كما بينوا في الدراسة نفسها أنَّ زيادة عمق الحراثة لآلة الحراثة المركبة من 10 إلى 15 سم أدىٰ إلى زيادة في قوة السحب من 7.50 إلى 11.20 كيلو نيوتن وعزوا السبب في ذلك إلى زيادة حجم التربة التي يفككها المحراث مع زيادة عمق الحراثة. كما لاحظ Mohammadi وآخرون (2020) في تجربة نفذت في ايران في تربة طينية، أنَّ قوة السحب للمحراث المركب (محراث حفار + منعمة) انخفضت بنسبة 29.22% مقارنة مع الحراثة بالمحراث الحفار ثم المنعمة، في حين زادت قوة السحب بنسبة 25.27% عند زيادة عمق الحراثة من 15 إلى 20 سم، وعلل سبب ذلك إلى زيادة قوة التصاق التربة وزيادة مقاومة التربة للقطع، فضلاً عن أنَّ ضغط التربة الخانق يزداد مع زيادة عمق الحراثة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة متطلبات السحب.

2-1-1-2- تأثير السرعة الامامية في قوة السحب

Effect of forward speed on draft force

وجد Aday وآخرون (2010) أثناء دراسة أجريت في احد حقول كلية الزراعة – جامعة البصرة في تربة طينية مزيجه، لتقييم أداء المحراث الحفار المركب (محراث حفار + منعمة دوارة). أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.22 إلى 3.24 كم ساعة$^{-1}$، أدت إلى زيادة قوة السحب للمحراث الحفار

المركب من 24.47 إلى 31.29 كيلو نيوتن (27.87%) وعزوا ذلك إلى زيادة الطاقة المطلوبة لتعجيل كتل التربة المفككة من قبل أسلحة المحراث الحفار مع زيادة السرعة الأمامية، فضلاً عن أنَّ السرعة الأمامية تؤدي إلى تقليل الفترة الزمنية اللازمة لتكوين تشققات في التربة أمام أسلحة المحراث مما يؤدي إلى صعوبة قطع التربة ومن ثَمَّ زيادة قوة السحب. وبين Al-Suhaibani و (2013) Ghaly في تجربة حقلية أجريت في المملكة العربية السعودية في تربة رملية، بهدف دراسة تأثير ثلاث أنواع من المحاريث الحفارة (Super heavy, Heavy , Medium) في قوة السحب عند سرعات امامية مختلفة، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2.70 إلى 8.10 كم ساعة$^{-1}$ ادت إلى زيادة متطلبات السحب بنسبة 38.34 و 43.10 و15.16% لأنواع المحاريث على التوالي، كما لاحظ Askari وآخرون (2017) في دراسة نفذوها في ايران بتربة طينية مزيجه، وجود علاقة خطية طردية بين السرعة الأمامية ومتطلبات قوة السحب إذ أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3.5 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة قوة السحب بنسبة 22.40% لمحراث تحت سطح التربة المزود بأجنحة، وعللوا سبب ذلك إلى زيادة مقاومة التربة للقطع بسبب انخفاض الزمن اللازم لتكون التشققات في جسم التربة الامر الذي يتطلب زيادة قوة السحب لتفكيك التربة بواسطة المحراث تحت سطح التربة مع زيادة السرعة الأمامية، كما وجد Nassir وآخرون (2021) في تجربة حقلية أجريت في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة البصرة في تربة طينية غرينيه، استعمل فيها عاملين الأول ثلاث أنواع من ساق المحراث تحت سطح التربة (ساق مسنن وساق ذو زوائد منحنية وساق اعتيادي، والعامل الثاني ثلاث سرعات امامية (1.35 و2.01 و2.34 كم ساعة$^{-1}$)، أنَّ قوة السحب تزداد مع زيادة السرعة الأمامية من 1.35إلى 2.36 كم ساعة$^{-1}$ بنسبة 17.65 و20.00 و25.00% للمحاريث على التوالي، وعزوا سبب ذلك إلى زيادة مقاومة السحب نتيجة صعوبة قطع التربة وتفكيكها عند زيادة سرعة الحراثة.

2-1-2- النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة

Slippage percentage and power loss

تُعرَّف النسبة المئوية للانزلاق بانها عدم التطابق بين طول المسافة الخطية وطول المسافة المحيطية لعدد ثابت من دورات إطارات القائدة للجرار وعادة ما تكون المسافة المحيطية أعلى نسبياً من المسافة الخطية (Ivanov، 2021).

2-1-2-1- تأثير نوع المحراث في النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة

Effect of plow type on the slip percentage and power loss

لاحظ Moitzi وآخرون (2006) في تجربة حقلية نفذوها في تربة رملية في النمســـا، أنَّ اســتخدام المحراث المركب heavy cultivator (محراث حفار + حادلة مســننة) قد خفضــت من نســبة الانزلاق بنســبة 24.71% مقارنةً مع الاســتخدام المنفرد لآلات الحراثة (المحراث الحفار ثم الحادلة كلاً على انفراد)، وفي الدراسة نفسها وجدوا أنَّ زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 15 سم أدت إلى زيادة نســـبة الانزلاق بنســـبة 25%. وفي تجربة اجرها الرجبو والطائي (2013) لتقيم أداء المحراث الحفار المطور (مزود بسلاح لسان العصفور فيه انحناء للخلف من الجانبين لتقليل مقاومة التربة) في تربة طينية غرينيه في العراق، واشتملت الدراسة على عاملين هما نوع المحراث (المحراث الحفار المطور والتقليدي)، إذ لاحظوا أنَّ اســتعمال المحراث الحفار المطور قلل من نســبة الانزلاق والقدرة المفقودة بنســـبة 26.00 و45.53% مقارنـة مع المحراث التقليـدي على التوالي، وعللوا انخفاض نســبة الانزلاق والقدرة المفقودة مع اســتعمال المحراث المطور إلى التصــميم الهندســي لسلاحه الذي سهل من اختراق التربة وتفكيكها مما قلل من الطاقة المهدورة وانزلاق عجلات الجرار، وفي الدراسة نفسها توصلا إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة من 12 إلى 18 سم أدىٰ زيادة نسبة الانزلاق والقدرة المفقودة بنسبة 23 و32% على التوالي. كما وجد Usaborisut و Prasertkan (2018) في دراســة أجريت في تربة طينية مزيجه في تايلاند، تظمنت اســتعمال آلة الحراثة المركبة المكونة من المحراث تحت ســـطح التربة ومشـــط دوراني. أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من متطلبات القدرة مقارنة مع الاســـتخدام المنفرد لكل من المحراث تحت ســـطح التربة والمشـــط الدوراني بنســـبة 17.62%، إذ لاحظا أنَّ آلة الحراثة المركبة تطلبت قدرة كانت بواقع 20.57 كيلو واط، في حين المحراث تحت ســـطح التربة والمشـــط الدوراني تطلبا قدرة كانت بواقع 16.70 و 4.40 كيلو واط على التوالي، لتصــبح القدرة الكلية لهما 24.97 كيلو واط. وارجعوا الســبب إلى أنَّ اســتخدام آلة الحراثة المركبة قلل من متطلبات القدرة نتيجة للعمل المشـــترك والمتداخل لأجزائها قياســـاً مع الاســـتخدام المنفرد لكل آلة، كما لاحظ Prem وآخرون (2017) أثناء دراســـتهم لتقييم أداء آلة الحراثة المركبة (مشـط قرصـي + حادلة مموجه) من حيت متطلبات القدرة ونسـبة الانزلاق ومقارنتها مع الحراثة التقليدية (اسـتعمال المشـط القرصـي بمرور أول ثم الحادلة المموجة في مرور ثاني) في

تربة طينية في الهند. أنَّ نسبة الانزلاق لآلة الحراثة المركبة قياساً مع استخدام المشط القرصي بمرورين انخفضت بنسبة 25.47%، وعزوا السبب إلى انخفاض متطلبات السحب الكلية لآلة الحراثة المركبة ومن ثَمَّ انخفاض النسبة المئوية للانزلاق قياساً بمتطلبات السحب عند استخدام المشط القرصي بمرورين. وذكر Moitzi وآخرون(2014) أنَّ لعمق الحراثة تأثيراً معنوياً في زيادة النسبة المئوية الانزلاق سواء عند استخدام معدات الحراثة التقليدية أو المركبة، وأن معدات الحراثة المركبة كانت أكثر كفاءة في تقليل النسبة المئوية للانزلاق مقارنة مع استخدام الحراثة التقليدية، إذ توصلوا في تجربة حقلية أجريت في تربة غرينيه مزيجه في سويسرا إلى أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة (المحراث تحت سطح التربة ومشط قرصي) قللت من نسبة الانزلاق قياساً باستعمال آلات الحراثة بصورة مفردة كما هو الحال بالحراثة التقليدية بنسبة 41.78%، أما عند زيادة عمق الحراثة من 20 إلى 40 سم فقد أدىٰ ذلك إلى زيادة نسبة الانزلاق من 4.29 إلى 10.06%، وعزوا السبب إلى زيادة متطلبات السحب اللازمة لتفكيك حجم أكبر من التربة عند زيادة العمق مما يسبب زيادة التحميل على الجرار وانهيار التربة تحت عجلات الجرار الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة نسبة الانزلاق. كما لاحظ Tahirو Jeejo (2019) في تجربة حقلية نفذت في محطة ابحاث ، كلية الزراعة ، جامعة صلاح الدين في أربيل في تربة طينية غرينيه مزيجه، واشتملت التجربة على عاملين هما نوع المحراث (المحراث تحت التربة المطور بإضافة زعانف للقدم والمحراث تحت سطح التربة التقليدي)، وثلاث أعماق حراثة (25 و35 و45 سم). إذ لاحظا أنَّ المحراث المطور قلل من القدرة المفقود بالانزلاق قياساً بالمحراث التقليدي بنسبة 11.18%، في حين زيادة عمق الحراثة من 25 إلى 45 سم سجل زيادة معنوية في القدرة المفقود بالانزلاق بنسبة 41.17%، وارجعوا سبب ذلك إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة ادت إلى زيادة متطلبات السحب والقدرة، إذ أنَّ زيادة متطلبات السحب تعني الحاجة إلى مزيد من الوقت للقيام بعملية الحراثة وهذا يؤدي إلى انخفاض السرعة العملية، ومن ثَمَّ زيادة النسبة المئوية للانزلاق والطاقة المفقودة بسبب الانزلاق في النهاية.

2-1-2-2- تأثير السرعة الأمامية في النسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة
Effect of forward speed on the slip percentage and power loss

وجد الزبيدي ومنخي (2012) في دراسة نفذها في تربة مزيجه طينية غرينيه في العراق لتقييم أداء المحراث التحتي المطور (Sweep plow) من حيث متطلبات القدرة، أنَّ زيادة السرعة الأمامية

للجرار من 3.05 إلى 6.42 كم ساعة$^{-1}$ ادت إلى زيادة القدرة المفقودة بنسبة 31.25% وعللا سبب زيادة القدرة المفقودة مع زيادة السرعة الأمامية إلى انخفاض الفترة معدل الزمنية لتماسك العجلات القائدة للجرار مع التربة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض السرعة العملية ومن ثَمَّ زيادة النسبة المئوية للانزلاق ومن ثَمَّ زيادة القدرة المفقودة بالانزلاق. في دراسة قام بها Jebur (2018) في احد حقول كلية الزراعة – جامعة بغداد في تربة طينية غرينيه مزيجه، استعمل فيها المحراث الحفار وخمس سرعات امامية (2.72 و3.23 و4.31 و6.34 و8.14 كم الساعة$^{-1}$)، توصل إلى أنَّ زيادة سرعة الحراثة من 2.72 إلى 8.14 كم ساعة$^{-1}$ ادت إلى زيادة الفقد بالقدرة من 1.99 إلى 22.54 كيلو واط، وعزا السبب إلى زيادة التحميل على الجرار عند زيادة السرعة الأمامية مما استوجب من محرك الجرار بذل طاقة أكبر للتغلب على التحميل الزائد الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة الفقد بالقدرة. وفي تجربة نفذت من قبل Mohammadi وآخرون (2020) في تربة طينية في ايران، استعمل في الدراسة محراث حفار وثلاثة سرعات امامية (3 و4 و5 كم الساعة$^{-1}$)، توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3 إلى 5 كم الساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة نسبة الانزلاق بنسبة 24.87%، وارجعوا السبب إلى زيادة قوة السحب المطلوبة لتحريك المحراث وتعجيل كتل التربة مع زيادة السرعة الأمامية الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة نسبة الانزلاق، كما لاحظوا وجود علاقة خطية موجبة بين النسبة المئوية للانزلاق وسرعة الحراثة. وفي تجربة حقلية نفذها Bovas وآخرون (2022) في الهند في تربة طينية غرينيه لدراسة تأثير استعمال آلة الحراثة المركبة المكونة من مشط حفار + مشط قرصي عند سرعتين اماميتين (1.6 و3.38 كم الساعة$^{-1}$) في متطلبات القدرة، توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.60 إلى 3.38 كم الساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة الطاقة المفقودة بنسبة 27.39%.

2-1-3- معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة

Time required to complete soil plowing operation

هو معدل الزمن المستغرق لحراثة التربة لوحدة المساحة وتساوي مقلوب السعة الحقلية الفعلية، وتعد احد العوامل المهمة والمؤثرة تأثيراً مباشراً في الكفاءة الحقلية فكلما قل معدل الزمن المستغرق في الحراثة كلما زادت الكفاءة الحقلية (Ajit ، وآخرون 2006).

2-1-3-1- تأثير نوع المحراث في معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة

The Effect of plow type on the time required to complete soil plowing operations

توصل Sarauskis وآخرون (2014) دراسة نفذت في تربة غرينيه مزيجه في لتوانيا، إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة من 15 إلى 30 سم بواسطة المحراث الحفار أدىٰ إلى زيادة معدل زمن الحراثة بنسبة 30.61%، وارجعوا السبب إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة أدىٰ إلى زيادة حجم التربة المحروثة مما تطلب زيادة معدل الزمن لقطع وتفكيك التربة مقارنة مع عمق الحراثة السطحي الذي تطلب زمن أقل. وتوصل Fanigliulo وآخرون (2017) في تجربة حقلية أجريت في تربة طينية غرينيه في إيطاليا، استعملت فيها آلة حراثة مركبة مكونة من مشط حفار ومشط قرصي مزوج إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة حققت أقل زمن حراثة قياساً بالاستخدام المنفرد لآلات الحراثة بنسبة 40%، وعزوا سبب ذلك إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت عدد مرات المرور في الحقل قياساً بآلات الحراثة المنفردة (المشط الحفار والمشط القرصي) التي أنجزت عملية الحراثة من خلال مرورين مما تطلب زمن أكبر لانجاز عملية الحراثة. كما لاحظ Choudhary وآخرون (2021) في دراسة نفذت في تربة رملية مزيجه في الهند، أنَّ استخدام آلة الحراثة المركبة المكونة من مشط قرصي وحادلة قد قلص معدل الزمن اللازم للحراثة بنسبة 61.07% قياساً بالاستخدام المنفرد للمشط القرصي والحادلة، وعللوا سبب ذلك إلى الدور الإيجابي الذي لعبة آلة الحراثة في تقليل عدد مرات المرور في الحقل مما قلص معدل الزمن اللازم للحراثة. وبين Dahab وآخرون (2021) في تجربة حقلية أجريت في تربة طينية محتواها الرطوبي22.47% في كينيا، أنَّ آلة الحراثة المركبة المكونة من محراث حفار ومرازة قلصت زمن الحراثة بنسبة 77% مقارنة باستعمال آلات الحراثة بشكل منفرد كما هو الحال في الطرق التقليدية لحراثة التربة وتهيئتها للزراعة، وعزوا سبب ذلك إلى تقليل عدد مرات المرور في الحقل لإنجاز عملية الحراثة مقارنة بالمرورات العديدة لإنجاز عملية تحضير التربة بالطرق التقليدية وهذا يزيد من زمن اتمام عملية الحراثة. وفي دراسة نفذها Martins وآخرون (2021) في تربة مزيجه في البرازيل وباستعمال آلة حراثة مركبة مكونة من المحراث تحت التربة ومشط دوراني، إذ توصلوا إلى أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة أدىٰ إلى تقليل معدل الزمن اللازم للحراثة بنسبة 25.63% مقارنة مع الحراثة التقليدية بواسطة المحراث الحفار ثم المشط الدوراني.

2-1-3-2- تأثير السرعة الأمامية في معدل الزمن اللازم لإتمام عمليات حراثة التربة

The Effect of forward speed on the time required to complete soil plowing operations

توصل Fanigliulo وآخرون (2016) في تجربة حقلية أجريت في تربة طينية استعملت فيها آلة حراثة مركبة مكونة من المحراث تحت سطح التربة ومشط قرصي إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 4.64 إلى 6.44 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى تقليص معدل الزمن اللازم للحراثة بنسبة 27.93%، وعزوا ذلك إلى أنَّ زيادة سرعة الحراثة زادت من المساحة المحروثة في وحدة معدل الزمن مما قلص معدل الزمن اللازم لحراثة مساحة الهكتار الواحد. ولاحظ Abo-Habaga وآخرون (2017) في دراسة أجريت في تربة طينية مزيجه في مصر لتهيئة التربة لزراعة محصول الذرة الصفراء باستعمال آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار ومشط دوراني عند ثلاث سرعات امامية (1.8 و2.45 و3.6 كم ساعة$^{-1}$)، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.8 إلى 3.6 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى تقليص زمن تحضير التربة بنسبة 45.57%، وعللوا سبب تقليص زمن الحراثة مع زيادة السرعة الأمامية إلى زيادة المساحة المحروثة في وحدة الزمن. كما وجد Hegazy وآخرون (2021) في دراسة نفذت في تربة طينية محتواها الرطوبي 20.03% وباستعمال آلة حراثة مركبة من محراث حفار وحادلة مزودة بأسنان ابرية أنَّ زيادة سرعة الحراثة من 2.60 إلى 6.90 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى تقليص زمن الحراثة بنسبة 33.87% وعللوا ذلك إلى أنَّ زيادة السرعة أدت إلى زيادة الإنتاجية العملية الأمر الذي أدى إلى زيادة المساحة المحروثة بوحدة الزمن وهذا أدى إلى تقليص معدل الزمن اللازم للحراثة. كما لاحظ Ahmed و Al-Sayed (2022) عند استخدام المشط القرصي في تجربة حقلية أجريت في تربة طينية أنَّ زمن الحراثة انخفض مع زيادة السرعة الأمامية من 5 إلى 9 كم الساعة$^{-1}$ بنسبة 11.78 %.

2-1-4- الكفاء الحقلية **Field efficiency**

تعرف الكفاءة الحقلية على أنَّها النسبة بين الإنتاجية الفعلية (السعة الحقلية) والإنتاجية النظرية (السعة النظرية)، وتتأثر بمجموعة من العوامل مثل ظروف التشغيل من حيث العمق والسرعة الأمامية ونوع الالة وعرضها التصميمي وخصائص التربة الفيزيائية (Sessiz وآخرون، 2010) .

2-1-4-1- تأثير نوع المحراث في الكفاءة الحقلية

Effect of plow type on the field efficiency

كما توصل Prem وآخرون (2017) في تجربة حقلية أجريت في الهند في تربة مزيجه، استعملت فيها ألة حراثة مركبة مكونة من مشط قرصي وحادلة مموجة إلى أنَّ ألة الحراثة المركبة تفوقت في زيادة الكفاءة الحقلية بنسبة 18.18% قياساً مع الاستخدام المنفرد لأجزاء الألة المركبة (المشط القرصي والحادلة)، وعللوا السبب إلى أنَّ ألة الحراثة المركبة قللت من عدد مرات المرور في الحقل مما أدىٰ إلى اختصار الوقت قياساً بالاستخدام المنفردلآلات الحراثة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة الإنتاجية العملية ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية لألة الحراثة المركبة. كما توصل ALkhafaji و آخرون (2018) في تجربة أجريت في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة بغداد في تربة طينية، واشتملت التجربة على المعاملات الآتية: نوع المحراث (المحراث المركب مكون من محراث مطرحي + محراث حفار ذو أسلحة موجهة عكس اتجاه الحراثة ومحراث حفار تقليدي) وخمس سرعات امامية (1.40 و2.00 و3.60 و4.20 و4.70 كم الساعة$^{-1}$)، إلى أنَّ المحراث المركب أدىٰ إلى زيادة الإنتاجية العملية بنسبة 20% قياساً بالمحراث التقليدي. كما توصل Abdalla وآخرون (2019) أنَّ المحراث القرصي سجل أعلى كفاءة حقلية (80%) مقارنة بـ (72.6%) التي سجلها المحراث الحفار في تربة طينية مزيجه محتواها الرطوبي 20.10%، وعزوا سبب الكفاءة الحقلية العالية للمحراث القرصي مقارنة بالمحراث الحفار إلى الانزلاق المنخفض للمحراث القرصي (الانزلاق أقل بـنسبة 28.29%).

2-1-4-2- تأثير السرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية

Effect of forward speed on the field efficiency

توصل Olaoye و Adekanye (2015) في تجربة حقلية أجريت في تربة طينية مزيجه في نيجيريا، استعمل فيها المشط القرصي والمشط الحفار إلى أنَّ الكفاءة الحقلية تزداد معنوياً مع زيادة السرعة الأمامية، إذ عند زيادة السرعة الأمامية من 09.50 إلى 10.00 كم الساعة$^{-1}$ زادت الكفاءة الحقلية من 85 إلى 90 % للمشط القرصي، أما عند زيادة السرعة الأمامية من 8.50 إلى 9.00 كم الساعة$^{-1}$ وَأدىٰ ذلك إلى زادت الكفاءة الحقلية من 80 إلى 85% للمشط الحفار. وفي دراسة نفذها Ashour و Safi (2015) في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة البصرة في تربة غرينيه طينية، وتظمنت الدراسة المحراث المركب (محراث حفار + منعمات + عازقة حفارة) وثلاثة سرعات امامية (3.5 و5.02 و6.51 كم الساعة$^{-1}$)، إذ توصلوا إلى أنَّ

المحراث المركب حقق أعلى إنتاجية مقارنة مع المحراث الحفار التقليدي بنسبة 18.26 %، أما عند وزيادة السرعة الأمامية للجرار من 3.5 إلى 6.51 كم ساعة$^{-1}$ أدى ذلك إلى زيادة الإنتاجية الفعلية ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية بنسبة 33.58% وعللا ذلك إلى زيادة السرعة الأمامية الأمر الذي قلل من معدل الزمن اللازم لعملية الحراثة مما انعكس في زيادة عدد الهكتار المحروثة في وحدة الزمن ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية مع زيادة السرعة الأمامية. كما توصل جاسم وآخرون (2018) في تجربة حقلية نفذت في تربة ذات نسجه مزيجه طينية في احد حقول كلية الزراعة في جامعة بغداد، لدراسة تأثير السرعة واعماق الحراثة في بعض مؤشرات اداء الوحدة المكنية ونمو وانتاج الذرة الصفراء باستعمال الة مركبة (محراث حفار + مرازة + باذرة) في تربة ذات نسجه مزيجه طينية محتواها الرطوبي 18.27%، إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.75 إلى 5.80 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة الانتاجية الحقلية بنسبة 12.80%. كما وجد Oduma وآخرون (2021) في دراسة نفذت في تربة طينية مزيجه في السودان، أنَّ الكفاءة الحقلية للمشط القرصي تزداد من 82.59 إلى 87.56% عند زيادة السرعة الأمامية من 5 إلى 10 كم ساعة$^{-1}$ وعللوا السبب إلى تقارب السعة الحقلية النظرية مع السعة الحقلية الفعلية ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية.

2-1-5- معدل استهلاك الوقود Fuel consumption rate

تعد كمية الوقود المستهلكة لإنجاز العمليات الزراعية أحد المؤشرات الأساسية والمهمة في تقييم كفاءة أداء الجرار أو الآلة، إذ يختلف معدل استهلاك الوقود اعتمادا على عوامل عديده منها يرتبط بالجرار الزراعي مثل القدرة الحصانية للمحرك وحالة محرك الجرار (Baek ، وآخرون 2022) ومنها يرتبط بنوع التربة وحالتها وظروفها الفيزيائية وظروف التشغيل مثل عمق الحراثة والسرعة الأمامية ونوع العملية الزراعية و أنواع الآلات المستعملة في عملية الحراثة (Damanauskas و Janulevicius 2022).

2-1-5-1- تأثير نوع المحراث على معدل استهلاك الوقود

Effect of plow type on the fuel consumption rate

تستعمل طرق وأساليب مختلفة لتقليل الوقود المستهلك في العمليات الزراعية مثل استخدام نظم حراثة مختلفة أو استخدام معدات الحراثة المركبة التي تدمج أكثر من عملية زراعية في مرور واحد

في الحقل (Prem ، وآخرون 2016). في تجربة نفذت من قبل Nasr وآخرون (2016) في مصر بتربة طينيه، بهدف تقييم المحراث المركب (محراث حفار و منعمة)، فيما يتعلق بمعدل استهلاك الوقود، إذ توصلوا إلى أنَّ المحراث المركب خفض من معدل استهلاك الوقود بنسبة تتراوح من 25 إلى 33% مقارنة مع استخدام المحراث الحفار والمنعمة كلاً على انفراد، وبينوا أنَّ السبب يرجع إلى دور المحراث المركب في تقليص عدد مرات المرور إلى مرور واحد مما يؤدي إلى تقليل معدل الزمن اللازم للحراثة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض استهلاك للوقود، كما لاحظوا في نفس التجربة زيادة معدل استهلاك الوقود عند زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 25 سم بنسبة 27.8%. كما توصل. كما أكد Inthiyaz وآخرون (2020) في دراسة نفذت في تربة طينية مزيجه في الهند. أنَّ استعمال المحراث المركب (مرازة + مشط قرصي) خفض معدل+ معدل استهلاك الوقود بنسبة 53% مقارنة مع استخدام أجزاء المحراث المركب منفردة، وعللوا سبب ذلك إلى تقليص معدل الزمن وتقليل مرات المرور في الحقل لإتمام عملية تهيئة التربة للبذار والزراعة الأمر الذي يقلل من معدل استهلاك الوقود. وفي دراسة قام بها Moitzi وآخرون (2021) في استراليا في تربة طينية مزيجه، لتقدير معدل استهلاك الوقود للجرار عند استعمال المحراث تحت سطح التربة بأربعة أعماق حراثة (30 و40 و50 و60 سم)، إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة للمحراث تحت سطح التربة من 30 إلى 60 سم، أدت إلى زيادة معدل استهلاك الوقود بنسبة 15.82%، وعللوا السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة من قبل المحراث، فضلاً عن زياد كثافة التربة الظاهرية وقوة تلاصق التربة مع معدن المحراث عند زيادة عمق الحراثة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة متطلبات الطاقة ومعدل استهلاك الوقود. وفي دراسة نفذت من قبل Martins وآخرون (2021) في تربة مزيجه في البرازيل، لاحظوا أنَّ زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة 45 إلى 60 سم أدى إلى زيادة معدل استهلاك الوقود من 52.04 إلى 108.33 لتر هكتار$^{-1}$، وعزوا السبب إلى زيادة مقاومة التربة للاختراق، فضلاً عن زيادة حجم التربة المفككة من قبل المحراث مما تطلب زيادة في الطاقة المصروفة للتغلب على حجم التربة الكبير الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة الوقود المستهلك.

2-1-5-2- تأثير السرعة الأمامية على معدل استهلاك الوقود

Effect of forward speed on the fuel consumption rate

في تجربة حقلية نفذها Jalali وآخرون (2015) في ايران في تربة مزيجه طينية، بهدف دراسة تأثير آلة حراثة مركبة مكونة من امشاط حفارة وحادلة في معدل استهلاك الوقود باستعمال اربع سرعات امامية (8 و 10 و12 كم ساعة$^{-1}$)، إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 8 إلى 12 كم ساعة$^{-1}$ ادت إلى خفض معدل استهلاك الوقود بنسبة 35%، وعزوا السبب إلى زيادة استغلال الطاقة فصلاً عن تقليل معدل الزمن اللازم لحراثة الهكتار الواحد. وفي تجربة قام بها Xuanbin وآخرون (2019) في الصين في تربة طينية مزيجه لتقييم الأداء الحقلي ومعدل استهلاك الوقود لآلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار ذو قصبات مقوسة ومشط دوراني، استعمل في التجربة عاملين هما السرعة الأمامية (3.04 و4.84 و6.00 كم ساعة$^{-1}$) وعمق الحراثة (15 و25 سم)، إذ وجدوا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.04 إلى 6.00 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى تقليل معدل استهلاك الوقود بنسبة 24.30%، كما توصلوا في الدراسة نفسها إلى أنَّ أقل استهلاك للوقود سجل عند السرعة الأمامية العالية (6.00 كم ساعة$^{-1}$) والعمق السطحي (15 سم) الذي بلغ 18.57 لتر هكتار$^{-1}$، في حين سُجل أعلى استهلاك للوقود عند السرعة الأمامية البطيئة (3.04 كم ساعة$^{-1}$) وعمق الحراثة الكبير (25 سم) الذي بلغ 30.11 لتر هكتار$^{-1}$، وعزوا سبب انخفاض معدل استهلاك الوقود مع السرعة العالية والعمق السطحي إلى زيادة المساحة المحروثة مع وحدة معدل الزمن، فضلاً عن انخفاض متطلبات الطاقة مع العمق السطحي الأمر الذي أدىٰ انخفاض في معدل استهلاك الوقود. وتوصل Zhao وآخرون (2021) في دراسة أجريت في الصين في تربة طينية، لتقدير معدل استهلاك الوقود عند استعمال آلة حراثة مركبة مكونه من محراث حفار ذو قصبات مقوسة والمحراث تحت سطح التربة ذو حركة اهتزازية وسرع امامية مختلفة (5 و3 و4 و6 و7 كم ساعة$^{-1}$)، إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 5 إلى 7 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود بنسبة 23.81%. وفي دراسة اجراها Ahmed وAl-Sayed (2022) في تربتين مختلفتين النسجة، الأولى طينية رملية والثانية طينية في السودان، استعمل في التربتين مشط قرصي عند ثلاثة سرعات امامية هي 5 و7 و9 كم ساعة$^{-1}$ إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 5 إلى 9 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود بنسبة 57.05 و41.73% للتربة الأولى والثانية على التوالي، وارجعا السبب إلى

زيادة السعة الحقلية الفعلية (الانتاجية) مع زيادة السرعة الأمامية الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة عدد الهكتارات المحروثة في وحدة الزمن ومن ثَمَّ انخفاض معدل استهلاك الوقود.

2-1-6- دليل تفتيت التربة Pulverization index of soil

يُعرف دليل التفتيت التربة على أنَّه النسبة المئوية لوزن حجم كتل التربة المختلفة (Singh و Malhi 2006) . ويتأثر دليل التفتيت بعدة عوامل منها نوع المحراث المستخدم وتماسك التربة ونسجتها وخصائصها الفيزيائية (Ajit ، وآخرون 2006). ويعد انخفاض قيم دليل تفتيت التربة مؤشر على زيادة تنعيمها.

2-1-6-1- تأثير نوع المحراث في دليل تفتيت التربة

Effect of plow type on Pulverization index of soil

توصل Javadi وHajiahmad (2006) في تجربة نفذت في تربة مزيجه في ايران، الى أنَّ آلة الحراثة المركبة (مشط القرصي + حادلة مسننة) سجلت أقل دليل تفتيت للتربة إذ بلغ 12.3 ملم، في حين سجل المشط القرصي بمرور واحد أعلى دليل تفتيت للتربة الذي بلغ 13.7 ملم، كما توصل Parmar وGupta (2016) في تجربة أجريت في تربة طينية في الهند، لدراسة تأثير آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار وحادلة دورانية تأخذ قدرتها من عمود مأخذ القدرة في دليل تفتيت التربة، إلى أنَّ دليل تفتيت انخفض (تفتيت أعلى) للمحراث الحفار المركب بنسبة 36.67% مقارنة مع المحراث الحفار التقليدي، وعللا السبب إلى أنَّ إضافة المنعمة للمحراث أدت إلى زيادة تفتيت التربة بمرور واحد في الحقل قياساً بالمحراث الحفار التقليدي. وبين Ashour (2016) في دراسة نفذها في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة البصرة في تربة طينية غرينيه، لدراسة دليل التفتيت التربة، وتضمنت الدراسة عاملين، الأول نوع المحرث (آلة الحراثة المركبة المكون من محراث حفار + منعمتان + مشط ذو اسنان حفارة ومحراث حفار تقليدي)، والثانية ثلاثة أعماق حراثة (10 و20 و30 سم)، إذ لاحظوا أنَّ المحراث الحفار المركب حقق أقل دليل تفتيت (أعلى تنعيم للتربة) قياساً بالمحراث الحفار التقليدي بنسبة 52.92% ، وعزا السبب إلى وجود المنعمات الدوارة التي تقوم بتفتيت التربة المفككة من قبل المحراث الحفار الأمر الذي يؤدي إلى زيادة وتنعيم التربة، كما وجدا أنَّ زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 30 سم أدىٰ إلى زيادة دليل تفتيت التربة

(أقل تفتيت للتربة) بنسبة 107.55%، وارجعوا السبب إلى زيادة رطوبة التربة عند العمق الأمر الذي يزيد من قوة التلاصق بين أسلحة المحراث والتربة مما انعكس ذلك في صعوبة تفتيت كتل التربة الكبيرة إلى كتل اصغر وهذا أدىٰ إلى زيادة دليل التفتيت مع زيادة عمق الحراثة، وفي دراسة نفذت من قبل Vagadia وآخرون (2020) في تربة طينية مزيجه في الهند، لتقييم اداء آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار وحادلة مزودة بأسنان صلبة (Spike–roller) من حيث قابلية آلة الحراثة المركبة على زيادة تفتيت التربة ومقارنتها مع المحراث الحفار التقليدي، وتصلوا إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة أدت إلى زيادة تفتيت التربة بنسبة 32.96% مقارنة مع المحراث التقليدي. كما أكد Alfaris و Almaliki (2022) في تجربة أجريت في تربة طينية محتواها الرطوبي 22.74% في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة البصرة، أنَّ استعمال المحراث تحت سطح التربة المطور من تزويده بأسلحة ضحلة ذات اجنحة عريضة أدىٰ إلى انخفاض دليل التفتيت بنسبة 26.54% قياساً بالمحراث التقليدي، وعزا السبب إلى قدرة المحراث المطور على تفكيك حجم أكبر من التربة، فضلاً عن زيادة تصادم كتل التربة بعضها ببعض مسببة زيادة تفتيت كتل التربة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض دليل تفتيت التربة. كما لاحظا أنَّ زيادة عمق الحراثة من 30 إلى 50 سم أدىٰ إلى زيادة دليل تفتيت التربة بنسبة 37.17%، وعزا سبب ذلك إلى زيادة حجم كتل التربة المحروثة بالمحراث الحفار أو المنعمة بالمشط القرصي مع زيادة العمق إذ يقل تفتيت التربة، فضلاً عن زيادة المحتوى الرطوبي للتربة عند زيادة العمق مما يزيد من قوة تلاصق كتل التربة مع معدن المحراث مما يجعل تفتيتها إلى كتل أصغر أقل حدوثاً ومن ثَمَّ يزداد دليل التفتيت (تنعيم أقل).

2-1-6-2- تأثير السرعة الأمامية في دليل تفتيت التربة

Effect of forward speed on the pulverization index of soil

وجد Argyrokastritis و Natsis (2011) في تجربة نفذت في تربة طينية في البانيا، لتقييم أداء المشط القرصي المزدوج عند سرعات امامية مختلفة (2 و4 و 6 و8 كم ساعة $^{-1}$)، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 8 كم ساعة $^{-1}$ أدت إلى أنَّ انخفاض دليل التفتيت (زيادة تنعيم التربة) بنسبة 27.25%. كما لاحظ ناصر وآخرون (2017) في دراسة أجريت في تربة طينية غرينيه في محطة الأبحاث الزراعية التابعة

لكلية الزراعة – جامعة البصرة، أنَّ زيادة السرعة الأمامية للحراثة بالمحراث الحفار من 1.50 إلى 4.68 كم ساعة$^{-1}$ أدىٰ إلى انخفاض دليل تفتيت التربة بنسبة 42.85% وعللوا السبب إلى زيادة تعجيل كتل التربة وتصادمها بعضها ببعض ومع أسلحة المحراث الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة تفتيت كتل التربة إلى كتل صغيرة الحجم، وفي تجربة نفذت من قبل Upadhyay وRaheman (2020) في تربة طينية مزيجه في الهند، واشتملت على عاملين الأول: نوع المحراث (المشط القرصي المركب المزود بحادلة والمشط القرصي التقليدي) والثاني: السرعة الأمامية بثلاثة مستويات (3.84 و4.55 و6.86 كم ساعة $^{-1}$)، إذ لاحظا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.46 إلى 6.84 كم ساعة $^{-1}$ أدت إلى انخفاض دليل التفتيت بنسبة 43.87 و37.52% للمشط القرصي المركب والتقليدي على التوالي. كما توصل Gilandeh وآخرون (2022) في دراسة أجريت في تربة رملية مزيجه في إيران بواسطة المحراث تحت التربة المطور من خلال إضافة اجنحة للساق تميل للأمام، إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 7 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة درجة تفتيت التربة بنسبة 49.74%، وعزا السبب إلى زيادة الطاقة الحركية لكتل التربة مع زيادة السرعة مسببة زيادة تصادمها بعضها ببعض ومع أسلحة المحراث الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة تفتيت التربة.

2-2- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة

Physical and chemical characteristics of soil

2-2-1- معدل القطر الموزون Mean Weight Diameter (MWD)

معدل القطر الموزن يعبر عن الاســـتقرار الكلي للتربة ويؤثر في قدرة التربة على تنظيم حركة وتخزين الهواء والماء في جميع أن حاء قطاع التربة، فكلما زادت ثبات تجمعات التربة ، زادت أنتاجية التربة. يشـير الاسـتقرار التجميعي إلى قدرة كتل التربة على مقاومة التفكك عند تعرضـها لقوى التخريب المرتبطة بالحراثة والتعرية المائية. تتأثر ثباتية تجمعات التربة بعمليات الحراثة ونوع المحراث المستخدم ونسجة التربة والمحتوى الرطوبي للتربة (الموسوي وعبد الكريم، 2017b).

2-2-1-1- تأثير نوع المحراث في معدل القطر الموزون (MWD)

Effect of plow type on mean weight diameter (MWD)

توصل Salar وآخرون (2013) في دراسة نفذت في تربة مزيجه في ايران، إلى أنَّ تطوير المحراث الحفار من اضافة اجنحة (شفرات) توضع على جانبي ساق المحراث أدىٰ إلى زيادة معدل القطر الموزون بنسبة 22% مقارنةً مع المحراث الحفار التقليدي. وعزوا سبب ذلك إلى زيادة المساحة المفككة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض الكثافة الظاهرية وزيادة المسامية الكلية للتربة، فضلاً عن زيادة نشاط الاحياء المجهرية الدقيقة التي تعمل على ربط دقائق التربة مع بعضها مما ينعكس في زيادة ثباتيه تجمعات التربة مقارنة مع الحراثة بالمحراث التقليدي، كما توصل الموسوي وعبد الكريم (2017b) في دراسة أجريت في تربة طينية في محافظة البصرة، العراق، لدراسة تأثير المحراث تحت سطح التربة المطور والتقليدي في معدل القطر الموزون، إلى أنَّ المحراث تحت سطح التربة المطور (إضافة أسلحة ضحلة واجنحة لأقدام أسلحة المحراث) تفوق معنوياً في زيادة معدل القطر الموزون بنسبة 29.63% قياساً بالمحراث تحت سطح التربة التقليدي (احادي السلاح)، كما بينا أنَّ معدل القطر الموزون ازداد عند عمق التربة السطحي (0-15) سم مقارنة مع أعماق التربة (15-30) و (30-40) و (40-50) سم بنسبة 2.11 و 10.00 و 19.29% على التوالي، وعزا السبب إلى تفوق عمق التربة السطحي على أعماق التربة تحت السطحية إلى توافر المادة العضوية مع انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة مساميتها الكلية ، فضلاً عن وجود الغطاء النباتي عمل على حماية سطح التربة من المؤثرات الخارجية الأمر الذي أدىٰ تحسن من بناء التربة وزيادة معدل القطر الموزون. وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Tverdokhlebov و Parkhomenko (2017) في تربة طينية في شمال الشيشان في روسيا، لدراسة تأثير نوع المحراث في ثباتيه تجمعات التربة، واشتملت التجربة على معاملة نوع المحراث التي تضمنت المحراث الحفار المركب (محراث حفار ذو اجنحة مزودة بعوارض حديدية + حادلة) والمحراث الحفار التقليدي، ومعاملة عمق التربة التي تضمنت الأعماق (5-15 و15-25 و25-35 سم)، وتوصلا إلى أنَّ معدل القطر الموزون للمحراث الحفار المركب ازداد مقارنة بالمحراث الحفار التقليدي بنسبة 22.85%، كما لاحظا في الدراسة نفسها أنَّ عمق التربة السطحي (5-15 سم) تفوق معنوياً في تحقيق أعلى معدل قطر موزن بلغ 1.05 ملم، في حين سجل العمق التربة الكبير (25-35 سم) أقل معدل قطر موزن إذ بلغ 0.39 ملم. وفي

دراسة نفذت من قبل Alamooti و Hedayatipoo (2019) في تربة طينية مزيجه في ايران، استعمل فيها معاملتين: الأولى نوع المحراث (آلة الحراثة المركبة المكونة من محراث حفار ذو أسلحة مقوسة ومشط قرصي والمحراث الحفار التقليدي)، والثانية عمق التربة بمستوين 0–10 و 10–20 سم، إذ توصلا إلى أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة أدىٰ إلى زيادة معدل القطر الموزون مقارنة مع استعمال المحراث الحفار التقليدي بنسبة 20.74%، وعللا السبب إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من المرور في الحقل مما قلل من كبس التربة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض الكثافة الظاهرية وزيادة مسامية التربة مما حسن من ثباتيه تجمعات التربة. كما توصلا في الدراسة نفسها إلى أنَّ فترة بداية موسم النمو لمحصول الحنطة حققت أقل متوسط لمعدل القطر الموزون بلغت 0.75 ملم في حين ازدادت لتصل إلى 0.80 ملم عند فترة نهاية موسم النمو أي زاد معدل القطر الموزون بنسبة 6.67%، وعزا السبب إلى أنَّ زيادة الغطاء النباتي على سطح التربة في نهاية موسم النمو يعمل على حماية التربة من المؤثرات الخارجية مما يساعد في المحافظة على تجمعات التربة وزيادة ثباتيتها.

2–2–1–2– تأثير السرعة الأمامية في معدل القطر الموزون (MWD)

Effect of forward speed on mean weight diameter (MWD)

بَّين Tayel وآخرون (2019) في دراسة أجريت في تربة طينية في مصر لتقييم تأثير المحراث الحفار المزود بقصبات منحنية محملة نابضياً عند ثلاثة مستويات من عمق الحراثة (10 ، 20 ، 30 سم) وسرعتين اماميتين (1.93و 10.33 كم ساعة$^{-1}$) على معدل القطر الموزون ونمو وحاصل الذرة الصفراء، وتوصلوا أنَّ السرعة الأمامية البطيئة (1.93 كم ساعة$^{-1}$) والعمق السطحي (10 سم) حققت أعلى معدل قطر موزن الذي بلغ 1.07 ملم، في حين سجلت السرعة الأمامية العالية (10.33 كم ساعة$^{-1}$) والعمق الكبير (30 سم) أقل معدل قطر موزن الذي بلغ 0.65 ملم، وارجعوا السبب في زيادة معدل القطر الموزون للتربة إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية مع انخفاض سرعة الحراثة والعمق السطحي الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة معدل القطر الموزن. وفي تجربة حقلية قام بها Solhjou وAlavimanesh (2022) في تربة طينية مزيجه في ايران بهدف دراسة تأثير المحراث الحفار المطور (الساق منحنية bent leg ومزودة بعوارض حديدية) على معدل القطر الموزن للتربة. وكانت المعاملات تحت ثلاثة مستويات من السرعة الأمامية (6 و9 و12 كم الساعة $^{-1}$). وتوصلوا

إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 6 إلى 12 كم الساعة$^{-1}$ أدت إلى تقليل (MWD) بنسبة 7.4% في حين أدت زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 20 سم إلى زيادة (MWD) بنسبة 24.9%.

2-2-2- الكثافة الظاهرية ومسامية التربة Bulk density and porosity of soil

تتأثر كثافة التربة الظاهرية والمسامية الكلية بعمليات اداره التربة وخصوصاً عمليات الحراثة وتحضير التربة للزراعة التي تؤدي إلى تغيرات كبيرة في الكثافة الظاهرية ومساميتها كما تؤثر نسجه التربة ورطوبتها ونوع والتصميم الهندسي للمحراث المستخدم ونوع العمليات الزراعية في هاتين الصفتين (القزاز ومحمود، 2010).

2-2-2-1- تأثير نوع المحراث في الكثافة الظاهرية ومسامية التربة

Effect of plow type on bulk density and porosity of soil

توصل Medeiros وآخرون (2013) في تجربة أجريت في تربة طينية مزيجة في البرازيل إلى أنَّ الحراثة باستعمال المحراث تحت التربة قلل من الكثافة الظاهرية للتربة بنسبة 11.25% قياساً بالمحراث الحفار، وعزوا السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة الذي يساعد على زيادة الفراغات المسامية بين كتل التربة. كما وجد Gozubuyuk وآخرون (2014) في دارسة أجريت في تربة مزيجه في تركيا استعمال فيها آلة حراثة مركبة مكونة من مشط حفار ومشط قرصي فردي الفعل لدراسة تأثيرها في خصائص التربة الفيزيائية والمائية عند أعماق حراثة مختلفة (10 و15 و20 سم)، أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من كثافة التربة الظاهرية بنسبة 11.36% قياساً مع الحراثة التقليدية (استعمال أجزاء آلة الحراثة كلاً على انفراد) وعزا السبب إلى زيادة حجم التربة التي تفككها آلة الحراثة المركبة، فضلاً عن دورها الإيجابي في تقليل عدد مرات المرور في الحقل مما يقلل من كبس التربة ومن ثَمَّ خفض قيم كثافة التربة الظاهرية، كما وجد ياغي (2015) أنَّ استعمال الامشاط القرصية في تربة مزيجه طينية في مدينة السلمية في سوريا، أنَّ قيم الكثافة الظاهرية تزداد عند نهاية موسم نمو محصول الشعير بنسبة 9.57% قياساً مع بداية موسم نمو المحصول، كما توصل إلى أنَّ زيادة عمق التربة من 0-5 إلى 5-20 سم أدىٰ إلى زيادة الكثافة الظاهرية بنسبة 5.05%، وعلل السبب إلى زيادة ترسب دقائق التربة الناعمة في مسامات التربة نتيجة عمليات الري، فضلا عن وزن طبقات التربة العليا الذي يزيد من ضغط ورص طبقات التربة السفلى مما ينعكس في زيادة الكثافة الظاهريه

وانخفاض مساميتها. كما توصل Zhou وآخرون (2017) في دراسة أجريت في تربة طينية في الصين، لدراسة تأثير استعمال المحراث المركب (محراث حفار + مشط دوراني) في خصائص التربة الفيزيائية ومقارنته مع المحراث الحفار التقليدي عند أعماق تربة مختلفة (0–5 و 5–10 و10–15 و15–20 سم) إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة خفضت الكثافة الظاهرية بنسبة 8.40% قياساً بالحراثة التقليدية، كما وجدوا أنَّ زيادة عمق التربة من 0–5 إلى 15–20 سم أدت إلى زيادة الكثافة الظاهرية بنسبة 6.70% وعزوا السبب إلى توفر المادة العضوية في العمق السطحي، فضلاً عن أنَّ حجم التربة المفككة تكون أقل نسبياً من عمق التربة الاكبر(15–20 سم). ولاحظ Salama وآخرون (2018) في دراسة نفذت في تربة طينيه مزيجه في مصر أنَّ استعمال المحراث المركب (محراث حفار + حادلة مسننة + عازفة حفارة) أدىٰ إلى خفض الكثافة الظاهرية للتربة مقارنة مع استعمال المحراث الحفار والحادلة والعازقة كلاً على انفراد من 1.16 إلى 1.02 ميكاغرام م$^{-3}$ (12.07%) وزيادة المسامية الكلية للتربة من 56.56 إلى 61.60 % (9.35%)، وعللوا السبب إلى أنَّ الحراثة التقليدية قللت من حجم التربة المفككة بسبب كبس التربة نتيجة زيادة عدد مرات المرور في الحقل على عكس من آلة الحراثة المركبة التي قللت من عدد مرات المرور في الحقل وهذا بدوره زاد من تفكيك التربة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة مساميتها. كما توصل AL–azzawiو Akbolat (2018) في تربة مزيجه رملية في تركيا، إلى أنَّ استعمال المحراث الحفار وزيادة عمق الحراثة من 15 إلى 30 سم أدىٰ إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة من 1.39 إلى 1.33 ميكاغرام م$^{-3}$ في حين انخفضت المسامية الكلية للتربة من 47.50 إلى 49.70%، وعزوا سبب ذلك إلى زيادة حجم التربة المفككة مما أدىٰ إلى زيادة الفراغات المتكونة بين كتل التربة، وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Alkhafaji (2020) في تربة طينية مزيجه في بغداد، العراق واشتملت على عاملين الأول نوع المحراث (الة الحراثة المركبة المكونة من محراث مطرحي + محراث حفار + الة تسوية و محراث حفر مزود بآلة تسوية)، والثاني أعماق الحراثة بمستوين (20 و25 سم)، بين أنَّ استعمال الة الحراثة المركبة (محراث مطرحي + محراث حفار + الة تسوية) أدىٰ إلى خفض الكثافة الظاهرية للتربة من 1.34 إلى 1.30 ميكا غرام م$^{-3}$ مقارنةً مع المحراث الحفار المزود بآلة تسوية، كما بين أنَّ زيادة عمق الحراثة من 20 إلى 25 سم قلل قيم الكثافة الظاهرية للتربة

من 1.12 إلى 1.34 ميكاغرام م$^{-3}$ وعزيا السبب إلى زيادة حجم كتل التربة المفككة مع زيادة عمق الحراثة.

2-2-2-2- تأثير السرعة الأمامية في الكثافة الظاهرية ومسامية التربة

Effect of forward speed on bulk density and porosity of soil

بين Sharma وآخرون (2019) في دراسة نفذت في تربة رملية مزيجه في الهند، لتقييم أداء المحراث الحفار وتأثير في بعض خصائص التربة الفيزيائية، تحت تأثير ثلاثة مستويات من السرعة الأمامية (8 و12 و16 كم ساعة$^{-1}$)، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 8 إلى 16 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة الكثافة الظاهرية للتربة من 1.32 إلى 1.52 ميكاغرام م$^{-3}$ في حين انخفضت المسامية الكلية للتربة من 49.9 إلى 42%. كما وضح Shojaee وآخرون (2019) في تجربة حقلية أجريت في تربة مزيجه في إيران، لدراسة تأثير طرق الحراثة والسرعة الأمامية في بعض خصائص التربة الفيزيائية، واشتملت التجربة على عاملين الأول: نوع المحراث (المحراث الحفار المركب المكون من محراث حفار وحادلة، ومحراث حفار ومشط قرصي)، والثاني: السرعة الأمامية بثلاثة مستويات (4 و7 و 10 كم ساعة$^{-1}$)، أنَّ زيادة السرعة الأمامية للجرار من 4 إلى 10 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة معنوية في كثافة التربة الظاهرية من 1.549 إلى 1.617 ميكا غرام$^{-3}$، وعزوا السبب إلى زيادة درجة تفتيت التربة مع السرعة العالية مما يسبب امتلاء الفجوات المسامية الموجودة في التربة بدقائق التربة الصغيرة. وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Rajeshwar و Sharma (2022) في تربة طينية في الهند، لدراسة تأثير آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار وحادلة ذات اسنان صلبة (spiked tooth roller) في خصائص التربة الفيزيائية تحت تأثير ثلاثة سرعات امامية (2 و2.50 و3.20 كم ساعة$^{-1}$)، إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 3.20 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة كثافة التربة الظاهرية من 1.50 إلى 1.70 ميكا غرام$^{-3}$ بنسبة زيادة بلغت 13.33%، وعزا سبب ذلك إلى زيادة تفتيت التربة مع زيادة السرعة الأمامية مما أدى إلى انسداد الفراغات المسامية بين كتل التربة بالكتل الصغيرة الحجم مما قلل من حجم التربة مقارنةً مع وزن كتل التربة الصلبة مسببة زيادة في كثافة التربة الظاهرية.

2-2-3- المحتوى الرطوبي للتربة Moisture content of soil (MC)

تؤثر عمليات الحراثة وتتأثر بالمحتوى الرطوبي للتربة، تؤدي عمليات الحراثة إلى زيادة خشونة سطح التربة وزيادة الفراغات المسامية في جسم التربة المحروثة مما يسهل من حركة الماء في جسم التربة اعتماداً على عمق الحراثة ونظام الحراثة المستخدم والظروف الحقلية (Gicheru وآخرون، 2005).

2-2-3-1- تأثير نوع المحراث في المحتوى الرطوبي للتربة

Effect of plow type on the moisture content of soil (MC)

توصل Khurshid وآخرون (2006) في دراسة أجريت في تربة رملية مزيجه، في باكستان، إلى أنَّ المحتوى الرطوبي للتربة انخفض عند الحراثة بالمحراث تحت التربة على عمق 50 سم مقارنة مع الحراثة بوساطة المحراث الحفار على عمق 20 سم عند نهاية موسم محصول الذرة الصفراء بنسبة 10.17%، وعزا السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة تعمق وانتشار المجموع الجذري في جسم التربة مما أدىٰ إلى زيادة قدرة النبات على استغلال الماء والمغذيات ومن ثَمَّ انخفاض المحتوى الرطوبي في التربة. وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Yu وآخرون (2013) في تربة طينية مزيجه في الصين، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة (مطرحتان + محراث حفار ثلاثي السلاح + مشط قرصي) واعماق التربة (0–20 و20–40 و40–60 سم) في المحتوى الرطوبي للتربة، إذ توصلوا إلى أنَّ المحتوى الرطوبي للتربة انخفض باستعمال آلة الحراثة المركبة بنسبة 41.46% مقارنةً مع المحراث تحت سطح التربة التقليدي، في حين زاد المحتوى الرطوبي للتربة عند زيادة عمق التربة من 0–20 إلى 40–60 سم بنسبة 35.29%. كما نفذت تجربة حقلية من قبل الموسوي وعبد الكريم (2016 a) في تربة طينية في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة– جامعة البصرة، لدراسة تأثير المحراث تحت التربة الاعتيادي والمطور(مزود باجنحة ومحاريث ضحلة) وعمق الحراثة في المحتوى الرطوبي للتربة خلال مراحل نمو محصول زهرة الشمس، إذ وجدا أنَّ الحراثة باستعمال المحراث تحت سطح التربة المطور أدىٰ إلى انخفاض المحتوى الرطوبي للتربة بنسبة 18.37% مقارنة مع المحراث تحت التربة التقليدي، وعزا سبب انخفاض المحتوى الرطوبي إلى زيادة مساحة التربة المفككة باستعمال المحراث المطور مما زاد من مسامية التربة وتحسين حركة وبزل الماء، كما توصلا إلى أنَّ المحتوى الرطوبي للتربة زاد في عمق التربة 40–50 سم قياساً بعمق التربة السطحي 0–15 سم بنسبة 78.57 و48% بداية ونهاية موسم النمو على

التوالي. وبين Wang وآخرون (2020) في تجربة حقلية نفذت في تربة طينية غرينيه في الصين، أنَّ استعمال ألة والحراثة المركبة (المحراث تحت التربة + مشط دوراني عمودي)، أنَّ المحتوى الرطوبي للتربة لآلة الحراثة المركبة انخفض بنسبة 21.28% قياساً باستعمال المحراث تحت سطح التربة التقليدي، كما توصلوا إلى أنَّ المحتوى الرطوبي يزداد لأعماق التربة 15–20 و20–30 و 30–40 سم قياساً بعمق التربة السطحي 0–15 سم نهاية موسم النمو وبعد حصاد محصول الذرة الصفراء بنسبة 72.7 و 14.9 و 56.12% على التوالي، وعزا سبب ذلك إلى زيادة المحتوى الرطوبي للتربة مع زيادة عمق التربة نتيجة قلة تأثر أعماق التربة تحت السطحية بالعوامل المناخية كأشعة الشمس وحركه الرياح فضلاً عن صعوبة صعود ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية من طبقات التربة التحتية إلى طبقة التربة السطحية وتبخره قياساً بالأعماق السطحية التي تكون أكثر تعرضا للظروف والمؤثرات المناخية الحرارة والرياح.

2–2–3–2– تأثير السرعة الأمامية في المحتوى الرطوبي للتربة

Effect of forward speed on the moisture content of soil (MC)

بين Sharma وآخرون (2019) في تجربة حقلية أجريت في تربة رملية مزيجه في الهند، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 8 إلى 16 كم ساعة$^{-1}$ عند استعمال المحراث الحفار أدىٰ إلى زيادة المحتوى الرطوبي للتربة من 14.51 إلى 15.18%. ولاحظ Khemis وآخرون (2022) في دراسة أجريت في تربة رملية مزيجه في تونس على المحراث تحت سطح التربة ثلاثي السلاح، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 4 إلى 9 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة المحتوى الرطوبي للتربة بنسبة 17.14 و18.67 % عند عمق تربة 0–10 و10–20 سم على التوالي، وعللوا السبب إلى أنَّ زيادة السرعة أدت إلى زيادة تنعيم التربة الأمر الذي أدىٰ ترسب دقائق التربة الناعمة في مسامات التربة الصغيرة مسببة انسداد تلك المسامات مما أدىٰ إلى زيادة الكثافة الظاهرية وانخفاض مسامية التربة مما قلل من تبخر الماء ومن ثَمَّ زيادة المحتوى الرطوبي للتربة عند زيادة السرعة الأمامية. في دراسة نفذت من قبل Machado وآخرون (2023) في تربة طينية مزيجه في البرازيل، لدراسة تأثير استعمال المحراث تحت سطح التربة المطور تحت تأثير مستويين من السرعة الأمامية (2.5 و4.5 كم ساعة$^{-1}$)، إذ توصلوا إلى أنَّ الأمامية من العالية (4.5 كم ساعة$^{-1}$) وعمق التربة السطحي (0–15سم) سجلت أقل محتوى رطوبي للتربة بلغ 18.17% في حين سجلت السرعة الأمامية من البطيئة

(2.5 كم ساعة$^{-1}$) وعمق التربة الكبير (30–45 سم) أعلى محتوى رطوبي للتربة الذي بلغ 27.8.49%، وعللوا سبب زيادة المحتوى الرطوبي مع السرعة البطيئة وعمق التربة الكبير إلى انخفاض تنعيم التربة الذي شجع على بقاء المسامات الكبيرة في التربة فضلاً عن أنَّ العمق الكبير قلل من تبخر الماء لكونه بعيد عن مؤثرات المناخ من حرارة ورياح وغيرها.

2-2-4- مقاومة التربة للاختراق Penetration resistance of soil

تعد دليل لكبس التربة التي تتأثر بخصائص التربة الفيزيائية كالرطوبة ونوع نسجه التربة وقوة التربة كما تتأثر بعمليات الحراثة وعدد مرات المرور في الحقل (Eltoum , 2016).

2–2–4–1– تأثير نوع المحراث في مقاومة التربة للاختراق

Effect of plow type on the penetration resistance of soil

في دراسة نفذت من قبل Upadhyay و Raheman (2018) في تربة مزيجه في الهند باستعمال آلة الحراثة المركبة (المشط القرصي المسحوب + المحراث الدوراني) وثلاثة أعماق حراثة (10 و12 و14 سم)، إذ توصلوا إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من مقاومة التربة للاختراق بنسبة 53% قياساً بالحراثة التقليدية باستعمال آلات الحراثة المفردة، كما انخفضت مقاومة التربة للاختراق عند زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 14 سم بنسبة 54.54%. وفي تجربة حقلية اجرها Ren وآخرون (2019) في تربة رملية مزيجه في بلجيكا، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة المكونة من محراث حفار ومشط دوراني وثلاثة مستويات لعمق التربة (0–15 و15–30 و30–45 سم) في بعض خصائص التربة الفيزيائية ونمو وحاصل الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)، إذ لاحظوا أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من معدل قيم مقاومة التربة للاختراق بنسبة 36.84% مقارنة مع الحراثة التقليدية (محراث حفار ثم المشط)، وعللوا سبب ذلك إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من مرات المرور في الحقل الأمر الذي أدىٰ إلى تقليل كبس التربة مقارنة مع الحراثة التقليدية، كما توصلوا في نفس التجربة إلى أنَّ أعلى مقاومة تربة للاختراق سُجلت عند عمق التربة 45 سم في نهاية موسم نمو محصول الذرة الصفراء وبلغت 2000 كيلو نيوتن م$^{-2}$، في حين سجلت أقل مقاومة تربة للاختراق عند عمق التربة 0–15 سم وبداية موسم نمو محصول الذرة الصفراء وبلغت 1100 كيلو نيوتن م$^{-2}$. كما لاحظ Tya (2020) في تجربة حقلية نفذت في تربة رملية مزيجه في نيجيريا، لدراسة تأثير الحراثة بآلة الحراثة

المركبة (المحراث القرصي والمشط القرصي) وتراكيبها المفردة (المحراث القرصي والمشط القرصي) في بعض خصائص التربة الفيزيائية عند أعماق تربة مختلفة (0–10 و 11–20 و21–30 و30–40 سم)، أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة أدىٰ إلى خفض قيم مقاومة التربة للاختراق معنوياً مقارنةً مع الاستعمال المنفرد للمحراث القرصي المشط القرصي بنسبة 44.51 و54.06% على التوالي، وعزوا سبب ذلك إلى زيادة حجم التربة المفككة وانخفاض كثافتها الظاهرية عند استعمال آلة الحراثة المركبة نتيجة تقليل عدد مرات المرور، كما أكد Usaborisu وآخرون (2020) في دراسة نفذت في تربة رملية مزيجه في تايلند، لتقييم أداء آلة الحراثة المركبة المكونة من المحراث تحت سطح التربة والمشط القرصي وتأثيرها في بعض خصائص التربة الفيزيائية عند اربعة مستويات من عمق الحراثة بالمحراث تحت سطح التربة (20 و30 و40 و50 سم)، أنَّ مقاومة التربة للاختراق انخفضت بنسبة 22.38% عند زيادة عمق الحراثة بالمحراث تحت سطح التربة من 20 إلى 50 سم، وعللوا السبب إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة زاد من حجم التربة المفككة مما قلل من كثافة التربة الظاهرية وتماسكها الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض مقاومة التربة للاختراق مع زيادة عمق الحراثة، كما وجد Aldaoseri وMuhsin (2022) في تجربة حقلية أجريت بتربة غرينية مزيجه في محافظة البصرة، العراق استعمال فيها المشط القرصي والمشط الحفار، إذ توصلا إلى تفوق المشط القرصي على المشط الحفار بزيادة المحتوى الرطوبي للتربة بنسبة 18.23%.

2-2-4-2- تأثير السرعة الأمامية في مقاومة التربة للاختراق

Effect of forward speed on the penetration resistance of soil

في تجربة نفذها الساعدي (2013) في أحد الحقول الزراعية ذات نسجة طينية في مشروع المسيب– محافظة بابل، العراق، لدارسة تأثير سرعة الوحدة الميكنية في بعض خصائص التربة الفيزيائية وحاصل ومكونات محصول الذرة الصفراء، إذ توصل إلى أنَّ زيادة سرعة الحراثة من 2.34 إلى 4.75 كم ساعة$^{-1}$ أدىٰ إلى زيادة مقاومة التربة للاختراق بنسبة 38.09%، وفي تجربة نفذت من قبل عبد الله وهلال (2014) في تربة طينية في محافظة الموصل، العراق، لدراسة تأثير المحراث تحت سطح التربة ثنائي السلاح والسرعة الأمامية في بعض خصائص التربة الفيزيائية، إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2.37 إلى 3.50 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى أنَّ زيادة في مقاومة التربة

للاختراق بنسبة 33.34%. وعزوا السبب إلى زيادة تفتيت التربة مع زيادة السرعة الأمر الذي أدى إلى امتلاء مسامات التربة بدقائق التربة مما أدى إلى انخفاض مسامية التربة وزيادة كثافتها الظاهرية ومن ثَمَّ زيادة مقاومة التربة للاختراق مع زيادة السرعة الأمامية. كما لاحظ Ashour (2016) في دراسة اجراها في تربة غرينيه طينية في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة البصرة، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة (محراث حفار ومنعمة ومشط حفار) في بعض خصائص التربة الفيزيائية، تحت تأثير ثلاثة مستويات من السرعة الأمامية (1.74 و2.82 و4.50 كم ساعة$^{-1}$) إذ توصل إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.74 إلى 4.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة مقاومة التربة للاختراق بنسبة 66.67% كمعدل لإعماق التربة (0–5، 10–15، 15–20 سم)، ولاحظ أنَّ أعلى مقاومة تربة للاختراق سجلتها معاملة السرعة الأمامية العالية (4.5 كم ساعة$^{-1}$) وعمق التربة الكبير (15–20 سم) وأقل مقاومة تربة للاختراق سجلتها معاملة السرع الأمامية البطيئة (1.74 كم ساعة$^{-1}$) وعمق التربة السطحي (0–5 سم)، إذ بلغتا 2089 و1200 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي، كما لاحظ Rajeshwar و Sharma (2022) في تجربة نفذت في تربة طينية في الهند، أنَّ استعمال المحراث الحفار وزيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 3.20 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة مقاومة اختراق التربة بنسبة 21.58% ، وعزا سبب زيادة مقاومة التربة للاختراق مع زيادة السرعة الأمامية إلى زيادة تنعيم التربة ومن ثَمَّ زيادة كثافة التربة الظاهرية وانخفاض مساميتها الأمر الذي أدى إلى زيادة مقاومة التربة للاختراق.

2-2-5- الإيصالية المائية المشبعة للتربة (Ks)

Saturated hydraulic conductivity of soil (Ks)

هي أحد خصائص التربة الفيزيائية المهمة التي تتأثر كثيراً بعمليات الحراثة لما تحدثهُ من تغير في كثافة التربة الظاهرية والتوزيع الحجمي لمسام التربة وزيادة حركة الماء في مقد التربة والضروري لنمو النبات (نديوي ومعروف، 2002).

2-2-5-1-تأثير نوع المحراث في الإيصالية المائية المشبعة للتربة

Effect of plow type on the saturated hydraulic conductivity of soil

توصل Jabro وآخرون (2010) في تجربة حقلية أجريت في تربة رملية مزيجه في الولايات المتحدة الأمريكية، عند دراسة تأثير المحراث الحفار المركب (محراث حفار +امشاط ابرية) وثلاثة مستويات من عمق الحراثة 15 و25 و35 سم في بعض خصائص التربة الفيزيائية، إلى أنَّ قيم الإيصالية المائية المشبعة زادت للمحراث المركب بنسبة 56% مقارنة مع المحراث الحفار التقليدي، وعللوا السبب إلى أنَّ الحراثة التقليدية بواسطة المحراث الحفار ثم الامشاط القرصية أدىٰ إلى زيادة كبس التربة وكثافتها الظاهرية نتيجة المرور المتعدد على سطح التربة لتهيئة مرقد البذرة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض الإيصالية المائية المشبعة للتربة، كما لاحظوا أنَّ الإيصالية المائية المشبعة تزداد من 0.30 إلى 0.98 م يوم$^{-1}$ عند زيادة عمق الحراثة من 15 إلى 35 سم. وجد Salama وآخرون (2018) في دراسة نفذت في تربة طينيه مزيجه في مصر، واستعملت في الدراسة آلة الحراثة المركبة (محراث حفار + حادلة مسننة + عازفة حفارة) والحراثة التقليدية (الاستخدام المنفرد لمكونات آلة الحراثة المركبة) في خصائص التربة الفيزيائية، إذ توصلوا إلى أنَّ الإيصالية المائية المشبعة للتربة تحسنت عند استعمال آلة الحراثة المركبة إذ زادت الإيصالية المائية المشبعة بنسبة 98.29% مقارنة مع الحراثة التقليدية، وعللوا سبب ذلك إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت المرور في الحقل وانجزت معظم عمليات تحضير التربة في مرور واحد فقط مما قلل من كبس التربة وساعد ذلك على تحسن مسامية التربة وزيادة حركة الماء في مقد التربة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة الإيصالية المائية المشبعة للتربة. وفي دراسة أجراها Aday وآخرون (2019) في تربة غرينيه مزيجه في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة-جامعة البصرة، العراق، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة (المحراث تحت سطح التربة + مطرحة + مشط حفار) واعماق التربة (0-10 و10-20 و20-30 و30-40 و40-50 و50-60 سم) وعمقي حراثة المحراث تحت سطح التربة (40 و60 سم) في الإيصالية المائية المشبعة للتربة، وبينوا أنَّ الإيصالية المائية المشبعة للتربة زادت بنسبة 33.33% لآلة الحراثة المركبة مقارنة مع المحراث تحت سطح التربة التقليدي، في حين انخفضت الإيصالية المائية المشبعة للتربة عند عمق التربة (50-60 سم) قياساً بأعماق التربة الأخرى بنسبة 76.92 و75.41 و66.67 و63.41 و40.00 على التوالي، كما بينت النتائج تفوق فترة بداية الموسم بتسجيلها إيصالية مائية

مشبعة للتربة بلغت 0.42 م يوم$^{-1}$ ، في حين سجلت معاملة نهاية النمو قيمة أقل للإيصالية المائية المشبعة للتربة التي بلغت 0.35 م يوم$^{-1}$. وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Burtan وآخرون (2020) في تربة طينية مزيجه في مركز البحوث الزراعية التابع لجامعة لاسي في رومانيا، لدراسة تأثير المحراث الحفار في بعض خصائص التربة ونمو وحاصل الذرة الصفراء عند عمقي حراثة 10 و30 سم، إذ وجدوا أنَّ الإيصالية المائية المشبعة للتربة زادت معنوياُ نهاية موسم محصول الذرة الصفراء بنسبة 30.87% عند زيادة عمق الحراثة للمحراث الحفار من 10 إلى 30 سم، وعللوا زيادة الإيصالية المائية المشبعة مع الحراثة العميقة إلى زيادة حجم التربة المفككة وزيادة الفراغات المسامية بين كتل التربة مما حسن ذلك من الايصالية المائية المشبعة للتربة، ، كما ذكروا أنَّ فترة نهاية الموسم لمحصول الذرة الصفراء كانت أقل إيصالية هيدروليكية مشبعة للتربة مقارنة مع بداية الموسم بنسبة 41.35%،

2-2-5-2-تأثير السرعة الأمامية في الإيصالية المائية المشبعة للتربة

Effect of forward speed on Saturated hydraulic conductivity of soil

وجد ياغي (2015) في دراسة أجريت في تربة طينية مزيجه في سوريا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 5 إلى 7.5 كم ساعة$^{-1}$ عند استعمال الامشاط القرصية أدىٰ إلى انخفاض الايصالية المائية المشبعة بنسبة 26.78% وعزوا السبب إلى زيادة خشونة سطح التربة إذ تتناسب قيم الايصالية المائية المشبعة للتربة طردياً مع خشونة السطح نتيجة انخفاض الجريان السطحي للمياه. وفي تجربة قام بها Abagandura وآخرون (2017) في تربة رملية مزيجه في ليبيا، لدراسة تأثير السرعة الأمامية في بعض خصائص التربة الفيزيائية وحاصل ومكونات الذرة الصفراء عند استعمال المحراث الحفار، إذ توصلوا إلى أنَّ الايصالية المائية المشبعة للتربة قد زادت عند انخفاض سرعة الحراثة من 4.6 إلى 3.4 كم ساعة$^{-1}$ بنسبة 25.17% كمعدل لأعماق التربة (0-20 و20-40 و40-60 سم)، وعزوا ارتفاع قيم الايصالية المائية المشبعة للتربة مع انخفاض السرعة إلى انخفاض تفتيت التربة وزيادة الفراغات البينية بين كتل التربة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة حركة الماء في جسم التربة مما انعكس في زيادة الايصالية المائية المشبعة للتربة. كما لاحظ Thuku (2018) في دراسة نفذت في تربة طينية في نيروبي، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة (محراث حفار ومنعمة دورانية Rotor) وسرعتان أماميتان (3 و5 كم ساعة$^{-1}$) في بعض خصائص التربة الفيزيائية والميكانيكية، أنَّ زيادة

السرعة الأمامية للحراثة من 3 إلى 5 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى انخفاض الايصالية المائية المشبعة للتربة بنسبة 20.40%.

2-2-6- الإيصالية الكهربائية للتربة (EC)

ElECtrical conductivity of soil (EC)

الأملاح تتراكم في الترب المتأثرة بالملوحة بســـبب ملوحة ماء الري أو ردائه البزل أو عوامل التعرية الريحية والمائية التي تنقل عدد كبير من الأيونات المختلفة مما يؤدي إلى اتحادها مســـببة ملوحة التربة ويعبر قياس الإيصـــالية الكهربائية للتربة عن مســتوى الملوحة الفعلي ذي العلاقة بنمو النبات (Negis وأخرون، 2022)

2-2-6-1- تأثير نوع المحراث في الإيصالية الكهربائية للتربة

Effect of plow type on the electrical conductivity of soil

بين الموسوي وعبد الكريم (2016b) في دراسة أجريت في تربة طينية في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة-جامعة البصرة، أنَّ الحراثة باستعمال المحراث تحت سطح التربة المطور (إضافة أسلحة ضحلة امام المحراث تحت سطح التربة) أدىٰ إلى انخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة المشبعة (EC) بنسبة 12.04% مقارنة مع المحراث تحت سطح التربة الاعتيادي، كما توصلا إلى أنَّ زيادة عمق التربة من 0-15 إلى 40-50 سم أدىٰ إلى زيادة (EC) بنسبة 59.84%، وعللوا سبب ذلك إلى انخفاض كثافة التربة الظاهرية وزيادة مساميتها مما أدىٰ إلى صعوبة بزل الماء الفائض نتيجة لانخفاض نفاذية التربة وهذا بدوره أدىٰ إلى تجمع الأملاح وزيادة تركيزها في العمق التحتي قياساً بعمق التربة السطحي، كما توصل Aday وآخرون (2018) في دراسة أجريت في تربة غرينيه مزيجه في محافظة البصرة، العراق، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة (المحراث تحت التربة + أسلحة حفارة +مسمدة) وثلاثة مستويات من عمق حراثة المحراث تحت سطح التربة (30 و40 و50 سم) في الإيصالية الكهربائية للتربة (EC)، إلى أنَّ استعمال ألة والحراثة المركبة وزيادة عمق الحراثة من 30 إلى 50 سم أدىٰ إلى انخفاض EC بنسبة 11.80%، كما توصلوا في الدراسة نفسها إلى أنَّ قيم الإيصالية الكهربائية للتربة انخفضت نهاية الموسم مقارنة مع بداية موسم نمو محصول زهرة الشمس بنسبة 52.68%، وعزوا سبب ذلك إلى زيادة كمية المياه في التربة التي أدت إلى غسل

وتقليل تركيز الأملاح في طبقات التربة نتيجة إضافة متطلبات غسل بواقع 20٪ مع مياه الري. كما لاحظ Rizwan وآخرون (2019) في تجربة أجريت في تربة طينية مزيجه دراسة في باكستان استعمل فيها ثلاثة محاريث هي المحراث الحفار المطور المكون من أربعة صفوف تكون شكل مثلث، والمحراث الحفار التقليدي والامشاط الحفارة، أنَّ EC انخفضت عند استعمال المحراث المطور بنسبة 1.50 و2.71% مقارنة مع المحراث الحفار التقليدي والمشط الحفار على التوالي، كما وجد Negis وأخرون (2022) في دراسة أجريت في تربة طينية في تركيا، عند دراسة تأثير مجموعة مم نظم الحراثة في بعض خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية وحاصل ومكونات الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)، واشتملت الدراسة على معاملتين الأولى نظم الحراثة(آلة الحراثة المكونة من المحراث تحت سطح التربة ومحراث حفار (Scp)، الحراثة التقليدية باستعمال المحراث تحت سطح التربة ثم المحراث الحفار (CT)، والحراثة باستعمال المحراث تحت سطح التربة التقليدي (S)، والثانية عمق التربة (0–20 و20–40 سم)، أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة أدىٰ إلى خفض EC بنسبة 8.01 و12.25% مقارنة مع الحراثة التقليدية (CT) و(S) على التوالي، وارجعا سبب انخفاض (EC) مع استعمال ألة الحراثة المركبة إلى زيادة حجم التربة المفككة وتغيير التوزيع الحجمي لمسامات التربة التي ساعدت على تحسن حركة الماء في جسم التربة وغسل الأملاح بعيداً عن المنطقة الجذرية للنبات، كما أظهرت النتائج ارتفاع قيم EC عند عمق التربة الكبير(20–40 سم) قياساً بعمق التربة السطحي (0–20 سم) بنسبة 2.83 و7.28 و15.02% لنظم الحراثة Scp وCT وS على التوالي.

2-2-6-2- تأثير السرعة الأمامية في الإيصالية الكهربائية للتربة

Effect of forward speed on electrical conductivity of soil

لاحظ Jalali وآخرون (2015) في تجربة أجريت في ايران في مدينة عقلة بمحافظة كلستان في تربة طينية مزيجه، لدراسة تأثير ثلاثة محاريث (المحراث القرصي والمشط القرصي والمحراث الحفار) وأربعة سرعات امامية (4.00 و5.22 و6.40 و7.50 كم ساعة$^{-1}$) في بعض خصائص التربة الكيمائية، أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 7.50 إلى 4.00 كم ساعة$^{-1}$ قللت من قيم EC بنسبة 19.32 و24.44 و15.28% للمحراث القرصي والمشط القرصي والمحراث الحفار على التوالي، كما توصل Abbaspour-Gilandeh وآخرون (2016) في تجربة أجريت في تربة طينية في إيران، إلى أنَّ انخفاض السرعة الأمامية للحراثة بالمحراث الحفار من 9.5 إلى 6 كم ساعة$^{-1}$ أدىٰ

إلى انخفاض EC بنسبة 12.46%, وعللوا سبب انخفاض EC مع سرعة الحراثة البطيئة إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة مساميتها، فضلاً عن تحسن بزل التربة الأمر الذي أدىٰ إلى غسل الأملاح وانخفاض EC، وفي تجربة نفذت من قبل Kakahy وآخرون (2021) في تربة طينية مزيجه في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة – جامعة كركوك، العراق، لدراسة تأثير السرعة الأمامية في خصائص التربة للمنعمة الدورانية، إذ توصلوا إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 2.86 إلى 1.72 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى خفض EC بنسبة 7.51%، وعزوا سبب انخفاض EC إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية الأمر الذي انعكس على زيادة بزل الماء وغسل الأملاح مما أدىٰ إلى انخفاض (EC).

2-3- صفات النمو وحاصل النبات

Growth parameters and plant yield

2-3-1- تأثير نوع المحراث في بعض صفات النمو والحاصل

Effect of plow type on some growth and yield parameters

أوضح Liu وآخرون (2015) في تجربة أجريت في تربة طينية غرينيه مزيجه في الصين، لدراسة تأثير آلة الحراثة المركبة وتراكيبها في بغض خصائص التربة وحاصل ومكونات الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)، أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة (محراث حفار + حادلة) أدىٰ إلى زيادة حاصل الحبوب للذرة الصفراء بنسبة 18.50% مقارنة مع الحراثة التقليدية (الاستعمال المنفردلآلات الحراثة)، وعللوا سبب زيادة حاصل الحبوب إلى تحسن خصائص التربة عند تحضير التربة بواسطة ألة الحراثة المركبة الأمر الذي أثر إيجاباً في زيادة حاصل الحبوب، وفي دراسة نفذت من قبل عداي وآخرون (2016) في تربة طينية في شمال محافظة البصرة، العراق، لدراسة تأثير مجموعة من المحاريث في نمو وحاصل محصول الذرة الصفراء (*Zea mays* L.)، إذ لاحظوا أنَّ أنَّ معامله المحراث المركب (المحراث تحت سطح التربة + مطرحة) تفوقت في زيادة صفة ارتفاع النبات بنسبة 10.80 و23.38% وزيادة صفة والوزن الجاف بنسبة 5 و9.15% وزيادة حاصل الحبوب بنسبة 30.10 و36.06% مقارنة مع المحراث تحت سطح التربة التقليدي والامشاط الحفارة على التوالي، وعزوا سبب تحسن صفات نمو وحاصل الذرة الصفراء مع استعمال المحراث المركب إلى زيادة حجم التربة

المفككة مما أدىٰ إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة الأمر الذي ساعد على انشار المجموع الجذري في التربة والاستفادة من أكبر قدر من الرطوبة والعناصر الغذائية، فضلاً عن زيادة نشاط الاحياء المجهرية التي تسبب تحلل المادة العضوية وتجعلها جاهزة للنبات مما أدىٰ إلى تحسن نمو وحاصل الحبوب. وفي دراسة نفذت من قبل Suliman وElamin (2021) في تربة طينية في السودان، لبيان تأثير أنظمة حراثة مختلفة على بعض صفات والنمو وحاصل الذرة الصفراء، حيث استعمل في الدراسة آلة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار + مشط قرصي، ومحراث حفار، وأمشاط قرصية فقط، إذ وجدا أنَّ معاملة آلة الحراثة المركبة أدت إلى زيادة حاصل حبوب الذرة الصفراء بنسبة 21.43 و 28.47% مقارنة مع استعمال المحراث الحفار والمشط القرصي على التوالي، وعللوا زيادة الحاصل إلى زيادة حجم التربة المفككة عند استعمال آلة الحراثة المركبة وانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة ومقاومتها للاختراق مما ساعد على انتشار المجموع الجذري للنبات الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة الحاصل. كما وجد Ramadhan (2021) في تجربة حقلية نفذها في تربة طينية غرينيه في محافظة البصرة، العراق، لدراسة تأثير الحراثة في خصائص التربة ومكونات وحاصل الذرة الصفراء، واشتملت على معاملات الحراثة الآتية: المعاملة الأولى (المحراث تحت سطح التربة ثنائي السلاح يعمل على عمق 40 سم، والمعاملة الثانية (محراث حفار يعمل على عمق 30 سم)، أنَّ معاملة الحراثة الأولى تفوقت على معاملة الثانية في زيادة ارتفاع النبات والوزن الجاف وحاصل الحبوب بنسبة 13.22 و5.00 و33.34% على التوالي، وعلل السبب إلى امكانية الحراثة العميقة من تكسير طبقات التربة التحتية المرصوصة الأمر الذي يحسن من خصائص التربة، مما انعكس في انتشار جذور النبات والاستفادة أكثر من الماء والعناصر المغذية ، الأمر الذي حسن من نمو محصول الذرة الصفراء عند الحراثة بالمحراث تحت سطح التربة قياساً بالمحراث الحفار. وفي تجربة حقلية نفذت من قبل Negis وأخرون (2022) في تربة طينية في تركيا، لدراسة تأثير آلة الحراثة المكونة من المحراث تحت سطح التربة ومحراث حفار والحراثة التقليدية بواسطة المحراث تحت سطح التربة ثم المحراث الحفار على مكونات وحاصل نبات الذرة الصفراء، إذ لاحظا تفوق آلة الحراثة المركبة في زيادة الوزن الجاف وحاصل الحبوب بنسبة 10.05 و17.22% على التوالي قياساً مع استعمال المحراث تحت سطح التربة ثم المحراث الحفار، وعللا تفوق ألة الحراثة المركبة في زيادة الوزن الجاف وحاصل الحبوب إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية مما أثر إيجاباً على

انتشار جذور النبات وزيادة قابليتها على امتصاص الماء والعناصر الغذائية الأمر الذي شجع على زيادة المادة الجافة المخزنة في النبات ودورها الإيجابي في زيادة حاصل الحبوب.

2-3-2- تأثير السرعة الأمامية في بعض صفات النمو والحاصل

Effect of forward speed on some growth and yield parameters

لاحظ الساعدي (2013) في تجربة نفذها في تربة ذات نسجة طينية في محافظة بابل، العراق، لدارسة تأثير سرعة الوحدة الميكنية في بعض خصائص التربة الفيزيائية وحاصل ومكونات محصول الذرة الصفراء، إذ توصل إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة باستعمال المحراث الحفار من 4.75 إلى 2.34 كم ساعة$^{-1}$ أدىٰ إلى زيادة الوزن الجاف وحاصل الحبوب بنسبة 11.76 و20.21% على التوالي. كما وجد ياغي (2015) في تربة طينية مزيجه في سوريا أنَّ خفض السرعة الأمامية من 7.5 إلى 5 كم ساعة$^{-1}$ عند استعمال الامشاط القرصية أدىٰ إلى زيادة ارتفاع النبات الوزن الجاف وحاصل الحبوب بنسبة 37.8 و31.50 و15.89% على التوالي، وعزا السبب إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة أدىٰ إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية من خلال تفكيك التربة وزيادة مساميتها وانخفاض كثافتها الظاهرية وهذا ساعد على تحسن ظروف نمو النبات وزيادة حاصل الحبوب. كما لاحظ Abagandura وآخرون (2017) في دراسة أجريت في تربة رملية مزيجه في ليبيا باستعمال المحراث الحفار المطور بإضافة عوارض حديدية على جانبي الساق، أنَّ مكونات حاصل نبات الذرة الصفراء المتمثلة بارتفاع النبات والوزن الجاف وحاصل الحبوب قد زادت عند انخفاض سرعة الحراثة من 4.6 إلى 3.4 كم ساعة$^{-1}$ بنسبة 22.5 و51.11 و 40% على التوالي. وفي دراسة نفذت من قبل جاسم وآخرون (2018) في أحد حقول كلية الزراعة في جامعة بغداد، العراق، في تربة طينية مزيجه، لدراسة تأثير السرعة في نمو وحاصل الذرة الصفراء باستعمال الة مركبة (محراث حفار + مرازة + باذرة)، إذ لاحظوا أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 5.80 إلى 3.75 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة ارتفاع النبات و حاصل الحبوب بنسبة طفيفة بلغت 3.20 و2.43% على التوالي. في دراسة نفذاها Amer و Jebur (2021) في احد حقول كلية الزراعة جامعة بغداد في تربة ذات نسجة طينية غرينية

مزيجه، استعملت فيها ألة حراثة مركبة تحت تأثير ثلاث سرعات امامية (2.06 و2.85 و3.14 كم ساعة$^{-1}$)، لبيان تأثير سرعة الحراثة في نمو وحاصل الحنطة، إذ لاحظا أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 3.14 إلى 2.06 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة ارتفاع النبات وحاصل الحبوب لمحصول الحنطة بنسبة 7.51 و 51.84% على التوالي.

2-4- المؤشرات الاقتصادية EConomic indicators

التكاليف الاقتصادية هي التكاليف الناشئة من تشغيل المعدات والآلات الزراعية وتعد عامل مهم في تقييم أداء المعدات والآلات الزراعية، إذ من الافضل اختيار المعدات والآلات الزراعية التي تحقق إنتاجية عالية وخفض تكاليف التشغيل. لذا يجب تشغيل الآلات والمعدات الزراعية بكامل طاقتها الانتاجية لكي تغطي التكاليف الكبيرة المصروفة لشرائها وتشغيلها وادامتها والا لكان استعمال الآلات والمعدات الزراعية في القطاع الزراعي سبباً في تكبد خسائر في الدخل القومي نتيجة لتعطيل رؤوس أموال كثيرة مستثَّمَرة في القطاع الزراعي من دون زيادة في الانتاج Poozesh وآخرون (2012).

وتقدر تكاليف تشغيل الساحبات والمعدات الزراعية في معظم الأحيان كتكاليف تشغيل بالنسبة للزمن (دينار ساعة$^{-1}$)، او كتكاليف تشغيل بالنسبة للمساحة (دينار هكتار$^{-1}$) او (دينار دونم$^{-1}$) (جاسم وآخرون، 2017).

تقسم تكاليف تشغيل الآلات والساحبات الزراعية إلى :-

2-4-1- التكاليف الثابتة Fixed costs

إنَّ التكاليف الثابتة تعرف بأنها التكاليف التي لا تتغير سواء استعمالت الجرارات والآلات في العمل او لم تستخدم (Ramos، وآخرون 2020). إذ أشار جاسم وآخرون (2017) إلى أنَّ الكلفة الثابتة للوحدة الميكنية تشكل نسبة كبيرة من مجموع كلفة استعمالها، وان التكاليف الثابتة تشتمل على الاندثار (الاستهلاك) والفائدة على رأس المال والتأمين والمأوى والضرائب.

2-4-2- التكاليف المتغيرة (تكاليف التشغيل) Variable costs (Operating costs)

يطلق عليها ايضاً بالتكاليف المباشرة (DirECt Costs). وهي التكاليف التي تتغير مع مقدار العمل المنتج من الآلة، إذ التكاليف التي تنجم عن تشغيل الآلة تزداد بزيادة التشغيل وتقل بانخفاضه الطحان وآخرون (1991) و (Molenhuis ,2020). وتشتمل هذه التكاليف على الفقرات الآتية:

2-4-2-1- تكاليف الوقود Fuel costs

تعد من البنود المهمة لحساب التكاليف المتغيرة (المباشرة) لاستعمال الجرارات والآلات الزراعية، وتعتمد كمية الوقود المستهلك من قبل الجرار على عدة عوامل منها: قدرة محرك الجرار ونوع الوقود ومعدل استهلاك الوقود (Sarauskis وآخرون، 2012).

2-4-2-2- تكاليف الزيوت Oil costs

من الضروري تغيير زيت محرك الجرار الزراعي كل 100 إلى 150 ساعة من العمل حسب التعليمات الدورية المتبعة لتشغيل معظم الجرارات والمعدات الزراعية ذاتية الحركة. أنَّ استهلاك الزيوت من قبل الجرار لهُ ارتباط وثيق بعدد ساعات التشغيل، فقد وجد أنَّ انسب الطرائق لحساب تكاليف الزيوت هي ربطها بمعدل استهلاك الوقود (Archer وReicosk ، 2009).

2-4-2-3- تكاليف الصيانة والتصليح Maintenance and repair costs

تعد تكاليف الاصلاح والصيانة جزءاً مهماً من التكاليف المتغيرة (المباشرة)، إذ كلما استعملت الآلة أكثر كثرت حاجتها للصيانة والإصلاح، وتتوقف تكاليف الصيانة والتصليح على الاهتمام بالآلة وادامتها وتطبيق فقرات الصيانة الدورية عليها في مواعيدها وبالوقت المحدد، وعلى وظروف عمل الآلة وعمرها الاقتصادي وثَّمَن شرائها Poozesh وآخرون (2012)

2-4-2-4- أجور العمال Labour cost

تعتبر أجور العمال من البنود المهمة والمؤثرة في التكاليف المتغيرة التابعة لتشغيل المعدات والآلات الزراعية، لارتباطها ارتباطاً وثيقاً بعدد ساعات العمل الفعلية للآلة. إذ أنَّ أجور العمالة الزراعية تختلف تبعاً لطبيعة العمل والمهارة التي يمتلكها القائم بتنفيذ العمليات الزراعية لذا يستوجب استعمال المعدات والآلات والجرارات الزراعية إلى عمالة ماهرة ومتخصصة ذات خبرة في تشغيل المعدات والآلات الزراعية (Molenhuis ,2020).

2-4-3- التكاليف الكلية Total costs

هي مجموع التكاليف الثابتة والمتغيرة لتشغيل المعدات والآلات الزراعية (جاسم وآخرون، 2017).

2-4-3-1- تأثير نوع المحراث في التكاليف الكلية

Effect of plow type on the total costs

لاحظ Sarauskis وآخرون (2012) في دراسة أجريت في ليتوانيا في تربة طينية مزيجه، لتقدير التكاليف الاقتصادية لعملية الحراثة باستعمال معدات حراثة مختلفة شملت ألات حراثة مفردة وألة حراثة مركبة مكونة من محراث حفار وحادلة، أنَّ آلة الحراثة المركبة خفضت التكاليف الكلية قياساً بالحراثة التقليدية (استعمال المحراث الحفار ثم الحادلة) بنسبة 18.78%، وعللوا سبب انخفاض التكاليف مع استعمال آلة الحراثة المركبة إلى دورها الإيجابي في تقليل عدد مرات المرور في الحقل مما قلل من معدل الزمن اللازم لعملية الحراثة وهذا بدوره أدىٰ إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود اللازم للحراثة في وحدة المساحة، فضلاً عن تقليل العمالة مما قلل من تكاليف عملية الحراثة مع استعمال آلة الحراثة المركبة. كما توصلوا بنفس الدراسة إلى أنَّ الحراثة العميقة بواسطة المحراث الحفار على عمق 48 سم مقارنة مع الحراثة بالمشط القرصي على عمق 15 سم أدت إلى زيادة التكاليف بنسبة 44.10%. كما ذكر Prem وآخرون (2016) أنَّ الحراثة بآلات الحراثة المركبة مقارنةً مع الاستعمال المنفرد لآلات الحراثة لتهيئة مرقد البذرة قد خفضت التكاليف الكلية بحدود من 20 %. وارجعوا السبب إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من المرور في الحقل مما انعكس إيجاباً في تقليل التكاليف الكلية. وتوصل Aldoshin وآخرون (2020) أثناء تجربة نفذت في أوزبكستان في تربة طينية لدراسة تأثير استعمال آلة الحراثة المركبة في التكاليف الكلية، إلى أنَّ الحراثة بواسطة آلة الحراثة المركبة مكونة من محراث دوراني وفاتحة سواقي وحادلة مسننة أدت إلى تقليل التكاليف الكلية بنسبة 25% مقارنةً مع الحراثة التقليدية باستعمل وحدات ألة الحراثة المركبة كلاً على انفراد. ولاحظ Juraev وآخرون (2021) في تجربة نفذت في تربة طينية غرينية مزيجه في أوزبكستان أنَّ استعمال آلة الحراثة المركبة متعددة المهام المكونة من مشط قرصي مزدوج ومحراث حفار وسكين تسوية أدىٰ إلى تقليل تكاليف معدل استهلاك الوقود والعمالة بنسبة 30.37 و 51.74% على التوالي، أما التكاليف الكلية فقد انخفضت بنسبة 40.48%، وعزوا السبب إلى أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من

عدد مرات المرور بالحقل إلى ثلاث مرات مما أدىٰ إلى تقليل معدل استهلاك الوقود وتكاليف التشغيل الأخرى الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض تكاليف التشغيل الكلية مع استعمال ألة الحراثة المركبة. كما أكد Bovas وآخرون (2022) في دراسة أجريت في الهند في تربة طينية غرينيه لدراسة تأثير استعمال ألة الحراثة المركبة المكونة من مشط حفار + مشط قرصي مصنعة محليا على مؤشرات الأداء والتكاليف الكلية، أنَّ ألة الحراثة المركبة قللت التكاليف الكلية بنسبة 21.38% مقارنة مع الاستعمال المنفرد لوحداتها، كما توصلوا في الدراسة نفسها إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 20 سم أدىٰ إلى زيادة التكاليف الكلية بنسبة 30.74%، وارجعوا سبب زيادة التكاليف مع زيادة عمق الحراثة إلى زيادة متطلبات الطاقة الناتجة من زيادة حجم التربة المفككة الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة معدل استهلاك الوقود وهذا أدىٰ إلى زيادة تكاليف التشغيل الكلية مع زيادة عمق الحراثة.

2-4-3-2- تأثير السرعة الأمامية في التكاليف الكلية

Effect of forward speed on total costs

وجد Kichler وآخرون (2011) في دراسة نفذت في تربة طينية مزيجه في الولايات المتحدة الأمريكية استعمل فيها محراث حفار مطور مزود بزعانف عريضة على جانبي الساق، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.5 إلى 5.5 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى خفض تكاليف التشغيل بنسبة 22.98%، وعزوا السبب إلى زيادة الإنتاجية العملية عند زيادة السرعة الأمامية مما أدىٰ إلى انخفاض معدل الزمن اللازم لحراثة التربة، فضلاً عن تقليل الوقود المستهلك مما أثر إيجاباً في تخفيض التكاليف المتغيرة بشكل مباشر ومن ثَمَّ تقليل التكاليف الكلية للوحدة الميكنية. وفي تجربت نفذت من قبل منخي وجاسم (2013) في محطة الأبحاث الزراعية التابعة لكلية الزراعة جامعة بغداد، العراق، في تربة مزيجه طينية غرينيه، لدراسة تأثير سرعة الأمامية في التكاليف الكلية للمحراث التحتي المحور محلياً Sweep Plow (مزود بأسلحة عريضة على شكل حرف v). إذ توصلوا إلى السرعة الأمامية العالية (6.65 كم ساعة$^{-1}$) تفوقت بتحقيق أقل تكاليف كلية مقارنة السرعة الأمامية البطيئة (2.45 كم ساعة$^{-1}$) بنسبة 55.25%، وعللا سبب انخفاض التكاليف الكلية مع زيادة السرعة وانخفاض عمق الحراثة إلى زيادة الإنتاجية العميلة وتقليص معدل الزمن اللازم للحراثة مما قلل من معدل استهلاك الوقود الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض التكاليف الكلية. وفي دراسة أجريت Jasim و Jwer (2018) في احد حقول كلية الزراعة في الجادرية في جامعة بغداد، العراق، في تربة غرينيه

لدراسة تأثير استعمال ألة حراثة مركبة متعددة المهام مكونة من محراث حفار ومشط دوراني وباذرة على خصائص التربة الفيزيائية والتكاليف الكلية للوحدة الميكنية عند سرعات امامية مختلفة، إذ توصلا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.15 إلى 6.10 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى خفض التكاليف الثابتة والمتغيرة والتكاليف الكلية للوحدة الميكنية بنسبة 7.5 و 51.40 و57.90% على التوالي، وعللا سبب ذلك إلى زيادة أنَّ السرعة الأمامية أدت إلى زيادة الإنتاجية الفعلية للألة المركبة وانخفاض اللازم لحراثة الهكتار الواحد الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض تكاليف التشغيل مع زيادة السرعة الأمامية كما بين Myalo وآخرون (2019) في دراسة اجروها في تربة طينية في روسيا لدراسة تأثير ألة الحراثة المركبة المكونة من مشط قرصي وحادلة في التكاليف المتغيرة (تكاليف الوقود والزيوت والعمالة) والتكاليف الثابتة (الاندثار والفائدة على رأس المال)، أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.5 إلى 6.87 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى خفض التكاليف الثابتة والمتغيرة والكلية بنسبة 18.5 و23.58 و40.08% على التوالي. وفي تجربة حقلية نفذها Taha و Taha (2019) في احد الحقول الزراعية التابعة للمعهد التقني في المسيب في تربة طينية مزيجه، لدراسة تأثير ألة حراثة مركبة (فاتحة سواق + مشط قرصي) في التكاليف الكلية للحراثة تحت تأثير ثلاثة مستويات من السرعة الأمامية (3.17، 4.39، 5.48 كم في الساعة $^{-1}$). إذ وجدا أنَّ السرعة الأمامية العالية (5.48 كم ساعة $^{-1}$) حققت أقل تكاليف كلية التي بلغت 22255 دينار هكتار$^{-1}$، في حين كانت أنَّ السرعة الأمامية البطيئة (3.17 الساعة $^{-1}$) سجلت أعلى تكاليف كلية التي بلغت 59055 دينار هكتار$^{-1}$، وعللا سبب انخفاض التكاليف مع زيادة سرعة الحراثة وانخفاض عمق الحراثة إلى انخفاض معدل الزمن اللازم لعملية الحراثة مع زيادة السرعة، فضلاً عن انخفاض متطلبات الطاقة مع انخفاض العمق مما أدىٰ إلى خفض التكاليف التشغيلية المتمثلة بمعدل استهلاك الوقود والزيوت والعمالة وتكاليف الصيانة الأمر الذي أدىٰ إلى خفض التكاليف الكلية.

3- المواد وطرائق العمل Materials and methods

3-1- تصميم وتصنيع الة تهيئة التربة المركبة

Design and manufacture of combined soil preparation machine

تَمَّ تصميم وتصنيع آلة تهيئة التربة المركبة (آلة الحراثة المركبة) (ملحق 1) في ورش قسم المكائن والآلات الزراعية في كلية الزراعة–جامعة البصرة. يمكن لآلة تهيئة التربة المركبة أنَ تنجز عمليات تهيئة التربة وتحضير مهد البذرة بمرور واحد في الحقل، إذ تقوم بعملية الحراثة العميقة والتقليدية وتنعيم التربة وحدلها بمرور واحد على سطح الحقل.

إن القطع المعدنية التي تم اختيارها لتصنيع أجزاء آلة تهيئة التربة المركبة تم أجراء اختبار الشد لها وذلك من أجل التعرف على مدى مقاومة تلك القطع الحديدية للشد لذا فإن النموذج المراد اختباره يجب أن يكون نموذجاً قياسياً من حيث الشكل والطول وحسب المواصفات القياسية الأمريكية ASTM عندما:

$$L_o = 3.6\sqrt{Th * w} \qquad (2)$$

إذ أنَّ:

حيث إن:

L_o : طول النموذج المطلوب (القطعة) (ملم).

Th : سمك النموذج (ملم)

W : عرض النموذج (ملم)

3.6 : معامل ثابت

تم تهيئة النماذج للقطع المراد إجراء الاختبار عليها وفقاً المواصفات والأبعاد المعتمدة من قبل ASTM في كلية الهندسة جامعة البصرة وفيما يأتي عرض نتائج اختبار الشد وألتركيب الكيميائية لأجزاء آلة الحراثة المركبة في الجدولين 1 و2.

جدول (1) نتائج اختبار الشد لأجزاء آلة الحراثة المركبة

النماذج	ابعاد النموذج		مقاومة الشد القصوى (ميكا باسكال)	اجهاد الخضوع (ميكا باسكال)
	العرض (ملم)	السمك (ملم)		
الهيكل	23	7	450	280
ساق المحراث الحفار	25	8	675	345
ساق المحراث الحفار	25	8	540	295
القدم	24	6	810	550
الامشاط القرصية	23	8	940	620
الحادله	20	10	315	185

جدول (2) التركيب الكيميائي والخواص اليكانيكية لأجزاء آلة الحراثة المركبة

أجزاء الآلة المركبة	الهيكل	الساق (المحراث الحفار ومحراث تحت سطح التربة)	القدم	الامشاط القرصية	الحادلة
نوع المعدن (الصلب)	AISI 1020	AISI 1045	AISI 4320	AISI 1060	AISI 1010
كاربون (C%)	0.18	0.45	0.22	0.60	0.10
منغنيز (Mn%)	0.80	0.80	0.60	0.75	0.45
كروم (Cr%)	–	0.40	0.40	–	–
كبريت (S%)	0.04	0.05	–	0.002	0.004
نيكل (Ni%)	–	–	1.65	–	–
فسفور (P%)	0.06	0.05	–	0.004	0.002
سيلكون (Si%)	–	–	0.20	–	–
موليبدنوم (Mo%)	–	0.3	0.30	–	–
الخواص اليكانيكية					
نسبة الاستطالة (%)	35	27	22	20	30
اجهاد الخضوع (ميكا باسكال)	284	353	465	475	200
الصلادة HB	114	149	153	160	110
مقاومة الشد (ميكا باسكال)	380	625	515	587	320

بعدما تم تصميم وتثبيت أبعاد أجزاء آلة الحراثة المركبة نظرياً بالقياسات والأبعاد المطلوبة وتحديد نوع المعدن الملائم لها وما يمتلكه من تركيبة كيميائية وخواص ميكانيكية جيدة تعكس مدى تحمله للإجهادات المسلطة.

وتتميز آلة الحراثة المركبة بانها تجز أكثر من عملية في وقت واحد (مرور واحد في الحقل) متمثلة بالحراثة التقليدية بواسطة المحراث الحفار والحراثة العميقة بواسطة المحراث تحت سطح التربة وتفتيت وتنعيم التربة بواسطة الامشاط القرصية وتعديل وتهيئة التربة وتسويتها بواسطة الحاذلة وذلك لإتمام تهيئة التربة للبذار والزراعة. كما انها تقلل من ورص التربة وتدهور خصائصها من خلال اعداد وتهيئة مهد البذرة في مرور واحد، فضلاً عن اختصارها للوقت اللازم لتحضير مهد البذرة ومن ثَمَّ زيادة المساحة المعاملة بوحدة معدل الزمن. كما تتميز آلة الحراثة المركبة بسهولة تنظيمها وربطها مع الجرار الزراعي كما يمكن فصل أجزاء الآلة المركبة واستعمالها بتراكيب مختلفة في عمليات الحراثة المتنوعة. تتكون آلة تهيئة التربة المركبة من الأجزاء الآتية:

3-1-1- الهيكل The frame

الهيكل (شكل 2 وملحق 3) مستطيل الشكل ابعاده 355*170 سم، يتكون من حديد مربع مجوف ذي متانة عالية قياس 10*10 سم وسمكة 1سم، يتكون هيكل آلة تهيئة التربة المركبة من ثلاثة أجزاء. الجزء الأول (شكل 4 وملحق 3 (1)) مخصص للمحراث الحفار والمحراث تحت سطح التربة الذي ابعاده 120*170 سم والجزء الثاني (شكل 3 وملحق 4 (6) مخصص للأمشاط القرصية الذي ابعاده 12*170 سم والجزء الثالث (شكل 7 وملحق 3 (12)) مخصص للحادلة الذي ابعاده 150*87 سم، ترتبط الأجزاء الثلاث مع بعضها ببعض بشكل مفصلي مما يسمح لكل جزء من الحركة بحرية اثناء عملية الحراثة. كما زود الهيكل بثلاث نقاط شبك هي نقطة الشبك العليا (شكل 3 وملحق 2 (7)) لربط الذراع الثالث الموجود على الجرار بها، أما نقطتي الشبك السفليتين (شكل 2 وملحق 2 (5)) فتستخدمان لربط ذراعي الجهاز الهيدروليكي للجرار لرفع وخفض آلة تهيئة التربة المركبة، والتحكم بالعمق الذي تعمل عنده. تبعد النقطة العليا عن النقطتين السفليتين بمسافة 60 سم، في حين النقطتين السفليتين تبعدان عن بعضهما البعض بمسافة 70 سم.

3-1-2- المحراث الحفار Chisel plow

يتكون هيكل المحراث الحفار اطار مستطيل (شكل 4 ب وملحق 3 (1 و5)) ابعاده 70*170 سم، يتكون من حديد مربع مجوف ذي متانة عالية قياسة 10*10 سم وسمكة 1سم، ثبتت قطع حديد الهيكل بعضها ببعض تثبيتاً محكماً بواسطة مسامير شد (براغي). وينقسم هيكل المحراث إلى قسمين، القسم الأول (شكل 4 ب وملحق 3 (1)) مخصص لتثبيت أسلحة المحراث الحفار عليه، يتكون هيكل المحراث الحفار من خمسة أسلحة حفارة (شكل 1 وملحق 2 (1)) مصنوعة من الحديد الصلب ذي متانة عالية لكي يتحمل السلاح الاجهادات المسلطة علية اثناء التجارب. طول وعرض وسمك السلاح 80 و10 و1.5 سم على التوالي، وضعت الأسلحة على الهيكل بزاوية ميل أمامية Rake angle مقدارها 60 درجة (Moeinfar ، واخرون 2014) وذلك لزيادة قابلية الأسلحة الحفارة على اختراق التربة وتقليل متطلبات السحب. وزعت أسلحة المحراث الخمسة على الهيكل بصفين، صف أمامي يحتوي على ثلاثة أسلحة وصف خلفي يحتوي على سلاحين (شكل 3 وملحق 2 (8)) ، وضعت الأسلحة بالصفين بشكل متبادل بعضهما ببعض، وتبعد أسلحة الصف الامامي عن الأسلحة في الصف الخلفي مسافة مقدارها 30سم. ثبتت الأسلحة الحفارة على هيكل المحراث بواسطة أربعة قطع من حديد الزاوية قياس 5*5 سم وسمك 0.5 سم، إذ ثبت الساق بوضعه بين الزوج العلوي (ملحق 3 (4)) والزوج السفلي (ملحق 4 (4)) لحديد الزاوية المثبتة على الهيكل بواسطة مسامير شد (براغي). وقد ثبتت الأسلحة بصورة محكمة ليتحمل السلاح الإجهادات والصدمات الفجائية أثناء عملية الحراثة.

3-1-3- المحراث تحت سطح التربة Subsoiler

يستعمل المحراث تحت سطح التربة في تفكيك التربة التي تحتوي على طبقه مرصوصة عند العمق، عند استعمال المحراث تحت سطح التربة ينشأ نوعين من التفكيك، الأول يطلق علية بالتفكيك الهلالي (Crescent failure) لأنَّ المنظر الرأسي للتربة المفككة يشبه شكل الهلال حيث يقوم المحراث تحت سطح التربة بدفع التربة إلى الإمام وإلى الأعلى والجوانب وتعتمد الحركة إلى الامام على زاوية ميل ساق للمحراث الأمامية التي يطلق عليها (Rake angle) مما يؤدي إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة وزيادة مساميتها وهذا احد الاهداف الأساسية لاستعمال المحراث تحت سطح التربة. أما النوع الثاني من التفكيك فيسمى بتفكيك الكبس (Compression failure) وفي هذا النوع من التفكيك تندفع التربة إلى الامام والجوانب بسبب المقاومة العالية للتربة السطحية على التربة التي تحتها فتمنع حركتها

إلى الأعلى مما تضطر التربة للحركة إلى الجانب مؤديا هذا إلى كبس التربة وهذا النوع من تفكيك التربة غير مرغوب فيه ويجب تقليله إلى أقل حد ممكن، لذلك صممت آلة الحراثة المركبة لتفكيك أكبر حجم من التربة والتقليل من تفكيك الكبس وذلك يتم من خلال التصميم الهندسي للآلة المركبة الذي يسمح بتداخل عمل المحراث تحت سطح التربة والمحراث الحفار الذي تعمل اسلحتة امام المحراث تحت سطح التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تفكيك التربة. تم تثبيت سلاح المحراث تحت سطح التربة (شكل 6 أ وملحق 3 (7)) مع القسم الثاني من الهيكل (شكل 4 ب وملحق 3 (5)) الذي أبعاده 50* 170 سم تم تصنيع سلاح المحراث تحت التربة من حديد عالي المتانة الذي طوله وعرضة وسمكه 120 و20 و2.5 سم على التوالي. ثبت سلاح المحراث له بزاوية ميل أمامية Rake angle مقدارها 60 درجة، وتم وضع سلاح المحراث تحت سطح التربة خلف الصف الخلفي لأسلحة المحراث الحفار بمسافة مقدارها 40 سم ويتخذ سلاح المحراث تحت سطح التربة موضعا وسطيا على الهيكل وعلى نفس خط سلاح المحراث الحفار الوسطي الموجود في الصف الامامي، إذ يعمل السلاح الوسطي للمحراث الحفار على تفكيك التربة امام سلاح المحراث تحت سطح مما يقلل من مقاومة التربة للتفكك من قبل سلاح المحراث تحت سطح التربة. تم تثبيت سلاح المحراث تحت سطح التربة على الهيكل من خلال زوجين من حديد الزاوية زوج علوي وزوج سفلي قياسهما 10*10 سم وسمكها 1سم بوساطة مسامير تثبيت (براغي) ويمتد حديد الزاوية من بداية هيكل المحراث الحفار حتى نهاية هيكل المحراث تحت سطح التربة إذ يثبت عليها ايضاً سلاح المحراث الحفار الأوسط الموجود في الصف الامامي للمحراث الحفار إذ يعمل هذا السلاح الحفار امام سلاح المحراث تحت سطح التربة مباشرةٍ، ويبعد سلاح المحراث تحت سطح التربة رأسياً عن سلاح المحراث الحفار في الصف الخلفي للمحراث الحفار بمسافة 40 سم وعن الصف الامامي للمحراث الحفار بمسافة 60 سم إذ تعمل المحاريث الحفارة كأسلحة ضحلة امام المحراث تحت سطح التربة (شكل 3) لتحسين الأداء الحقلي للمحراث تحت سطح التربة. زود ساق المحراث تحت التربة بزوجين من الثقوب لتغير عمق المحراث بحسب عمق الحراثة المطلوب.

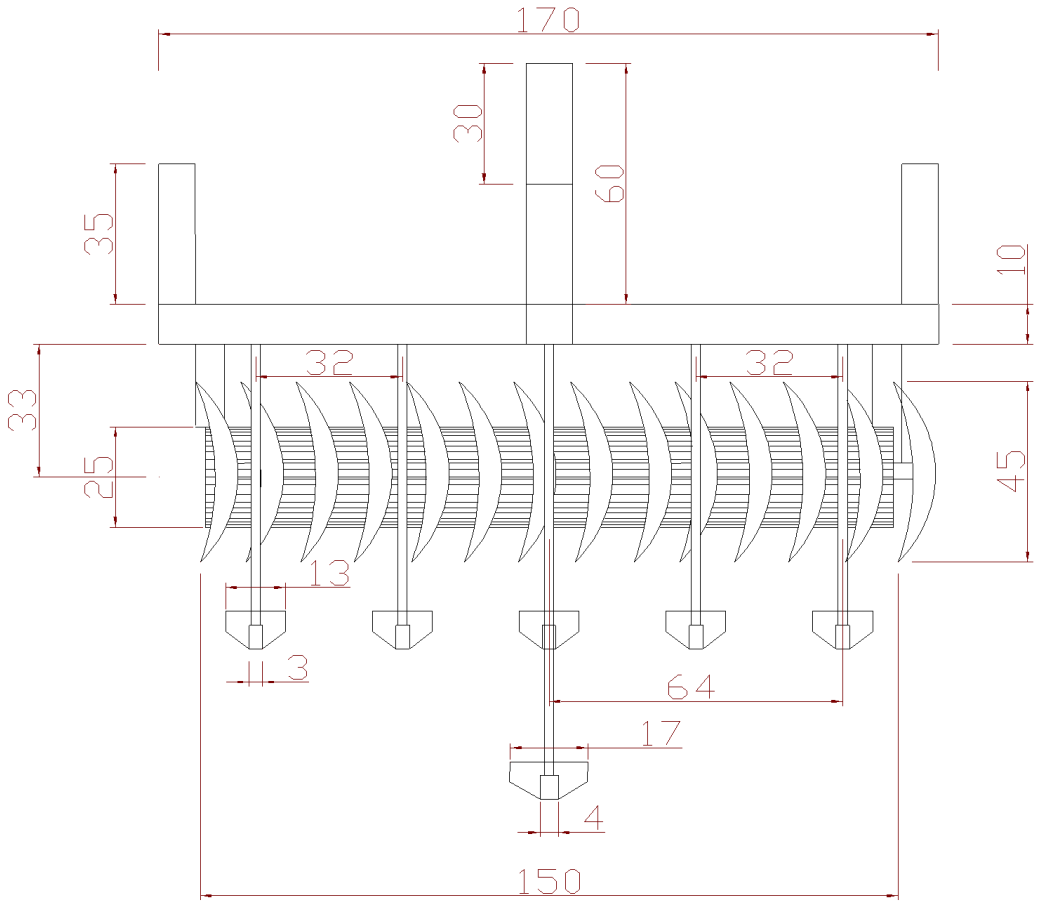
3-1-4- الامشاط القرصية Disk harrow

ينتج من حراثة التربة بواسطة المحراث الحفار والمحراث تحت سطح التربة كتل كبير لابد من تنعيها لتهيئة مهد البذرة ومن أجل ذلك تم استعمال الامشاط القرصية كجزء من آلة تهيئة اتربة المركبة لتقوم

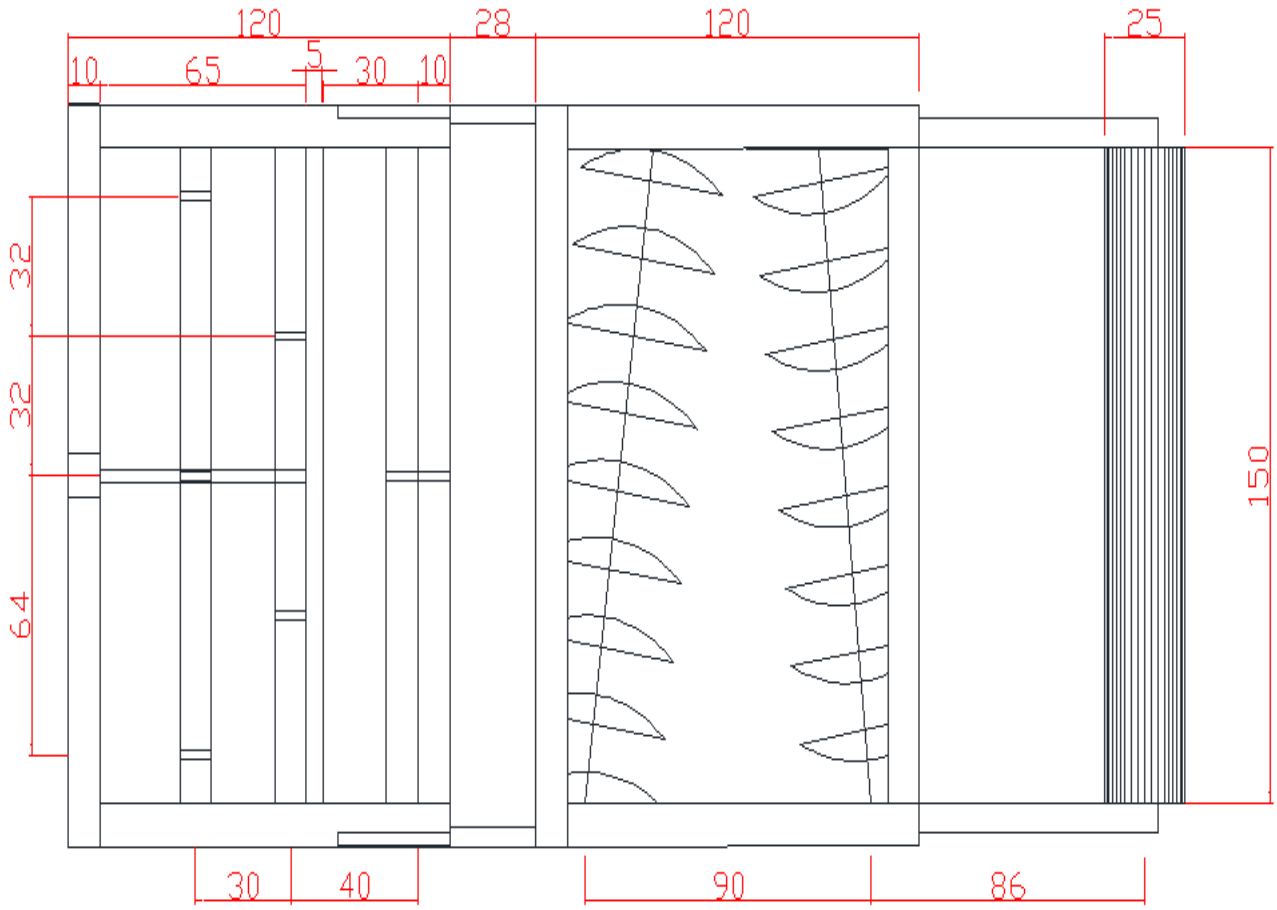
بعملية تنعيم التربة، فضلاً عن القضاء على الادغال ودفن البقايا النباتية، وتتكون الامشاط القرصية من صفين من الأقراص، صف امامي وصف خلفي. تم وضع الأقراص في الصف الأمامي بحيث يكون وجهها المقعر نحو الداخل ووضعت الأقراص في الصف الخلفي بحيث يكون وجهها المقعر نحو الخارج وبهذا تقوم الاقراص في الصف الأمامية بأثاره التربة اتجاه اليسار ثم يأتي دور الأقراص في الصف الخلفي في عكس تنعيم التربة إلى جهة اليمين. ويكون وضع الأقراص في الصفين متداخلاً إذ تستطيع الاقراص من حصر كتل التربة الكبيرة وتنعيمها إلى كتل اصغر حجماً. تم تصنيع هيكل الامشاط القرصية (شكل 5) من حديد الزاوية قياس 10*10 سمك 0.5 سم (شكل 2 (2)) وحديد مجوف مربع الشكل قياس 5*5 سم وسمك 0.5 سم (شكل 4 (1))، طوله هيكل الامشاط القرصية 120 سم وعرضة 150سم، ثبت على الهيكل زوج من حديد الزاوية قياس 10*10 سمكة 0.5 سم بشكل مائل بزاوية 18 درجة (شكل 5 أ وملحق 5 (3)). ثُبِتَت الأقراص المقعرة بمجوعتين (صفين) أمامية وخلفية على حديد الزاوية المائل بواسطة كراسي تحميل تسمح للأقراص في كل مجموعة من الدوران حول نفسها، وضعت الأقراص في كل مجموعة (صف) بزاوية مقدارها 18 درجة (زاوية القرص) أما زاوية الميل مقدارها صفر، وكانت المسافة بين مجوعتي الأقراص عند الطرف الأيمن من هيكل الاقراص 40 سم ثم تزداد المسافة لتصبح 80 سم عند الطرف الايسر من هيكل الاقراص نتيجة الربط المائل لمجوعتي الأقراص، المسافة بين كل قرص واخر ضمن المجموعة الواحدة 18 سم ونتيجة الوضع المتداخل بين الأقراص في المجموعة الأمامية والخلفية للأقراص تصبح المسافة بين الأقراص في المجموعة الأمامية والخلفية 9 سم، قطر القرص 45 سم وعددها في كل مجموعة 9 أقراص مقعرة. يرتبط هيكل الأقراص مع هيكل المحراث الحفار مفصليا (شكل 3 وملحق 4 (8)) ويسمح ذلك بحرية حركة الامشاط القرصية على سطح التربة لتكون أشبه للمشط القرصي المسحوب كما يمكن تقييد الحركة المفصلية بين هيكل الامشاط القرصية وهيكل المحراث بواسطة عوارض الاسناد الممتدة من هيكل المحراث إلى هيكل المشط القرصي (ملحق 6 (5)) إذ يصبح هيكل المحراث الحفار والمشط القرصي هيكلا واحد ضمن الآلة المركبة مما يسمح بسهولة نقل الة الحراثة المركبة ككتلة واحدة من مكان إلى آخر بواسطة الجرار الزراعي.

3-1-5- الحادلة Roller

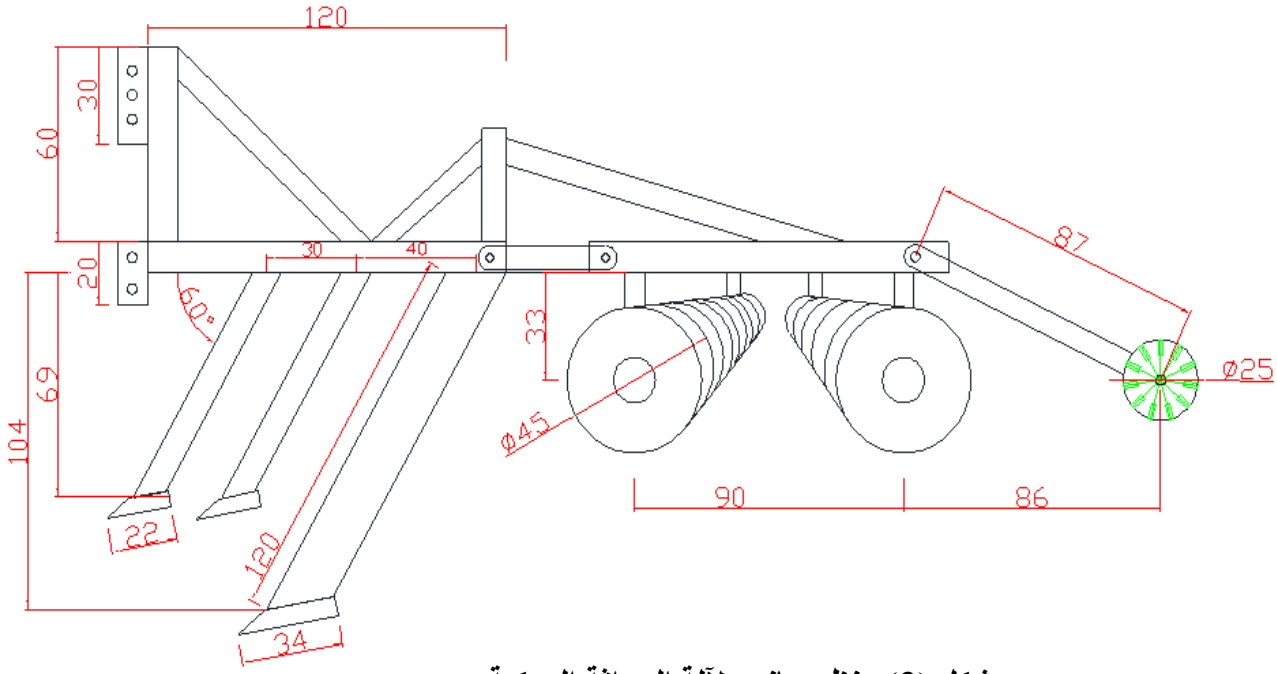
الحادلة (شكل7 وملحق 6) عبارة عن أسطوانة مجوفة تتكون من حلقتين تمتد على طول محيط الحلقتين مجموعة من العوارض الحديدية التي تشكل أسطوانة ذات حواف بارزة تسهل من اختراق وتكسير كتل التربة. العرض الشغال للحادلة 150 سم وقطرها 25 سم، تعمل الحادلة على تنعيم إضافي للتربة، فضلاً عن تعديل وتسوية التربة، ولهذا تم اضافة الحادلة لآلة تهيئة التربة المركبة. تم تثبتت الحادلة على هيكلها بواسطة كراسي تحميل التي زودت بها كل حلقة عند طرفي الأسطوانة وهذا يسمح للحادلة من الدوران حول محورها. هيكل الحادلة صنع من حديد مستطيل مجوف 10*5 سم وسمكة 0.4 سم وطوله 87 سم وربط هيكل الحادلة خلف هيكل المشط القرصي مفصلياً (ملحق 5 (8))، إذ تدور الحادلة بحرية على سطح التربة المحروثة بالمحراث الحفار والمُنعمة بالمشط القرصي، تبعد الحادلة عن الامشاط القرصية بمسافة 86 سم وعن المحراث الحفار بمسافة 220 سم.



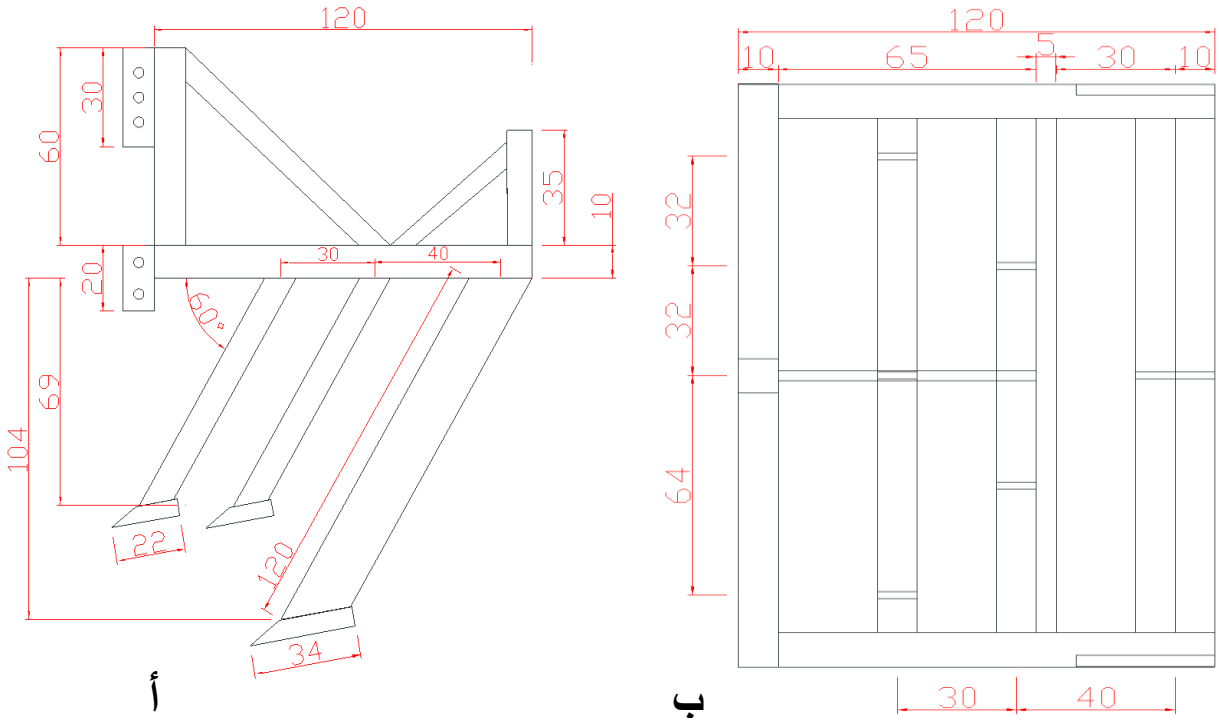
شكل (1) منظر امامي لآلة الحراثة المركبة



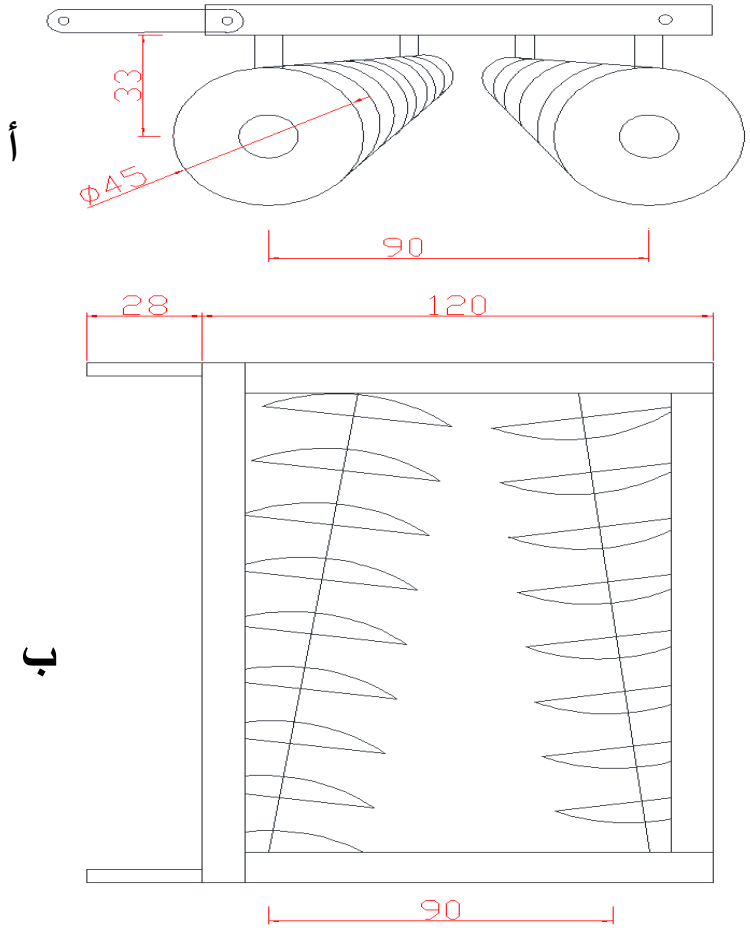
شكل (2) منظر رأسي لآلة الحراثة المركبة



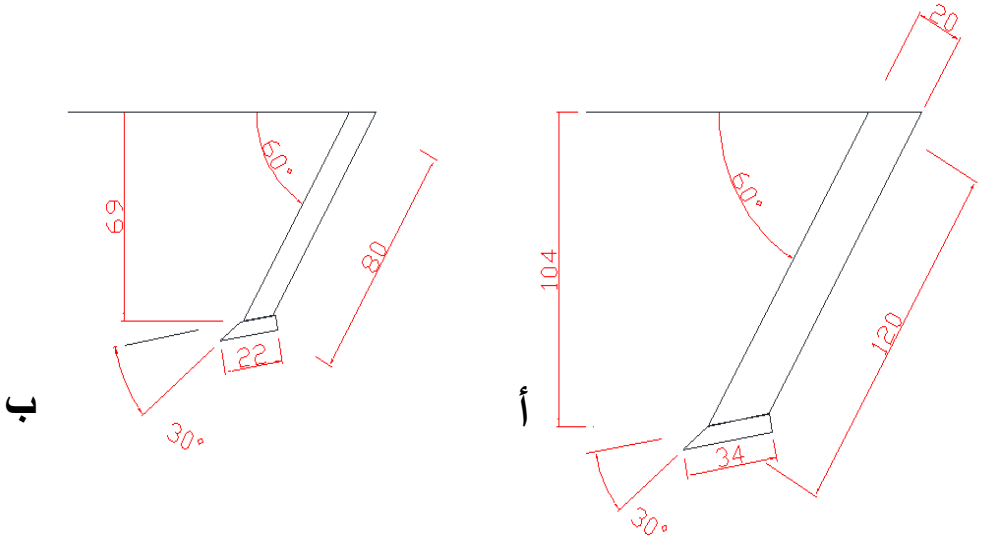
شكل (3) منظر جانبي لآلة الحراثة المركبة



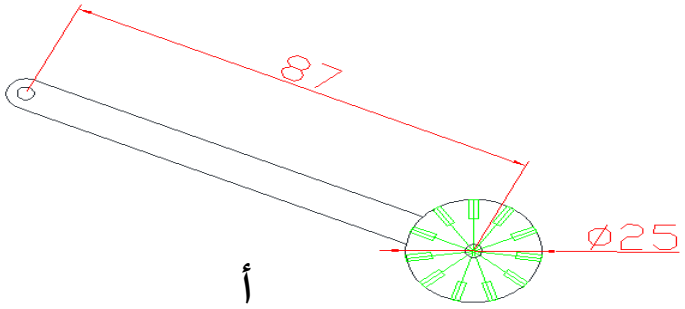
شكل (4) منظر جانبي (أ) ومنظر رأسي (ب) للمحراث الحفار و محراث تحت سطح التربة

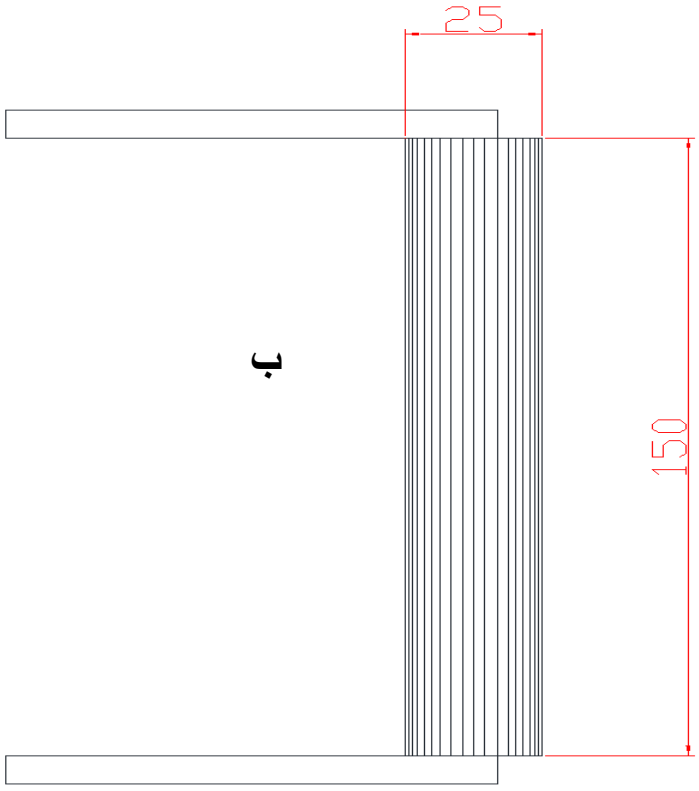


شكل (5) أ- منظر جانبي ب- ورأسي للمشط القرصي



شكل (6) منظر جانبي أ- لمحراث تحت سطح التربة ب- للمحراث الحفار





شكل (7) أ- منظر جانبي ب- منظر رأسي للحادلة

3-3 – موقع التجربة Experiment Location

نّفذت الدارسة في أحد حقول محطة الابحاث الزراعية التابعة إلى كليه الزارعة – جامعة البصرة موقع كرمه علي، الواقعة بين دائرة عرض °500 ′30 شمالا وخط طول °740 ′47 شرقا على نهر خر طراد، أثناء الموسم الزراعي الخريفي 2021، وكانت تربتها طينية، صـــــنفـــت على انـــــــها Fine clay mixed calcareous, hyberthermic typic torrifluvent (العطب، 2008).

3-4- الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية الأولية للتربة المستعملة في التجارب
Initial physical, chemical, and mechanical properties of the soil used in the experiments

تم اخذ نماذج من تربة الحقل المستعمل في الدراسة بهدف قياس خصائص التربة الأولية، وبواقع ثلاث مكررات وللأعماق 0–20 و20–40 و40–60 سم وفق الطرائق المبينة أدناه وكما هو موضح في جدول 3.

3-4-1- توزيع حجوم دقائق التربة Soil particles size distribution

قِيست حجوم دقائق التربة بطريقة الماصة الحجمية (Pipette method) وحسب الطريقة الموصوفة في Black (1965).

3-4-2 – الكثافة الظاهرية للتربة Bulk density of soil

قيست الكثافة الظاهرية للتربة بطريقة الأسطوانة (Core sampler) وحسبت من المعادلة 3 بعد تجفيف عينات التربة في الفرن على درجة حرارة 105° م لمدة 48 ساعة، وبحسب الطريقة الموصوفة من قبل Black (1965).

$$\rho b = \frac{m_s}{V_t} \qquad (3)$$

إذ أنَّ:

ρb: الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$).

m_s: كتلة الدقائق الصلبة (ميكا غرام).

V_t: الحجم الكلي للتربة ويمثل حجم الاسطوانة (م^3).

جدول (3): الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية الأولية للتربة المستعملة في التجارب

الخصائص	الوحدة	عمق التربة (سم)		
		20-0	40-20	60-40
رمل	غم كغم$^{-1}$	64.76	48.3	53.17
غرين		353.61	351.7	332.43
طين		581.63	600	614.4
النسجة		طينية	طينية	طينية
الكثافة الظاهرية	ميكا غرام م$^{-3}$	1.38	1.42	1.48
الكثافة الحقيقية		2.68	2.58	2.65
المسامية	%	0.48	0.45	0.44
المحتوى الرطوبي	%	15.36	19.62	22.38
معدل القطر الموزون	ملم	0.54	0.49	0.31
مقاومة التربة للاختراق	كيلو نيوتن م$^{-2}$	1787	2870	3740
الإيصالية المائية المشبعة	م يوم$^{-1}$	0.069	0.076	0.088
التماسك	كيلو نيوتن م$^{-2}$	7.67	11.89	15.68
زاوية الاحتكاك الداخلية		˚13	˚15	˚17
الالتصاق	كيلو نيوتن م$^{-2}$	0.30		
زاوية الاحتكاك بين التربة والمعدن		˚23		
المادة العضوية	غم كغم$^{-1}$	4.85	2.45	1.25
pH		7.42	7.58	7.61
EC_e	ديسيسنمز م$^{-1}$	20.47	14.48	9.36

3-4-3- الكثافة الحقيقية Particle density

قيست الكثافة الحقيقية للتربة من المعادلة 4 باستعمال طريقة قنينة الكثافة (Pycnometer Method) المذكورة في Black (1965).

$$\rho_S = \frac{m_s}{v_s} \qquad (4)$$

إذ أنَّ:

ρs: الكثافة الحقيقية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$).

m_s: كتلة الدقائق الجافة (ميكا غرام).

V_s: حجم الدقائق الجافة (م$^{-3}$).

3-4-4- المسامية الكلية Total porosity

حُسبت المسامية الكلية للتربة من المعادلة 5 وبحسب الطريقة الواردة في Black (1965).

$$f = \left(1 - \frac{\rho b}{\rho s}\right) * 100 \qquad (5)$$

إذ أنَّ:

f: المسامية الكلية للتربة (%).

ρb: الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$).

ρs: الكثافة الحقيقية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$).

3-4-5- المحتوى الرطوبي للتربة Moisture content of soil

قيسَ المحتوى الرطوبي للتربة بالطريقة الوزنية وذلك بأخذ عينات التربة من الحقل بواسطة أسطوانة (Core sampler) ووزنت ثم جففت بالفرن على درجة حرارة 105° م 48 ساعة، حسبت النسبة المئوية للرطوبة على أساس الوزن الجاف من المعادلة 4 وبحسب الطريقة الموصوفة في Black (1965).

$$Pw = \frac{Mw}{ms} * 100 \qquad (6)$$

إذ أنَّ:

Pw: النسبة المئوية لرطوبة التربة على أساس الوزن الجاف (%).

Mw: وزن الرطوبة في التربة (غم).

ms: وزن الدقائق الصلبة الجافة (غم).

3-4-6- مقاومة التربة للاختراق Penetration resistance of soil

تم قياس مقاومة التربة للاختراق باستعمال جهاز المخراق الرقمي penetrologger (ملحق 11)، المزود بعمود طوله 80 سم ونهايته مزودة بمخروط مساحته 20.60 سم^2 وزاوية ميل المخروط من القمة 30 درجة، إذ عند الضغط على مقبض الجهاز يدويا بتسليط قوة ثابتة نحو الأسفل، يخترق المخروط التربة إلى العمق المطلوب، ويمكن لهذا الجهاز قراءة بيانات قوة اختراق التربة لكل عمق 1 سم حتى 80 سم. تم تكرار كل قياس ثلاث مرات لكل معاملة وتم حفظ جميع بيانات مقاومة اختراق التربة في ذاكرة الجهاز بعد الانتهاء من أخذ القياسأت تم توصيل الجهاز بالكمبيوتر، ومن ثَمَّ نقلت جميع البيانات المسجلة إلى الكمبيوتر بوحدة إلـ (كيلو نيوتن م$^{-2}$).

3-4-7- معدل القطر الموزون Mean weight diameter (MWD)

تم قياس معدل القطر الموزون كمؤشر لثباتية تجمعات التربة باستعمال طريقة النخل الرطب حسب الطريقة الموصوفة في Youker وMcGuines (1958)، ثم حسبت قيم معدل القطر الموزون (MWD) من المعادلة 7 والمذكورة في Hillel (1980).

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} xiwi \qquad (7)$$

إذ أنَّ:

MWD: معدل القطر الموزون (ملم).

xi: معدل القطر لأي مدى حجمي للتجمعات المفصولة (ملم).

wi: وزن التجمعات المتبقية ضمن المدى الحجمي الواحد كنسبة إلى الوزن الجاف الكلي لنموذج التربة.

3-4-8- الإيصالية المائية المشبعة Saturated hydraulic conductivity

قيست الإيصالية المائية المشبعة للتربة بإتباع طريقة عمود الماء الثابت المقترحة من قبل Klute والموصوفة في Black (1965). تم حساب قيم الإيصالية المائية المشبعة للتربة من المعادلة 8.

$$Ks = \frac{V}{At} . \frac{L}{h} \qquad (8)$$

إذ أنَّ:

Ks: الإيصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$)

V: حجم الماء المار خلال عمود التربة (م^3)

L: طول عمود التربة (م).

A: المساحة السطحية لمقطع التربة (م^2)

t: معدل الزمن (يوم)

h: طول عمود التربة + ارتفاع عمود الماء فوق عمود التربة (م).

3-4-9- المادة العضوية Organic matter

قيست المادة العضوية بطريقة Walkley – Black المذكورة في Page وآخرون (1982).

3-14-10- درجة التفاعل (pH)

قيست درجة التفاعل للتربة (في معلق التربة 1:1 (تربة: ماء)) باستعمال جهاز pH-Meter نوع WTW حسب الطريقة الموصوفة من قبل Jackson (1958).

3-4-11- الإيصالية الكهربائية Electrical Conductivity (EC)

قِيست الإيصالية الكهربائية (ديسيسمنز م$^{-1}$) للتربة في راشح تربة (1:1) باستعمال جهاز EC-Meter نوع WTW موديل Cond 7110 حسب الطريقة المذكورة في Page وآخرون (1982).

3-4-12- قياس التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلية للتربة

Measurement of soil Cohesion and angle of internal friction

تم قياس التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلية للتربة باستعمال جهاز Annuals Ring والموصوف في الملحق (13). يتكون الجهاز من قرص معدني قطره 22 سم مزود من الأسفل بزوائد شعاعية ارتفاعها 1سم متساوية الأبعاد، الجهاز مزود بمقياس عزم الدوران المطلوب لقص التربة (Torqumeter). أجريت عملية القياس بدفع القرص المعدني باتجاه سطح التربة بصوره عمودية لغرض غرز الزوائد الشعاعية فيها، دور القرص بواسطة ذراع مقياس العزم (Torqumeter) حتى انهيار التربة بين الزوائد، وعند لحظة الانهيار تم قياس العزم المطلوب لقص التربة. أجريت التجارب باستعمال أوزان مختلفة وهي (2.5 و 5 و 7.5 و 10 و 12.5 و 15) كغم، وضعت الأوزان على القرص المعدني وكررت العملية ثلاث مرات للأعماق المدروسة. حُسب أجهاد قص التربة من المعادلة (9) والمأخوذة من Gill و Vandenberg (1968).

$$\tau = \frac{3m}{2\pi r^3} \qquad (9)$$

إذ أنَّ:

τ : إجهاد قص التربة (كيلو نيوتن م$^{-2}$)

m: عزم قص التربة (كيلو نيوتن م)

r: نصف قطر القرص المعدني (م)

كما حُسب الإجهاد العمودي المسلط على التربة من المعادلة (10).

$$\sigma = \frac{Q}{A_1} \qquad (10)$$

إذ أنَّ:

σ: الاجهاد العمودي (كيلو نيوتن م$^{-2}$)

Q: القوة العمودية المسلطة على التربة (وزن الجهاز + الوزن المضاف) (كيلو نيوتن)

A_1: مساحة القرص المعدني (م^2)

رسمت العلاقة بين إجهاد قص التربة والإجهاد العمودي والموضحة في الملحق (14) لحساب التماسك وزاوية الاحتكاك الداخلية والنتائج موضحة في جدول 3.

3-4-13- قياس الالتصاق وزاوية الاحتكاك بين التربة والمعدن

Measurement of soil adhesion and metal- soil friction angle

تم قياس الالتصاق وزاوية الاحتكاك بين التربة والمعدن باستعمال جهاز Sled test والموصوف في الملحق (15). يتكون الجهاز من قطعه معدنية طولها 21 سم وعرضها 14 سم وسمكها 1 سم مساحة تلامس سطحها من الأسفل المستوي مع التربة 294 سم^2. وزنها 2 كغم ومقدمتها مرتفعة عن سطح التربة بشكل منحني لمنع تجمع التربة أمامها أثناء سحبها. نفذت التجربة بسحب القطعة المعدنية على سطح التربة وباستعمال أوزان مختلفة وهي (2.5 و5 و7.5 و10 و12.5 و15) كغم بواسطة ميزان ذي نابض حلزوني يحتوي على مقياس مدرج، كررت عملية القياس ثلاث مرات لكل وزن. تم حساب الإجهاد الأفقي المطلوب لسحب القطعة المعدنية من المعادلة 11 والمأخوذة من قبل Gill و Vandenberg (1968).

$$\tau_\alpha = \frac{F_1}{A_2} \qquad (11)$$

إذ أنَّ:

τ_α = الاجهاد الأفقي (كيلو نيوتن م$^{-2}$)

F_1 = قوة سحب القطعة المعدنية مع الأوزان (كيلو نيوتن)

A_2= مساحة تلامس القطعة المعدنية مع التربة (م^2)

كما حسب الإجهاد العمودي المسلط على التربة من المعادلة (12).

$$\sigma_a = \frac{Q_1}{A_2} \qquad (12)$$

إذ أنَّ:

σ_a = الاجهاد العمودي (كيلو نيوتن م$^{-2}$)

Q_1= الوزن المسلط على التربة (وزن الجهاز + الوزن المضاف) (كيلو نيوتن)

A_2 = مساحة تلامس القطعة المعدنية مع التربة (م^2)

رسمت العلاقة بين الإجهاد الأفقي والإجهاد العمودي وكما مبينة في الملحق (16) وحُسب الالتصاق وزاوية الاحتكاك بين التربة والمعدن.

3-5- التجربة الميكانيكية Mechanical experiment

تضمنت التجربة الميكانيكية العوامل الآتية:

أولاً: معاملات الحراثة باستعمال آلة تهيئة التربة المركبة

Tillage parameters of the combined soil preparation machine

تضمنت الحراثة وتهيئة التربة بواسطة تراكيب آلة المركبة الآتية:

1- الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة المكونة من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومحراث حفار يعمل بعمق 20 سم ومشط قرصي يعمل بعمق 10 سم وحادلة تعمل على تسوية وتفتيت إضافي للتربة، ويرمز لها T1.

2- الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة المكونة من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم ومحراث حفار الذي يعمل على عمق 20 سم ومشط قرصي يعمل بعمق 10 سم وحادلة تعمل على تسوية وتفتيت إضافي للتربة، ويرمز لها T2.

3- الحراثة باستعمال تراكيب الآلة المركبة (أسلحة المحراث الحفار الذي يعمل على عمق 20 سم+ سلاح المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم)، ويرمز لها T3.

4- الحراثة باستعمال تراكيب الآلة المركبة (أسلحة المحراث الحفار الذي يعمل على عمق 20 سم+ سلاح المحراث تحت سطح التربة يعمل على عمق 40 سم)، ويرمز لها T4.

5- الحراثة بآلة الحراثة المركبة المكونة من محراث حفار الذي يعمل على عمق 20 سم ومشط قرصي يعمل بعمق 10 سم، ويرمز لها T5.

ثانياً: السرعة الأمامية (سرعة الحراثة) **The forward speed (Tillage speed)**

سرعة الجرار الزراعي الأولى الثقيلة (1.5 كم ساعة$^{-1}$) ويرمز لها G1.

سرعة الجرار الزراعي الثانية الثقيلة (3 كم ساعة$^{-1}$) ويرمز لها G2.

3-6- الأجهزة والمعدات المستعملة في التجربة الميكانيكية

3-6-1- الجرارات الزراعية Agricultural tractors

3-7-6-1-1- الجرار CASE JX75T

الجرار CASE JX75T (ملحق 8 أ) هندي الصنع مزود بمحرك رباعي الأسطوانات رباعي الأشواط يعمل بوقود الديزل يولد دفع بإطاراته الخلفية او مساعدة الإطارات الأمامية MFWD قدرته التصميمية 55 كيلو واط. وزن الجرار 3059.15 كغم واقصى وزن يتحمله جهازه الهيدروليكي 2000 كغم. وحجم إطاراته الامامية 24-11.20 والخلقية 30.16.90. تم استعمال الجرار لشبك الآلة المركبة بواسطة الجهاز الهيدروليكي للتحكم بعمق الاله. وضع صندوق سرعات الجرار على الحياد وترك محركه يعمل لغرض تشغيل الجهاز الهيدروليكي دون أنَّ يكون للجرار أي دور في عملية سحب الآلة المركبة.

3-6-1-2- الجرار Massey-Ferguson 440 xtra

الجرار Massey-Ferguson 440 xtra (ملحق 8 ب) برازيلي الصنع مزود بمحرك رباعي الأسطوانات رباعي الأشواط يعمل بوقود الديزل يولد دفع بإطاراته الخلفية أو مساعدة الإطارات الأمامية MFWD قدرتهُ التصميمية 65.5 كيلو واط. وزن الجرار 3430 كغم. وحجم إطاراته الأمامية 16-7.50 والخلفية 30-18.40. تم استعمال الجرار Massey-Ferguson 440 xtra لسحب الجرار CASE JX75T والالة مشبوكة علية بواسطة سلك مرن يتحمل قوى الشد العالية المسلطة علية عند السحب.

3-6-2- جهاز قياس قوة السحب (الخلية الوزنية) Load cell

تم استعمال جهاز خلية الحمل الإلكتروني Load cell (ملحق 9) لقياس قوة السحب لآلة تهيئة التربة المركبة بمختلف تراكيبها وعند السرعات الأمامية المستعملة في التجارب الحقلية. الجهاز من

صنع شركة Futek في الولايات المتحدة الأمريكية سنة 2010، وطراز الجهاز Cylindrical. S Beam – وموديل LSB 600. تم ربط جهاز خلية الحمل مع جهاز كمبيوتر محمول (Laptop) بواسطة سلك توصيل البيانات USB لتسجيل وخزن البيانات المقاسة في برنامج الاكسل.

3-6-3 جهاز قياس معدل استهلاك الوقود

Fuel consumption measurement device

تم استعمال جهاز قياس استهلاك الوقود (ملحق 10) للجرار CASE JX75T. يتكون الجهاز من مجموعة من الأنابيب المطاطية وتوصيلات واسطوانة مدرجة سعتها 100 سم^3، تم ملئ الاسطوانة بالوقود من خزان سعته 3 لتر مثبت أعلى الأسطوانة المدرجة ويزود الأسطوانة المدرجة بالوقود بواسطة أنبوب مطاطي مع صمام مخروطي يقع فوق الاسطوانة المدرجة مباشرةً يسمح عند فتحه بنزول الوقود إلى الاسطوانة المدرجة، ربطت هذه الاسطوانة من الأسفل مع مضخة تغذية الوقود وهي أحد أجزاء جهاز الوقود في الساحبة. كما تم إيصال فائض الوقود من الرشاشات عبر أنبوب مطاطي إلى الاسطوانة المدرجة. وتم تثبيت الاسطوانة المدرجة وخزان الوقود على لوح خشبي وثبت الأخير على مقدمة الجرار.

3-7- قياس مؤشرات الأداء الميكانيكي

Measuring the mechanical performance indicators

3-7-1 - قياس قوة السحب Draft force

قيست قوه السحب لآلة الحراثة المركبة باستعمال جهاز الخلية الوزنية (ملحق 9) إذ ربطت الخلية الوزنية على عمود سحب الجرار Massey– Ferguson axtra 440 وربطت مقدمه الجرار CASE JX75T والاله مربوطة عليه مع الطرف الاخر للخلية الوزنية بواسطه سلك فولاذي مرن، سحب الجرار CASE JX75T والاله مربوطة عليه بواسطه الجرار Massey– Ferguson axtra 440 لمسافه 5 م من اجل الوصول إلى عمق الحراثة المطلوب واستقرار سرعة الجرار، إذ ضبطت سرعة محرك الجرار Massey– Ferguson axtra 440 على 1500 دورة.دقيقة$^{-1}$. ثم قيست قوة السحب لمسافة طولية مقدارها 20 م وهي طول الوحدة التجريبية وسجلت وحفظت قراءات قوة السحب بواسطة حاسوب

محمول لكل معاملات الحراثة (الآلة وتراكيبها والسرعة الأمامية)، كما قيست مقاومة التحرج للجرار CASE JX75T من خلال سحبة لمسافة 20 م على ارض الحقل . وتم تسجل قيم مقاومة التدحرج لكل معاملات التجربة. وحسبت قوة السحب من المعادلة 13 والمأخوذة من Mckyes (1985). كررت العملية ثلاث مرات لكل معاملة من معاملات الحراثة.

$$F = Ft - R \qquad (13)$$

إذ أنَّ:

F : قوة السحب (كيلو نيوتن).

Ft: قوة السحب الكلية (كيلو نيوتن).

R: مقاومة التدحرج للجرار CASE JX75T (كيلو نيوتن).

3-7-3 - قياس معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$)

Fuel consumption measurement

تم قياس معدل استهلاك الوقود للجرار Massey– Ferguson axtra 440 من تحديد مسافة طويلة مقدارها 20 م وذلك بتثبيت شاخصين على ارض الحقل المسافة بينهما 20 م ثُمَّ حرك الجرار من نقطة تبعد عن الشاخص الأول بمسافة كافية لاستقرار عمق المحراث في التربة ووصول الجرار إلى السرعة المقررة له وعند مرور مركز الاطار الامامي للجرار بجانب الشاخص الأول يتم قراءة مستوى الوقود في الاسطوانة المدرجة في هذه اللحظة، ومن ثُمَّ تم قراءة مستوى الوقود في الاسطوانة المدرجة مرة أخرى عند مرور مركز الإطار الأمامي مقابل الشاخص الثاني وبذلك يكون الفرق بين القراءتين أو المستويين للوقود في الاسطوانة المدرجة هو كمية الوقود الذي يستهلكه الجرار Massey– Ferguson axtra 440 خلال المسافة 20 م ، كما سجل معدل الزمن المطلوب لقطع المسافة المذكورة. وتم قياس معدل استهلاك الوقود لجميع معاملات الحراثة والسرعة المستعملة وبواقع ثلاث مكررات. وحسب معدل استهلاك الوقود من المعادلة 14 المأخوذة من Mettke وآخرون (1981).

$$Fcr = \frac{FC * 10}{Bp * va} \qquad (14)$$

إذ أنَّ:

Fcr: معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$).

FC : معدل استهلاك الوقود (لتر ساعة$^{-1}$).

Bp : العرض الشغال لالة الحراثة (م).

Va : السرعة العملية (كم ساعة$^{-1}$).

3-7-4 -النسبة المئوية للانزلاق **Slipping percentage**

حُسبت النسبة المئوية لانزلاق عجلات الجرار Massey– Ferguson axtra 440 من المعادلة 15 والمذكورة في Zoz و Grisso (2003). إذ تم قياس السرعة الأمامية العملية من حساب معدل الزمن المستغرق لقطع الجرار مسافة 20 م أثناء عملية الحراثة. كما قيست السرعة النظرية للجرار من خلال حساب معدل الزمن المستغرق لقطع الجرار مسافة 20 م على ارض الحقل، كُررت عملية القياس ثلاث مرات ولجميع معاملات الحراثة والسرعة الأمامية المستعملة في التجربة.

$$S = 1 - \frac{Va}{Vt} * 100 \qquad (15)$$

إذ أنَّ:

S: النسبة المئوية للانزلاق (%).

Va : السرعة العملية (كم ساعة$^{-1}$).

Vt : السرعة النظرية (كم ساعة$^{-1}$).

3-7-5 - القدرة المفقودة بالانزلاق **Power losses by slipage**

حُسبت القدرة المفقودة من المعادلة 16 والمأخوذة من Muhsin (2010).

$$PL = pd - pf \qquad (16)$$

$$pd = (F + R) * Vt \qquad (17)$$

$$pf = F * Va \qquad (18)$$

إذ أنَّ:

PL: القدرة المفقودة (كيلو واط).

pd: القدرة عند العجلات (كيلو واط). حسبت من المعادلة (17)

pf: قدرة السحب (كيلو واط). حسبت من المعادلة (18)

3-7-6- الكفاءة الحقلية Field Efficiency

حُسبت الكفاءة الحقلية لجميع تراكيب الة الحراثة المركبة من المعادلة 19 وفق الطريقة المذكورة في Joseph (1990).

$$FE = \frac{Bp * va * 0.75}{B * vt} * 100 \qquad (19)$$

إذ أنَّ:

FE: الكفاءة الحقلية (%).

Bp: العرض الشغال الفعلي لآلة الحراثة (م).

va: السرعة العملية (كم ساعة$^{-1}$).

B: العرض الشغال التصميمي لآلة الجراثة (م).

vt: السرعة النظرية (كم ساعة$^{-1}$).

0.75: معامل استعلال الزمن.

3-7-7- معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة

The time required to achieve the tillage operations

حسب معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة واعداد مهد البذرة من المعادلة 20 المذكورة في الطحان وآخرون (2012).

$$t_{\mathbf{p}} = \frac{10}{va * BP * FE} \qquad (20)$$

إذ أنَّ:

$t_{\mathbf{p}}$: معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$).

va: السرعة الفعلية (كم ساعة$^{-1}$).

BP: العرض الشغال (م).

FE : الكفاءة الحقلية (%).

3-7-8 - دليل تفتيت التربة Pulverization index of soil

بعد إجراء التجارب بواسطة الة الحراثة المركبة بتراكيبها الخمس (T1 و T2و T3و T4و T5) ولسرعتي الحراثة (1.5 و3.0 كم ساعة$^{-1}$). جُمعت عينات من التربة المحروثة وبطول 50 سم وبعرض مساوٍ للعرض الشغال لآلة الحراثة (170 سم) وبواقع ثلاث مكررات لكل معاملة، نقلت هذه العينات إلى المختبر وتركت لتجف هوائياً ثُمَّ نخلت بجهاز النخل الكهربائي (ملحق 12) الذي يحتوي على مجموعة من المناخل ذات أقطـار مختلفة وهـي (150 و100 و70 و50 و 30 و 20 و5 و 2 و 1.7 ملم). أما كتل تربة التي حجمها أكبر من 175 ملم فتم قياس قطرها باستعمال شريط القياس، بعد عملية النخل وزنت التربة الموجودة فوق كل منخل وحسب الوزن الكلي للعينة من جمع أوزان التربة المتجمعة على كل منخل، ثُمَّ حسبت النسبة المئوية لكل وزن على كل منخل وحسب الطريقة المذكورة في Hillel (1980) من المعادلة 21. وملحق 7 يوضح مثال لحساب دليل تفتيت التربة.

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^{n} Wi * \bar{d}i}{W_{total}} \qquad (21)$$

إذ أنَّ:

PI: دليل التفتيت (ملم).

wi: نسبة كتل التربة المتبقية على كل منخل بعد عملية النخل (ملم).

W_{total}: كتلة عينة التربة الكلية (كيلو غرام).

$\bar{d}$: معدل قطر منخلين متتاليين (ملم). (فمثلاً قطر المنخل السابق 100 ملم اللاحق 70 ملم فأن المعدل = (70+100) \2 =85 ملم).

3-7-10- مقارنة بعض مؤشـــرات الأداء الميكانيكي لآلة الحراثة التربة المركبة مع نظم الحراثة التقليدية

Comparison of the mechanical performance indicators of the combined tillage machine with conventional tillage systems

تم مقارنة بعض مؤشرات أداء آلة الحراثة المركبة (معدل استهلاك الوقود ومعدل زمن الحراثة) مع مايماثلها من نظم الحراثة التقليدية تم أجراء عمليات الحراثة باستعمال آلات الحراثة بشكل منفرد (أجزاء

آلة الحراثة المركبة) كأنظمة حراثة تقليدية وبشكل مماثل لعمل تراكيب آلة الحراثة المركبة المستعملة في التجارب (معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة). وتضمنت التجربة نظم الحراثة التقليدية الآتية:

1- نظام الحراثة التقليدية (M1) تم استعمال المحراث الحفار على عمق 20 سم كمرور أول ثُمَّ تم استعمال المحراث تحت سطح التربة على عمق 60 سم كمرور ثاني على خط الحراثة نفسه للمحراث الحفار ثم تم استعمال المشط القرصي على عمق 10 سم كمرور ثالث واخيراً استعملت الحادلة كمرور رابع، وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة (T1) إلا أنَّ في الحراثة التقليدية تطلبت عملية الحراثة أربع مرورات.

2- نظام الحراثة التقليدية (M2) تم استعمال المحراث الحفار على عمق 20 سم كمرور أول ثُمَّ تم استعمال المحراث تحت سطح التربة على عمق 40 سم كمرور ثاني على خط الحراثة نفسه للمحراث الحفار ثم تم استعمال المشط القرصي على عمق 10 سم كمرور ثالث واخيراً استعملت الحادلة كمرور رابع، وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة (T2) إلا أنَّ في الحراثة التقليدية تطلبت عملية الحراثة أربع مرورات.

3- نظام الحراثة التقليدية (M3) تم استعمال المحراث الحفار على عمق 20 سم كمرور أول ثُمَّ تم استعمال المحراث تحت سطح التربة على عمق 60 سم كمرور ثاني على خط الحراثة نفسه للمحراث الحفار وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة (T3) إلا أنَّ في الحراثة التقليدية تتطلب عملية الحراثة مرورين.

4- نظام الحراثة التقليدية (M4) تم استعمال المحراث الحفار على عمق 20 سم كمرور أول ثُمَّ تم استعمال المحراث تحت سطح التربة على عمق 40 سم كمرور ثاني على خط الحراثة نفسه للمحراث الحفار وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة (T4).

5- نظام الحراثة التقليدية (M5) الذي تضمن استعمال المحراث الحفار على عمق 20 سم كمرور أول ثم تم استعمال الامشاط القرصية على عمق 10 سم كمرور ثاني على خط الحراثة نفسه للمحراث الحفار، وهذا مماثل لعمل تركيب آلة تهيئة التربة المركبة (T5) إلا أنَّ في الحراثة التقليدية تمت عملية الحراثة بمرورين.

3-8- التجربة الحقلية الزراعية The agricultural field experiment

تضمنت التجربة الحقلية الزراعية الآتية:

أولاً: عامل الحراثة باستعمال آلة تهيئة التربة المركبة

Tillage treatments by combined tillage machine

تضـمنت عملية الحراثة بواسـطة التراكيب الخمسـة لآلة تهيئة التربة المركبة (T1 وT2 و T3 وT4 وT5) كما في فقرة (3-5 أولاً).

ثانياً: عامل السرعة الأمامية The forward speed

سرعة الجرار الزراعي الأولى الثقيلة (1.5 كم ساعة$^{-1}$) ويرمز لها G1.

سرعة الجرار الزراعي الثانية الثقيلة (3 كم ساعة$^{-1}$) ويرمز لها G2.

3-9- تهيئة التربة وأجراء العمليات الحقلية

Soil preparation and field operations conducting

قُسمت الأرض إلى ثلاثة قطاعات وحُرثت التربة باستعمال معاملات الآلة المركبة وتراكيبها في كل قطاع بواقع خط لكل تركيب لالة الحراثة المركبة، تم ترك مسافة متر واحد بين خط وآخر في القطاع نفسه ومترين بين قطاع وآخر، تم تحديد الوحدات التجريبية بمساحة 1.5* 6 م لكل وحدة تجريبية (9 م^2). زرعت حبوب الذرة الصفراء .*zea mays* L صنف المها المعتمد من دائرة البحوث الزراعية التابع لوزارة الزراعة/ (أبو غريب) بتاريخ 2021/7/15 بواقع 25 كغم هكتار$^{-1}$ اذ تم وضع أربع بذرات في الجورة الواحدة وكانت المسافة بين جورة وأخرى 15 سم والمسافة بين خط وآخر 70 سم بواقع خطين للوحدة التجريبية الواحدة. بعد مرور أسبوعين من الانبات خفت النباتات إلى نبات واحد. تم إضافة السماد الكيميائي لجميع الوحدات التجريبية بالتساوي وحسب التوصية السمادية المتبعة (الحلفي والتميمي، 2017) إذ أضيف السماد النيتروجيني على شكل يوريا (46% N) بمقدار 200كغم N هكتار$^{-1}$ وبثلاث دفعات متساوية عند الزراعة والإنبات والتزهير وأضيف سماد السوبر

فوسفات الثلاثي (p% 20.21) بمقدار 130 كغم P هكتار$^{-1}$ عند الزراعة، والبوتاسيوم (k% 43) بمقدار 100 كغم K هكتار$^{-1}$ على دفعتين الأولى عند الزراعة بنسبة 15% من الكمية الكلية والثانية عند فترة التزهير. اضيف السماد بهيئة خطوط بالقرب من خطوط الزراعة. أجريت عملية الري بطريقة الري السيحي (معدل قيم الإيصالية الكهربائية وpH لمياه الري 4.54 ديسيسمنز م$^{-1}$ و6.9 على التوالي). وتم تحديد كميات مياه الري لجميع الوحدات التجريبية اعتماداً على عداد الري الميكانيكي وحوض التبخر الأمريكي صنف A، كما تم أضافه 20% كمياه إضافية لمتطلبات الغسل وحتى نهاية التجربة والحصاد بتاريخ 2021/12/1. استغرقت فترة نمو محصول الذرة الصفراء 105 يوم من الزراعة وحتى الحصاد ومراحل النمو مبينة في ملحق (36).

3-10- قياسأت التجربة الحقلية الزراعية

Agricultural field experiment measurements

3-10-1- خصائص التربة Soil characteristics

تم قياس خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية المدروسة (الكثافة الظاهرية والمسامية الكلية والمحتوى الرطوبي للتربة ومقاومة التربة للاختراق ومعدل القطر الموزون والايصالية المائية المشبعة والايصالية الكهربائية) لثلاثة أعماق للتربة وهي (0–20) و (20–40) و (40–60) سم لكل وحدة تجريبية وأثناء فترتين الأولى بداية موسم النمو (بعد شهر من الحراثة) والثانية نهاية موسم النمو قبل أسبوعين من الحصاد. كما موضحة في الطرق المبينة تحت الفقرة (3–4).

3-10-2- صفات النبات Plant parameters

3-10-2-1- ارتفاع النبات Plant height

قيس معدل ارتفاع عشرة نباتات من كل وحدة تجريبية بوحدة (سم) من سطح التربة إلى أعلى قمة في النبات وذلك في نهاية الموسم.

3-10-2-2- الوزن الجاف للمجموع الخضري للنبات

The dry vegetative weight of the plant

تم حصاد النباتات من مستوى سطح التربة واخذ المجموع الخضري لعشرة نباتات لكل وحدة تجريبية وبشكل عشوائي في نهاية موسم النمو ثُمَّ غسلت بالماء المقطر وجففت بالفرن على درجة 70 ˚م لمدة 48 ساعة ثُمَّ تم حساب الوزن الجاف للنبات بوحدة (طن هكتار$^{-1}$).

3-10-2-3- حاصل الحبوب **Grain yield**

حسب حاصل الحبوب لمحصول الذرة الصفراء لكل وحدة تجريبية بحصاد العرانيص لعشرة نباتات وقد جففت العرانيص بالفرن على درجة حرارة 70 ˚م حتى ثبوت الوزن ثُمَّ فرطت الحبوب من الكوالح وتم وزن الحبوب التي جمعت من النباتات العشر وحُسب حاصل الحبوب بوحدة (كغم م$^{-2}$) ثُمَّ تم تحويل الناتج إلى وحدة (طن هكتار$^{-1}$).

3-11- التكاليف الاقتصادية **Economic costs**

3-11-1 : التكاليف الثابتة **Fixed costs**

وتضمنت التكاليف الثابتة الآتية: -

3-11-1-1- الاندثار (الاستهلاك) **Depreciation (Consumption)**

تبعاً لطريقة المعدل المتناقص (Declining – Balance) تم حساب مقدار الاندثار (الاستهلاك) من المعادلات المذكورة في الطحان (1991)

$$Dep = V_n - V_{n-1} \qquad (22)$$

$$V_n = \mathrm{P}(1 - \frac{X}{L})^n \qquad (23)$$

$$V_{n+1} = \mathrm{P}(1 - \frac{X}{L})^{n+1} \qquad (24)$$

إذ أنَّ:

Dep : الاندثار السنوي (دينار سنة$^{-1}$).

V_n : المتبقي من قيمة الالة عند (n) من السنين.

V_{n+1} : المتبقي من قيمة الالة عند (n+1) من السنين.

P : سعر شراء الآلة (دينار).

X : نسبة معدل الاندثار مقارنةً بطريقة الاندثار المتساوي وقيمتها تتراوح بين (1و2). إذ تم اعتبار هذه القيمة تساوي واحد (X= 1) عند حساب مقدار الاندثار.

L : عمر الآلة بالسنين (سنة).

n : العمر عند حساب الاندثار.

3-11-1-2-الفائدة على الاستثَّمار Interest on Investment

يقدر معدل الفائدة على انهُ أساس قيمه العائد السنوي للأصول الثابتة او رؤس الأموال المدفوعة في شراء المعدات والآلات الزراعية إذ ما استعملت في استعمالات اخرى وعاده تقدر قيمه العائد من الفائدة بما يساوي الربح المتحصل عليه إذا ما اودعت رؤوس الاموال في بنوك تجاريه وتختلف هذه القيمة من بلد لآخر (قيمة الفائدة في البنوك العراقية حوالي 10%). أنَّ الاموال المستثَّمَرة في الآلات الزراعية تكون أكبر اثناء العمر المبكر مما في السنوات الأخيرة نظراً للكمية التي تحذف كل سنة للاندثار بغض النظر عن الطريقة المستعملة لحساب الاندثار Myfield (1981). تحسب الفائدة من المعادلة الآتية المذكورة في الطحان وآخرون (1991).

$$Int = \left[\frac{(p - V_n) \div 2}{h}\right] * Int_{Rate} \qquad (25)$$

إذ أنَّ:

Int : الفائدة على الاستثَّمَّار (دينار ساعة$^{-1}$).

P : سعر شراء الآلة (دينار).

V_n : المتبقي من قيمة الالة عند (n) من السنين.

h : عدد ساعات التشغيل السنوية للجرار وتبلغ (1000 ساعة سنة$^{-1}$).

Int_{Rate} : قيمة الفائدة كنسبة مئوية وتبلغ (10%).

3-2-11-3- الضرائب والتامين والمأوى Taxes, Insurance, and Shelter

حُسِب مقدار الضرائب والتامين والمأوى من المعادلة الآتية: –

$$T.I.S. = \left(\frac{p}{h}\right) * T.I.S._{Rate} \qquad (26)$$

$T.I.S.$: الضرائب والتأمين والمأوى (دينار ساعة$^{-1}$).

$T.I.S._{Rate}$: النسبة المئوية للضرائب والتأمين والمأوى وتبلغ (4%).

حسبت التكاليف الثابتة من جمع البنود الثلاثة سابقة الذكر من المعادلة الآتية: –

$$F_c = Dep + Int + T.I.S \qquad (27)$$

إذ أنَّ:

F_c : التكاليف الثابتة (دينار ساعة$^{-1}$).

وبقسمة التكاليف الثابتة للجرار على الانتاجية العمليـــــة يتم تحويـــلها مـــن (دينار ساعة$^{-1}$) إلى (دينار هكتار$^{-1}$).

3-2-11-2- التكاليف المتغيرة Variable costs

وتضمنت التكاليف الآتية: –

3-2-11-1- تكاليف الوقود Fuel costs

حسبت من المعادلة 26 المذكورة في Painter (2011)

$$Fuc = Q_f * Fup \qquad (28)$$

إذ أنَّ:

Fuc : تكاليف الوقود للهكتار الواحد (دينار هكتار$^{-1}$).

Q_f : كمية الوقود المستهلك (لتر هكتار$^{-1}$).

Fup : سعر شراء التر الواحد من وقود الديزل ويبلغ (450 دينار/لتر) حسب التسعيرة الرسمية للدولة لعام (2022).

3-11-2-2- تكاليف الزيوت Oil costs

حسبت من المعادلة المذكورة في Painter (2011)

$$O_c = \frac{Q_o * O_p}{P_o * P_r} \qquad (29)$$

إذ أنَّ:

O_c: تكاليف الزيت (دينار هكتار$^{-1}$).

Q_o: كمية الزيت المضافة في كل عملية استبدال للزيت وتبلغ (15.3 لتر) للجرار المستعمل في التجربة.

O_p: سعر لتر الزيت (دينار لتر$^{-1}$).

P_o: مدة تغيير الزيت وتبلغ (96 ساعة عمل) بحسب المتبع في موقع إجراء التجربة.

P_r: الإنتاجية العملية (هكتار ساعة$^{-1}$).

3-11-2-3- تكاليف الصيانة والتصليح Maintenance & Repair Cost

تحسب من المعادلة 29 المذكورة في الطحان (1991).

$$MRC = \frac{P}{h * P_r}\ (MRC)_{Rate} \qquad (30)$$

إذ أنَّ:

MRC: تكاليف الصيانة والتصليح (دينار هكتار$^{-1}$).

MRC_{Rate}: النسبة المئوية لتكاليف الصيانة والتصليح وقيمتها تتراوح بين (2.2 – 7.4 %) من سعر شراء الجرار. واعتمدت النسبة (4.5 %) لحساب تكاليف الصيانة والتصليح (الطحان، وآخرون 1991).

3-11-2-4- أجور العمال Labour Cost

حسب من المعادلة 29 المذكورة فيPainter (2011)

$$LC = \frac{D_L}{d * P_r} \qquad (31)$$

إذ أنَّ:

LC : تكاليف تشغيل العمال (دينار هكتار$^{-1}$).

D_L : أجرة العامل اليومية (دينار يوم$^{-1}$)

d : عدد ساعات العمل في اليوم الواحد، وتبلغ (7 ساعة يوم$^{-1}$).

وحسبت التكاليف المتغيرة للجرار من مجموع تكاليف الوقود والزيوت والصيانة والتصليح وأجور العمال كما في المعادلة 32 المذكورة في الطحان وآخرون (1991)

$$Vc = Fuc + O_c + MRC + LC \qquad (32)$$

إذ أنَّ:

Vc : التكاليف المتغيرة لتشغيل الجرار (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-3- التكاليف الكلية للجرار Tractor Total Cost

حسبت من مجموع التكاليف الثابتة والمتغيرة للجرار كما في المعادلة الآتية المذكورة في الطحان وآخرون (1991).

$$T_{Tc} = F_c + Vc + Ae \qquad (33)$$

إذ أنَّ:

T_{Tc} : تكاليف تشغيل الجرار الكلية (دينار هكتار$^{-1}$).

Ae: المصاريف الإدارية (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-4- التكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة

Total Cost of combined tillage machine

تم حساب التكاليف الثابتة والكلية لالة الحراثة المركبة بجميع تراكيبها من المعادلات المستعملة نفسها في حسابات التكاليف الاقتصادية للجرار، في حين حسبت التكاليف المتغيرة لالة الحراثة المركبة بجميع تراكيبها كنسبة مئوية تبلغ (80%) من التكاليف الثابتة لالة الحراثة المركبة من المعادلة الآتية المذكورة في الطحان وآخرون (1991).

$$CTM_{Vc} = CTM_{FC} * 0.80 \qquad (34)$$

إذ أنَّ:

CTM_{Vc} : التكاليف المتغيرة لالة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$).

CTM_{Fc} : التكاليف الثابتة لالة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$).

وحسبت التكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة من جمع التكاليف الثابتة والمتغيرة لالة الحراثة المركبة كما في المعادلة الآتية: –

$$MCT_{Tc} = CTM_{FC} + CTM_{Vc} \qquad (35)$$

إذ أنَّ:

CTM_{Tc} : التكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-5- إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية

The total unit of mechanization costs

حسبت من جمع التكاليف الكلية للجرار والتكاليف الكلية لآلة الحراثة المركبة وفقاً للمعادلة الآتية المذكورة في (Molenhuis ,2020).

$$TC = T_{Tc} + MCT_{Tc} \qquad (36)$$

إذ أنَّ:

TC : اجمالي التكاليف للوحدة الميكنية (الجرار والة الحراثة المركبة) (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-6- إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية وتكاليف الإنتاج

The total mechanization unit costs and production

تحسب من جمع التكاليف الكلية للجرار والتكاليف الكلية لالة الحراثة المركبة كما المعادلة الآتية المذكورة في Foster و Rosenzweig (2022)

$$TPC = \mathrm{TC} + PC \qquad (37)$$

إذ أنَّ:

TPC : إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية وتكاليف الإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).

PC : تكاليف الإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-7- العائد الكلي Total return

حسب من المعادلة الآتية المذكورة في Alamouti وMohammadi (2015).

$$GMR = Y * Uc \qquad (38)$$

إذ أنَّ:

GMR: العائد الكلي (دينار هكتار$^{-1}$).

Y: العائد الكلي من الحبوب والسيقان (دينار هكتار$^{-1}$).

Uc: سعر الطن من حبوب الذرة الصفراء والسيقان (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-8- العائد الصافي Net return

حسب من المعادلة الآتية المذكورة في Alamouti وMohammadi (2015).

$$NMR = GMR - TPC \qquad (39)$$

إذ أنَّ:

NMR: العائد الصافي (دينار هكتار$^{-1}$).

3-11-9- نسبة الفائدة Benefit ratio cost

حسب من المعادلة الآتية المذكورة في Alamouti وMohammadi (2015).

$$BCR = \frac{GMR}{TPC} \qquad (40)$$

إذ أنَّ:

BCR: نسبة الفائدة.

GMR: العائد الكلي (دينار هكتار$^{-1}$).

TPC: إجمالي تكاليف الوحدة الميكنية وتكاليف الإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).

12-3 تصميم التجارب والتحليل الاحصائي

Experimental design and statistical analysis

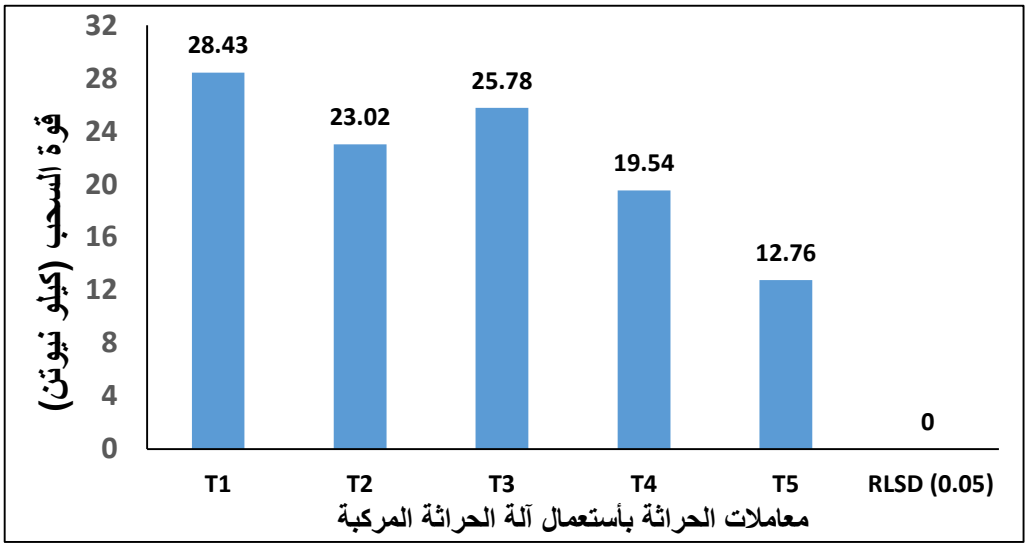
حللت النتائج التي تم الحصول عليها لجميع الصفات المدروسة في التجارب الميكانيكية والزراعية الحقلية احصائيا تبعا لطريقه تحليل التباين استخدام تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأسلوب القطع المنشقة في تجربه عامليه لعاملين (معاملات الحراثة x سرعه الحراثة) وبثلاث مكررات حيث وضعت معاملات الحراثة في القطع الرئيسة وسرعه الحراثة (السرعة الأمامية) في القطع الثانوية ووزعت المعاملات بصوره عشوائية في القطع. حللت البيانات لجميع التجارب احصائيا باستخدام البرنامج الاحصائي Gen state 2012 وقورنت متوسطات المعاملات باختبار أقل فرق معنوي RLSD عند مستوى احتمالية 0.05 حسب الراوي وخلف الله (1980).

4- النتائج والمناقشة Results and Discussion

4-1- قوة السحب Draft force

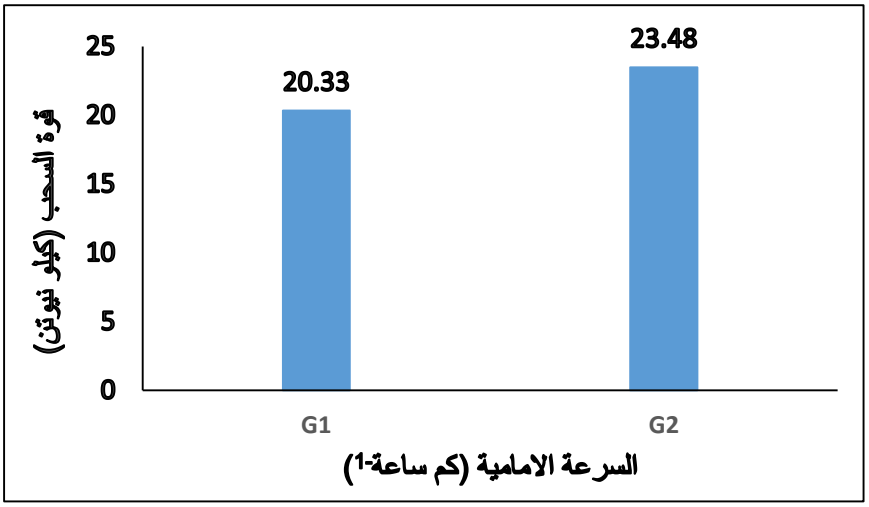
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في قوة السحب. إذ يوضح الشكل 8 تفوق معاملة الحراثة T5 في تسجيل أقل قوة سحب التي بلغت 12.76 كيلو نيوتن، في حين سجلت معاملة الحراثة T1 أعلى قوة سحب التي بلغت 28.43 كيلو نيوتن، ويمكن ترتيب معاملات الحراثة من متطلباتها من قوة السحب كالتالي T1 > T3 > T2 > T4 > T5. ويرجع سبب اختلاف قوة السحب بين معاملات الحراثة إلى اختلاف تراكيب آلة الحراثة المركبة، كلما زاد عدد الأجزاء المضافة إلى آلة الحراثة المركبة وعمق الحراثة زادت متطلباتها من قوة السحب نتيجة زيادة حجم التربة المحروثة من قبل آلة الحراثة المركبة مما يتطلب طاقة أعلى لتعجيل وتحريك كتل التربة والتغلب على قوة الاحتكاك بين كتل التربة بعضها ببعض، فضلاً عن زيادة متطلبات الطاقة اللازمة لقطع كتل التربة من جسم التربة الام وتفكيك كتل التربة المقطوعة بالأجزاء الشغالة المختلفة لآلة الحراثة المركبة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل الية كما توصل Prem وآخرون (2017) إلى أنَّ قوة السحب للآلة المركبة (مشط قرصي + حادلة مموجة) زادت بنسبة 47.89% عند زيادة عمق الحراثة لآلة الحراثة المركبة من 10 إلى 15 سم. وعزوا السبب في ذلك إلى زيادة حجم التربة التي يفككها المحراث مع زيادة عمق الحراثة، كما يعود انخفاض قوة السحب لمعاملة الحراثة T5 إلى قلة اجزاءها الشغالة (محراث حفار + مشط قرصي) وإلى انخفاض عمق الحراثة الذي تعمل عنده الة الحراثة المركبة، إذ يعمل المحراث الحفار على عمق 20 سم والمشط القرصي على عمق 10سم الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض حجم التربة المفككة والمفتتة من قبل معاملة الحراثة (T5)، فضلاً عن انخفاض قوة التربة نتيجة إلى انخفاض تماسكها وكثافتها الظاهرية عند العمق السطحي (جدول 3)، وانخفاض قوة التلاصق بين التربة ومعدن الأجزاء الشغالة لآلة الحراثة المركبة مع انخفاض عمق الحراثة وهذا بدوره يقلل من القوة المطلوبة للتغلب على مقاومة التربة للتفكيك والتفتيت الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قوة السحب، وتتفق هذه النتائج مع ما توصل اليه Croitoru وآخرون (2016). وتظهر النتائج ايضاً وجود فرق معنوي بين

معاملتي الحراثة T1 و T2 ، إذ زادت قوة السحب بنسبة 23.50% لمعاملة الحراثة T1 مقارنة مع T2 على الرغم من تشابهه تركيبهما من حيث عدد الأجزاء المضافة لآلة الحراثة المركبة، إذ تتكون آلة الحراثة المركبة من المحراث تحت سطح التربة و محراث حفار ومشط قرصي وحادلة، كما يحدث الشيء نفسه لمعاملتي الحراثة T4 و T3 فعلى الرغم من تشابه تركيبهما إذ تتكون آلة الحراثة من المحراث تحت سطح التربة و محراث حفار إذ سجلت معاملة الحراثة T3 قوة سحب أعلى من قوة سحب لمعاملة الحراثة T4 بنسبة 21.35%، ويرجع السبب إلى أنَّ معاملتي T1 وT3 مزودة بالمحراث تحت سطح التربة الذي يعمل عند عمق 60 سم، في حين معاملتي الحراثة T2 و T4 مزودة بالمحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم، إذ أنَّ زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة أدى إلى زيادة متطلبات قوة السحب وذلك بسبب زيادة مقاومة قص التربة مع ازدياد عمق المحراث تحت سطح التربة نتيجة زيادة تماسك التربة وكثافتها الظاهرية ومقاومتها للاختراق (جدول 3) وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة ضغط التربة الخانق نحو الأسفل الذي يعيق حركة كتل التربة المفككة باتجاه السطح إذ تتحول حركة كتل التربة المحروثة إلى الأمام مما يؤدي إلى تصادم كتل التربة المفككة والمحروثة بالتربة غير المحروثة الواقعة على خط مسار آلة الحراثة المركبة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قوة السحب. وهذا ما توصل إليه Ramadhan (2014) الذي أوضح أنَّ قوة السحب تزداد للمحراث تحت سطح التربة مع زيادة عمق الحراثة.



شكل (8) تأثير معاملات الحراثة في قوة السحب (كيلو نيوتن)

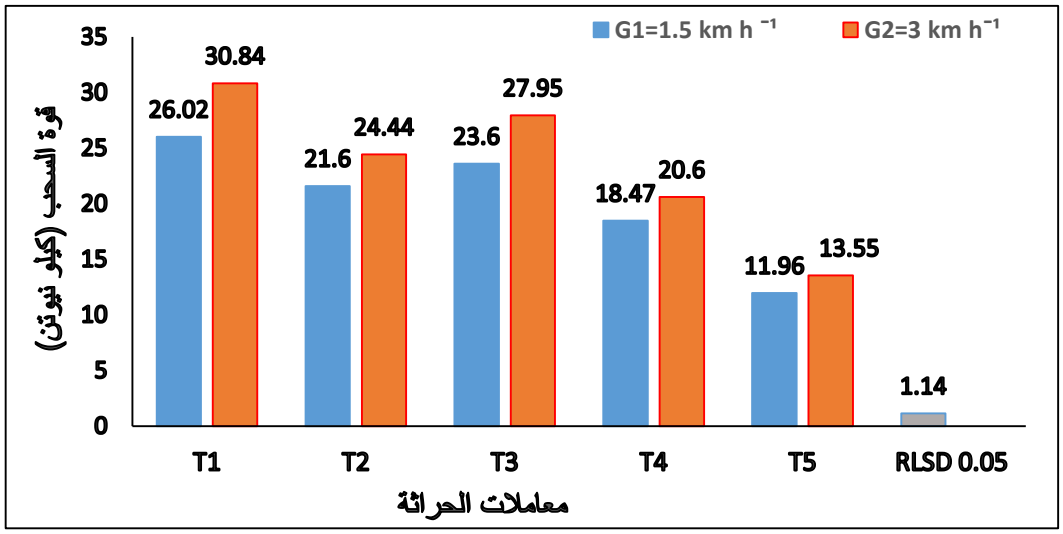
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قوة السحب. إذ يوضح الشكل 9 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ (G1) في تسجيلها أقل قوة سحب التي بلغت 20.33 كيلو نيوتن مقارنةً مع السرع الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ (G2) التي سجلت قوة سحب أعلى التي بلغت 23.48 كيلو نيوتن، ويعزى ذلك إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة متطلبات الطاقة اللازمة لتحريك وتعجيل كتل التربة المفككة من قبل الأجزاء الشغالة لآلة الحراثة المركبة، فضلاً عن صعوبة تكون التشققات في جسم التربة وامام الأجزاء الشغالة لآلة الحراثة المركبة نتيجة إلى انخفاض الفترة معدل الزمنية اللازمة لحدوث التشققات في التربة ومن ثَمَّ زيادة متطلبات الطاقة اللازمة لقطع وتفكيك كتل التربة من جسم التربة الأم الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قوة السحب. وهذا يتفق مع ما توصل إليه Askari وآخرون (2017) الذين لاحظوا زيادة في قوة السحب بنسبة 22.48% مع زيادة السرعة الأمامية 1.5 إلى 3.5 كم ساعة$^{-1}$.



شكل (9) تأثير السرعة الأمامية في قوة السحب (كيلو نيوتن)

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في قوة السحب. إذ يتبين من الشكل 10 ان زيادة قوة السحب بزيادة السرعة الامامية من G1 الى G2 تتباين تبعاً للاختلاف في معاملات الحراثة فقد أظهرت اعلى التباينات بين G1 وG2 عند المعاملة T1 تليها T3 وأقلها عند معاملة T2 تليها T4 ثم T5 وهذا يشير الى ان زيادة عمق الحراثة بالمحراث تحت سطح التربة الى عمق 60 سم يسبب زيادة في قوة السحب عند زيادة السرعة الامامية الى G2. أذ أظهرت النتائج

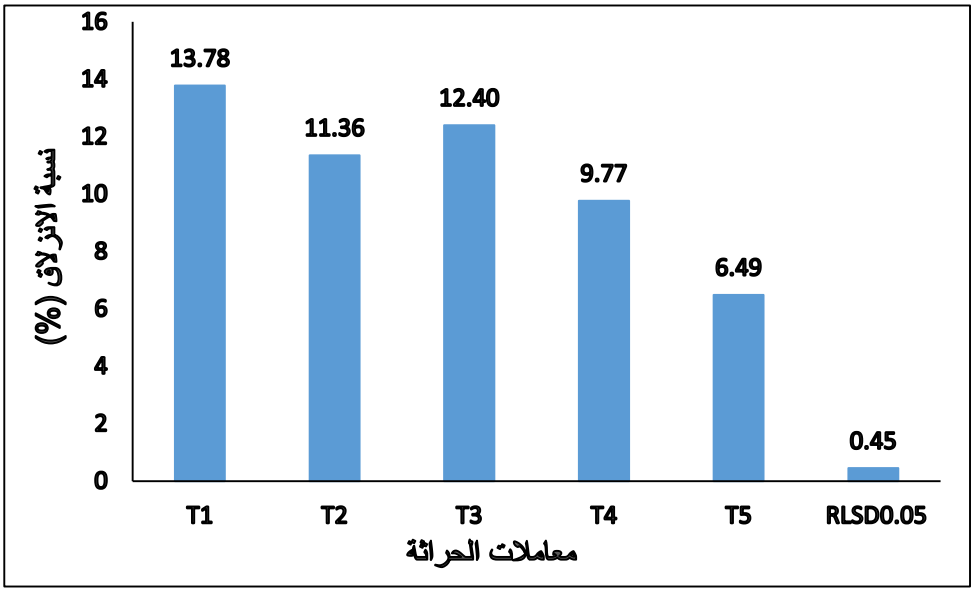
تفوق معاملة التداخل (T5 X G1) في تحقيقها أقل قوة سحب التي بلغت 11.96 كيلو نيوتن، في حين سجلت معاملة التداخل (T1 X G2) أعلى قوة سحب التي بلغت 30.84 كيلو نيوتن، أي أنَّ قوة السحب انخفضت بنسبة 157.85%. ويرجع سبب انخفاض قوة السحب للمعاملة (T5 X G1) إلى التأثير المشترك لكل من انخفاض السرعة الأمامية ومعاملة الحراثة T5 التي تعمل فيها آلة الحراثة المركبة عند عمق حراثة سطحي 20 و10 سم للمحراث الحفار والمشط القرصي على التوالي، إذ تكون مقاومة التربة منخفضة، فضلاً عن أنَّ السرعة المنخفضة للحراثة تساعد على منح الزمن الكافي لتكوين تشققات في التربة امام أسلحة المحراث الأمر الذي يؤدي إلى قطع كتل التربة من جسم التربة الام بسهولة، فضلاً عن انخفاض الطاقة المطلوبة لتعجيل كتل التربة عند السرعة الأمامية المنخفضة وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض متطلبات السحب للمعاملة T5. وتتفق هذه النتائج مع توصل إليه Aday وآخرون (2010). كما أظهرت النتائج ايضاً أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة قوة السحب بنسبة 35.00 و19.35 و31.39 و28.55 و52.87 لمعاملات الحراثة T1 وT2 وT3 و T4 و T5 على التوالي. ويتضح من النتائج أنه كلما قلت الأجزاء المضافة لآلة الحراثة المركبة وانخفضت السرعة الأمامية قلت متطلبات سحب آلة الحراثة المركبة.



شكل (10) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في قوة السحب (كيلو نيوتن).

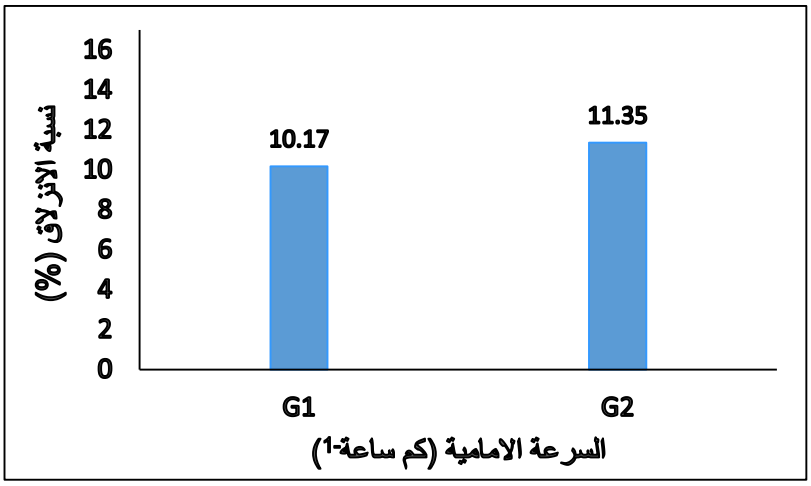
4-2- النسبة المئوية للانزلاق Slippage percentage

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17) وجود تأثير الي عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في النسبة المئوية للانزلاق، إذ يبين الشكل 11 تفوق معاملة الحراثة T5 معنوياً في تحقيقها أقل نسبة مئوية للانزلاق إذ بلغت 6.49%، في حين سجلت معاملة الحراثة T1 أعلى نسبة انزلاق إذ بلغت 13.78%، ويمكن ترتيب معاملات الحراثة بحسب النسبة المئوية للانزلاق تصاعدياً T5 < T4 < T2 < T3 < T1. ويعود سبب ذلك إلى انخفاض عمق الحراثة في معاملات الحراثة T5 و T4 و T2 قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى إذ تنخفض متطلبات قوة السحب (شكل 8) للتغلب على مقاومة التربة للحراثة مع انخفاض عمق الحراثة نتيجة إلى انخفاض حجم التربة المفككة مع انخفاض العمق، فضلاً عن انخفاض كثافة التربة الظاهرية وتماسكها عند الطبقة السطحية للتربة (جدول 3) وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض قوة سحب المحراث ومن ثَمَّ انخفاض النسبة المئوية الانزلاق بالمقارنة مع معاملات الحراثة الأخرى وخاصة معاملة الحراثة T1 التي يعمل فيها المحراث تحت سطح التربة عند عمق حراثة كبير يصل إلى 60 سم. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل اليه Moitzi وآخرون (2014) إذ وجدوا أنَّ النسبة المئوية للانزلاق تنخفض مع انخفاض عمق الحراثة، وعزوا سبب ذلك إلى انخفاض متطلبات السحب والطاقة.



شكل (11) تأثير معاملات الحراثة في النسبة المئوية للانزلاق (%)

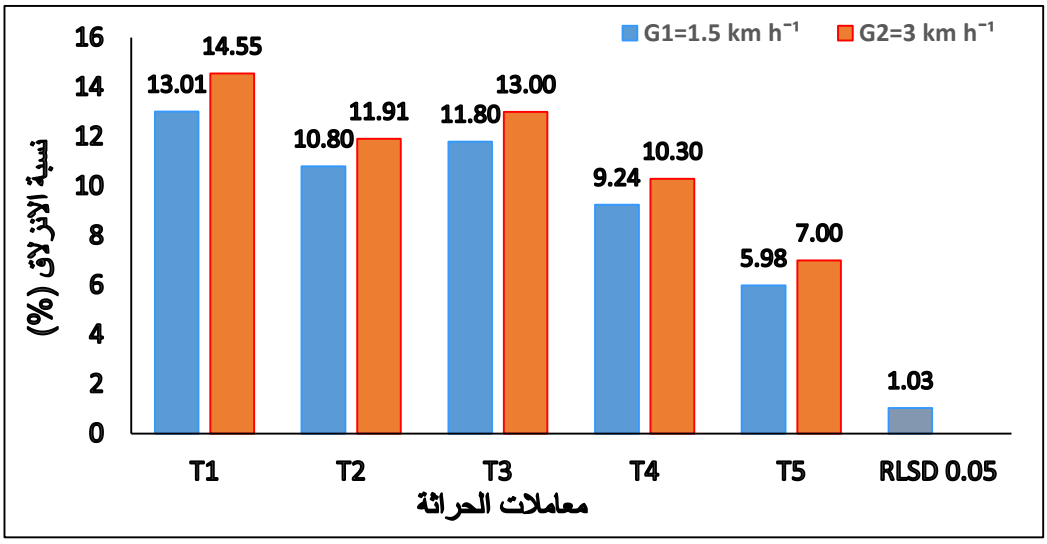
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للسرعة الأمامية في النسبة المئوية للانزلاق. إذ يوضح الشكل 12 أنَّ السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ سجلت أقل نسبة مئوية للانزلاق إذ بلغت 10.17% ، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أعلى نسبة مئوية للانزلاق إذ بلغت 11.35% أي أنَّ نسبة الانزلاق زادت بنسبة 11.60%. ويعزى ذلك إلى زيادة متطلبات اله الحراثة من قوه السحب مع زيادة السرعة الأمامية (شكل 10)، فضلاً عن انخفاض الفترة معدل الزمنية لترابط عجلات الجرار مع سطح التربة الأمر الذي ينعكس سلباً في قوه الدفع وانخفاض السرعة العملية وهذا بدوره يزيد من النسبة المئوية للانزلاق. وهذا يتفق مع نتائج Jebur (2018) إذ وجد أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2.72 إلى 8.14 كم الساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة معنوية في النسبة المئوية للانزلاق بنسبة 66.67%.



شكل (12) تأثير السرعة الأمامية في النسبة المئوية للانزلاق (%).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في النسبة المئوية للانزلاق. يتبين من الشكل 13 أنَّ الزيادة في النسبة المئوية بزيادة السرعة الامامية من G1 الى G2 تختلف تبعاً للاختلاف في معاملات الحراثة فقد أظهرت النتائج أنَّ أعلى التباينات بين G1 و G2 عند المعاملة T1 تليها T3 في حين ان اقل التباينات كانت عند المعاملة T2 تليها T4 ثم T5 ويرجع ذلك الى زيادة متطلبات السحب لمعاملة الحراثة العميقة (60 سم) عند زيادة السرع الامامية الى G2. كما يلاحظ انخفاض النسبة المئوية للانزلاق مع انخفاض السرعة الأمامية ولجميع معاملات الحراثة.

إذ أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 3 إلى 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى انخفاض النسبة المئوية للانزلاق بنسبة 10.58 و9.32 و9.23 و10.29 و14.57% لمعاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T5 و T4 و T4 و T2 و T1 على التوالي. كما بينت النتائج تفوق معاملة التداخل (T5 X G1) بتحقيقها أقل نسبة مئوية للانزلاق التي بلغت 8.45% قياساً بمعاملة الحراثة (T1 X G2) التي سجلت أعلى نسبة مئوية للانزلاق التي بلغت 19.13% أي أنَّ النسبة المئوية للانزلاق انخفضت بنسبة 55.82%. ويعزى سبب انخفاض النسبة المئوية للانزلاق لمعاملة الحراثة (G1 X T5) إلى الدور المشترك لمعاملات آلة الحراثة المركبة T5 والسرعة الأمامية G1، إذ عملت السرعة الأمامية البطيئة في زيادة الفترة معدل الزمنية لحدوث التشققات في جسم التربة امام المحراث الأمر الذي يؤدي إلى تسهيل عملية قطع وتفكيك التربة ومن ثَمَّ تقليل متطلبات السحب (شكل 10)، فضلاً عن زيادة الفترة معدل الزمنية لتلامس إطارات الجرار مع سطح التربة وهذا بدوره يؤدي إلى خفض النسبة المئوية للانزلاق، كما أنَّ قلة تراكيب آلة الحراثة المركبة T5 وعملها عند أعماق حراثة سطحية أدى إلى انخفاض حجم التربة المحروثة، فضلاً عن انخفاض قيم الكثافة الظاهرية للتربة ومقاومتها للاختراق عند عمق الحراثة السطحي (جدول 3) الأمر الذي يسهم في تقليل متطلبات السحب ومن ثَمَّ أدت هذه العوامل مجتمعة إلى تقليل النسبة المئوية للانزلاق. وتتفق هذه النتائج مع Mohammadi وآخرون (2020) .

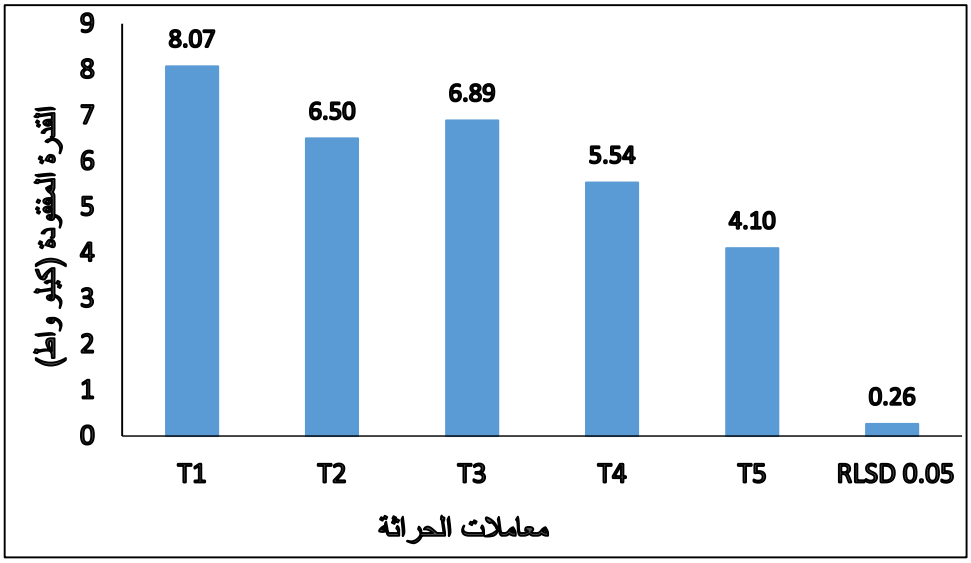


شكل (13) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في النسبة المئوية الانزلاق (%).

3-4- القدرة المفقودة بالانزلاق Power losses

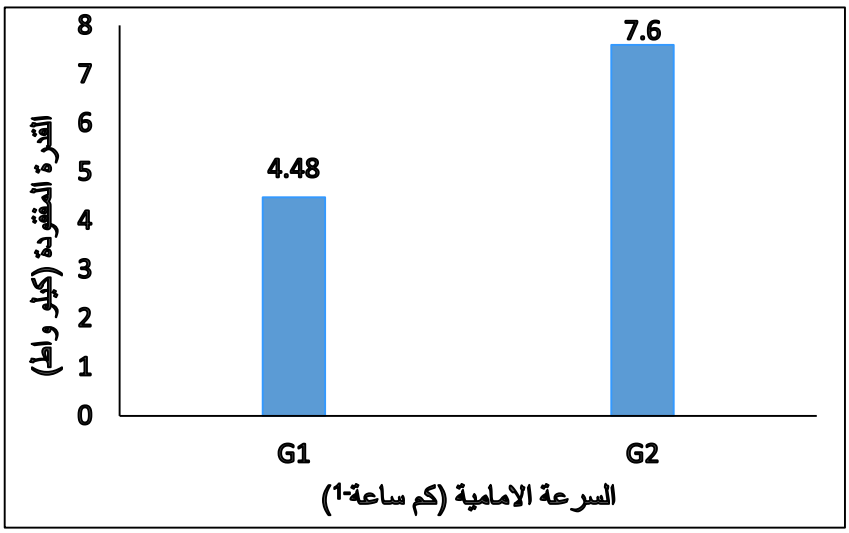
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في القدرة المفقودة، إذ يبين الشكل 14 أنَّ معاملة الحراثة T5 تفوقت في تحقيقها أقل قدرة مفقودة إذ بلغت 4.10 كيلو واط، في حين سجلت معاملات الحراثة الأخرى T1 و T2 و T3 وT4 قدرة مفقودة أعلى وكانت بواقع 8.07 و 6.50 و 6.89 و 5.54 كيلو واط على التوالي ، إذ انخفضت القدرة المفقودة قياساً بمعاملة الحراثة T5 بنسبة 49.15 و36.81 و 40.44 و 25.87% على التوالي، كما تفوقت معاملة حراثة T4 في خفض القدرة المفقودة قياساً بمعاملات الحراثة T1 و T2 و T3 بنسبة 31.41 و 14.77 و 19.65% على التوالي. وأظهرت النتائج ايضاً تفوق معاملة الحراثة T2 في خفض القدرة المفقودة قياساً بمعاملات الحراثة T1 و T3بنسبة 19.53 و5.73% على التوالي، كما انخفضت القدرة المفقودة بنسبة 14.63% لمعاملة حراثة T3 مقارنةً مع T1. إذ كان ترتيب معاملات الحراثة من القدرة المفقودة تصاعديا كالاتي T5 < T4 < T2 < T3 <T1 . ويعزى السبب في اختلاف قيم القدرة المفقودة إلى اختلاف أعماق الحراثة التي تعمل عندها تراكيب آلة الحراثة المركبة، إذ كلما زاد عدد التراكيب المضافة إلى آلة الحراثة المركبة وزاد عمق الحراثة زادت مقاومة التربة للحراثة، فضلاً عن زيادة حجم التربة التي تفككها الآلة الأمر الذي ينعكس في زيادة النسبة المئوية للانزلاق (شكل 11) ومن ثَّمَّ زيادة القدرة المفقودة، وهذا ماتم ملاحظة مع معاملة الحراثة T1 التي سجلت أعلى قدرة مفقودة إذ بلغت 8.07 كيلو واط، إذ عمل عمق الحراثة الكبير (60 سم)، فضلاً عن زيادة تراكيبها العاملة في التربة (تتكون من المحراث تحت سطح تربة ومحراث حفار ومشط قرصي وحادلة) الأمر الذي ينعكس على زياد متطلبات السحب (شكل 8) ومن ثَّمَّ زيادة التحميل على الجرار إذ يحدث انهيار للتربة تحت إطارات الدفع للجرار فتنخفض السرعة الأمامية الفعلية للجرار التي بدورها تسبب انخفاض قدرة السحب(معادلة 18 ومن ثَّمَّ زيادة النسبة المئوية الانزلاق (شكل 11) وهذا بدوره ينعكس في زيادة القدرة المفقودة قياساً بمعاملات الحراثة الأخرى. وتتفق هذه النتائج مع Moitzi وآخرون (2006) إذ وجدوا أنَّ نسبة الانزلاق تزداد بزيادة التحميل على الجرار، إذ لاحظوا أنَّ النسبة العالية من الانزلاق تؤدي إلى زيادة الفقد في القدرة. كما وجد Tahirو Jeejo (2019) أنَّ المحراث تحت سطح التربة المطور قلل من القدرة المفقود بالانزلاق قياساً بالمحراث التقليدي بنسبة 11.18%، في حين زيادة عمق الحراثة من 25 إلى 45 سم أدىٰ إلى

زيادة معنوية في القدرة المفقود بالانزلاق بنسبة 41.17%، وارجعوا سبب ذلك إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة ادت إلى زيادة متطلبات السحب والقدرة



شكل (14) تأثير معاملات الحراثة في القدرة المفقودة (كيلو واط)

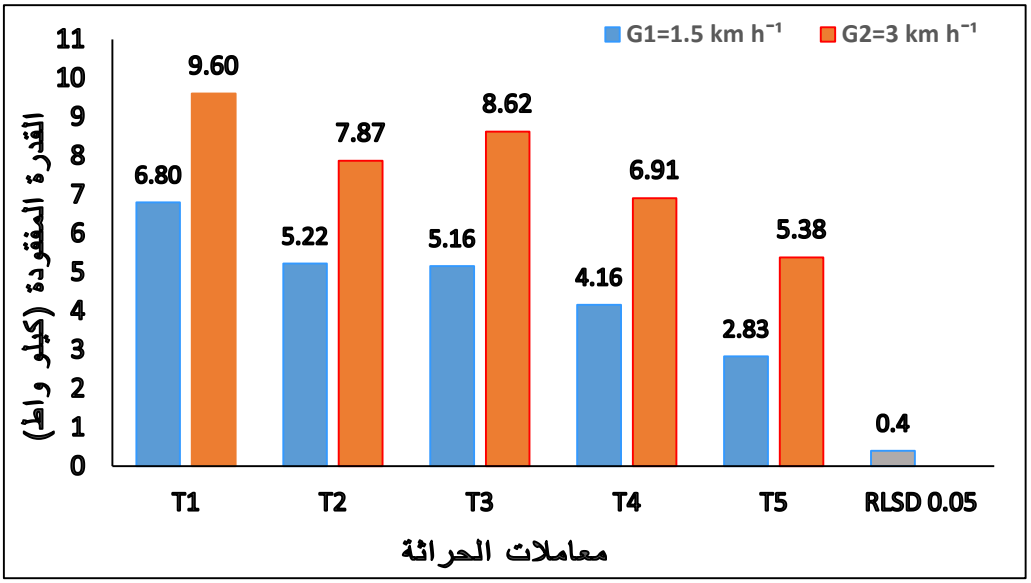
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للسرعة الأمامية في القدرة المفقودة، إذ يوضح الشكل 15 زيادة القدرة المفقودة من 4.48 إلى 7.60 كيلو واط عند زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$. ويعزى سبب ذلك إلى زيادة متطلبات الآلة المركبة من قوة السحب (شكل 9) ونسبة الانزلاق (شكل 12) مع زيادة السرعة الأمامية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة القدرة المفقودة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Jebur (2018) إذ وجدوا أنَّ زيادة سرعة الحراثة بالمحراث الحفار في تربة مزيجه رملية من 2.72 إلى 8.14 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة الفقد بالطاقة من 1.99 إلى 7.54 كيلوواط. وعزا السبب إلى زيادة التحميل على الجرار عند زيادة السرعة الأمامية مما استوجب من محرك الجرار بذل طاقة أكبر للتغلب على التحميل الزائد مما أدى إلى زيادة الفقد بالقدرة.



شكل (15) تأثير السرعة الأمامية في القدرة المفقودة (كيلو واط).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في القدرة المفقودة. توضح النتائج المبينة في شكل 16 ان القدرة المفقودة تتغاير مع زيادة السرعة الأمامية من G1 الى G2 تبعاً للتغاير في معاملات الحراثة، فقد اظهرات اعلى التباينات بين G1 و G2 عند المعاملة T3 تليها T1 وأقلها كانت عند معاملة T4 تليها T2 ثم T5 ويرجع ذلك الى زيادة النسبة المؤية للانزلاق ومقاومة التدحرج على اطارات الجرار عند زيادة عمق الحراثة والسرعة الأمامية. كما بينت النتائج تفوق معاملة التداخل (T5 X G1) في تحقيقها أقل قدرة مفقودة التي بلغت 2.80 كيلو واط، في حين سجلت معاملة التداخل (T1 X G2) أعلى قدرة مفقودة بلغت 9.60 كيلو واط، أي أنَّ القدرة المفقودة انخفضت بنسبة 73.43%. ويرجع انخفاض القدرة المفقودة للتأثير المشترك بين السرعة الأمامية المخفضة G1 والمعاملة T5، إذ أنَّ آلة الحراثة المركبة T5 مزودة فقط بمحراث حفار ومشط قرصي، فضلاً عن عملها في حراثة التربة السطحية (20 سم) وهذا يجعل متطلباتها من القدرة منخفضة، كما أنَّ السرعة المنخفضة للحراثة تؤدي إلى التقليل من النسبة المئوية للانزلاق (شكل 12) ومتطلبات الآلة من قوة السحب (شكل 10)، فضلاً عن انخفاض كثافة التربة وتماسكها ومقاومتها للاختراق عند انخفاض العمق (جدول 3)، الأمر الذي يؤدي إلى تقليل الهدر بالقدرة ومن ثَمَّ انخفاض القدرة المفقودة. وتتفق هذه النتيجة مع توصل إليه Mohammadi وآخرون (2020) على عكس من معاملة التداخل (T5 X G1) التي سجلت أعلى قوة سحب ونسبة مئوية للانزلاق نتيجة زيادة عدد التراكيب المضافة للآلة

العاملة في التربة، فضلاً عن زيادة سرعة الحراثة الأمر الذي ينعكس في زيادة القدرة المفقودة. ويتضح من النتائج أنَّه كلما قلت الأجزاء المضافة لآلة الحراثة المركبة وانخفضت السرعة الأمامية قلت القدرة المفقودة.

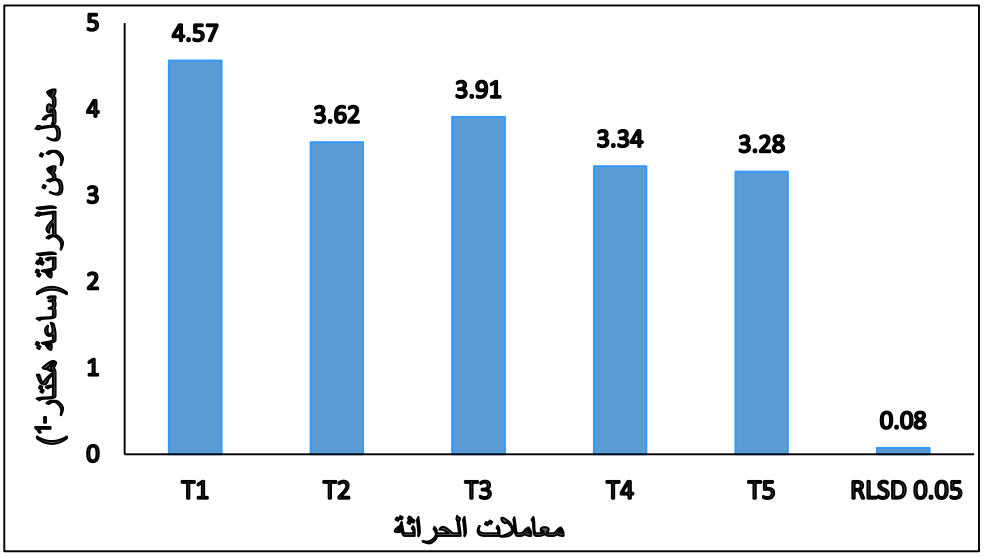


شكل (16) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في القدرة المفقودة (كيلو واط)

4-4- معدل زمن الحراثة The time of the tillage operation

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في معدل زمن الحراثة. إذ يبين الشكل 17 تفوق معاملة الحراثة T5 معنوياً في تحقيقها أقل زمن للحراثة إذ بلغ 3.28 ساعة هكتار$^{-1}$ ، في حين سجلت معاملة الحراثة T1 أعلى زمن للحراثة إذ بلغ 4.57 ساعة هكتار$^{-1}$ ، كما سجلت معاملات الحراثة T2 و T3و T4 قيم وسطية للزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة بلغت 3.62 و 3.91 و 3.34 ساعة هكتار$^{-1}$ على التوالي، ويلاحظ من النتائج أنَّ تأثير معاملات الحراثة في زيادة معدل زمن الحراثة كان على النحو التالي T1 > T3 > T2 > T4 > T5 . ويعود سبب انخفاض معدل الزمن اللازم للحراثة لمعاملة الحراثة T5 قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى إلى انخفاض عمق الحراثة، فضلاً عن قلة الأجزاء المضافة لمعاملة الحراثة T5 الأمر الذي ينعكس في انخفاض النسبة المئوية للانزلاق (شكل 11) وهذا بدوره يساعد على زيادة السرعة العملية الأمر الذي يؤدي إلى تقليل معدل زمن الحراثة للهكتار الواحد، على عكس من معاملة الحراثة T1 التي تتكون من أجزاء أكثر من معاملة الحراثة T5،

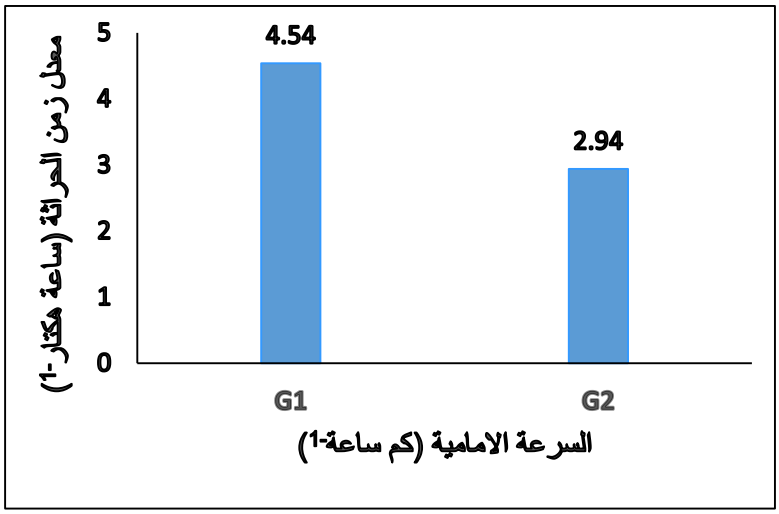
فضلاً عن عملها على عمق كبير (60 سم) الأمر الذي أدى إلى زيادة متطلباتها من قوة السحب (شكل 8) ومن ثَمَّ زيادة النسبة المئوية للانزلاق (شكل 10) وهذا بدوره يؤدي إلى نتيجة انخفاض سرعة الحراثة ومن ثَمَّ زيادة زمن الحراثة للهكتار الواحد. وتتفق هذه النتائج مع توصل Sarauskis وآخرون (2014) إذ توصلوا إلى أنَّ تنعيم التربة السطحية باستعمال المشط القرصي احتاج زمن كان بواقع 3.66 ساعة هكتار$^{-1}$، في حين الحراثة العميقة بواسطة المحراث الحفار عند عمق 35 سم احتاجت إلى زمن أعلى إذ بلغ 4.73 ساعة هكتار$^{-1}$ أي أنَّ معدل زمن الحراثة انخفض بنسبة 28.68% مع انخفاض عمق الحراثة.



شكل (17) تأثير معاملات الحراثة في معدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة، إذ يوضح الشكل 18 انخفاض معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة من 4.54 إلى 2.94 ساعة هكتار$^{-1}$ عند زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$. إذ انخفض معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة بنسبة 35.22%. وذلك لان زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة المساحة المحروثة بوحدة معدل الزمن الأمر الذي يقلل معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة. وهذا يتفق مع ما توصل إليه عبد علي (2013) إذ وجد أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 4.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى انخفاض معدل الزمن المستغرق في عملية الحراثة بنسبة 8.6%. كما وجد Bochtis وآخرون (2018) أنَّ زيادة السرعة الأمامية تسهم بتقليل معدل الزمن عند اجراء عمليات تحضير التربة، وعللوا السبب إلى أنَّ معدل الزمن

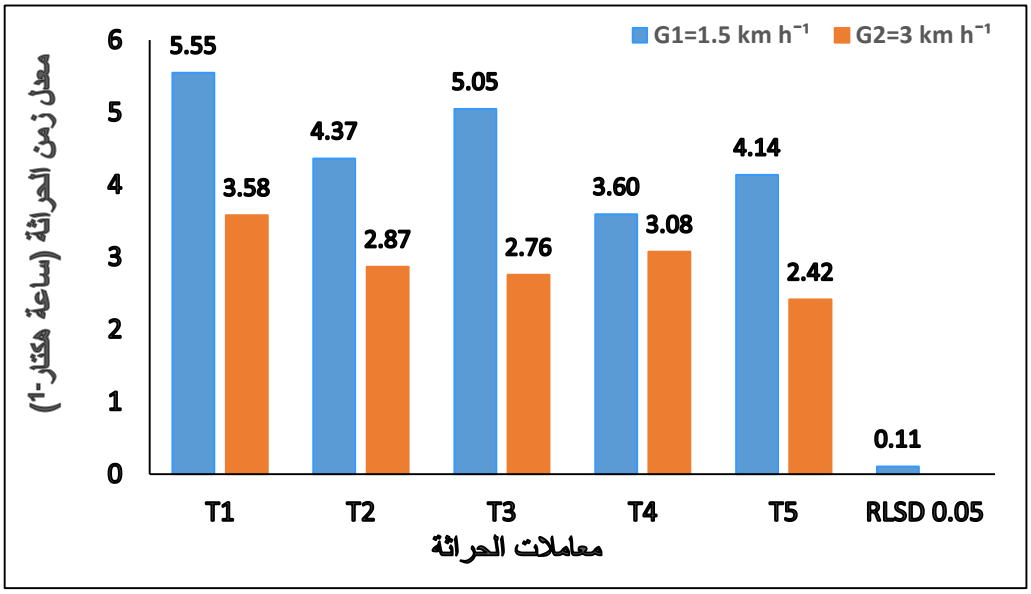
هو احد مركبات السرعة التي تتناسب عكسياً مع السرعة الأمامية، فضلاً عن زيادة الإنتاجية العملية عند زيادة السرعة الأمامية وهذا يعني زيادة المساحة المحروثة في زمن أقل مما يقلل من معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة.



شكل (18) تأثير السرعة الأمامية في معدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة. توضح النتائج المبينة في شكل 19 ان معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة ينخفض بزيادة السرعة الأمامية من G1 الى G2 تبعاً للتغاير بين معاملات الحراثة فقد كانت اعلى التباينات بين G1 و G2 عند معاملة الحراثة T3 تليها T1 وأقلها كانت لمعاملة الحراثة T5 تليها T2 ثم T4 ، أذ يلاحظ أنخفاض معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة مع زيادة السرعة الأمامية ولجميع معاملات حراثة آلة الحراثة المركبة. إذ أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى انخفاض معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة بنسبة 41.62 و 14.46 و 45.35 و 34.28 و 35.44% لمعاملات حراثة آلة الحراثة المركبة T5 و T4 و T4 و T2 و T1 على التوالي. كما بينت النتائج تفوق معاملة التداخل (T5 X G2) بتحقيقها أقل قيمة لمعدل زمن الحراثة الذي بلغ 2.42 ساعة هكتار$^{-1}$ قياساً بمعاملة التداخل (T1 X G1) التي سجلت أعلى زمن لازم لإنجاز عملية الحراثة الذي بلغ 5.55 ساعة هكتار$^{-1}$ أي أنَّ معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة انخفض بنسبة 56.45%. ويعزى انخفاض معدل زمن الحراثة لمعاملة التداخل (T5 X

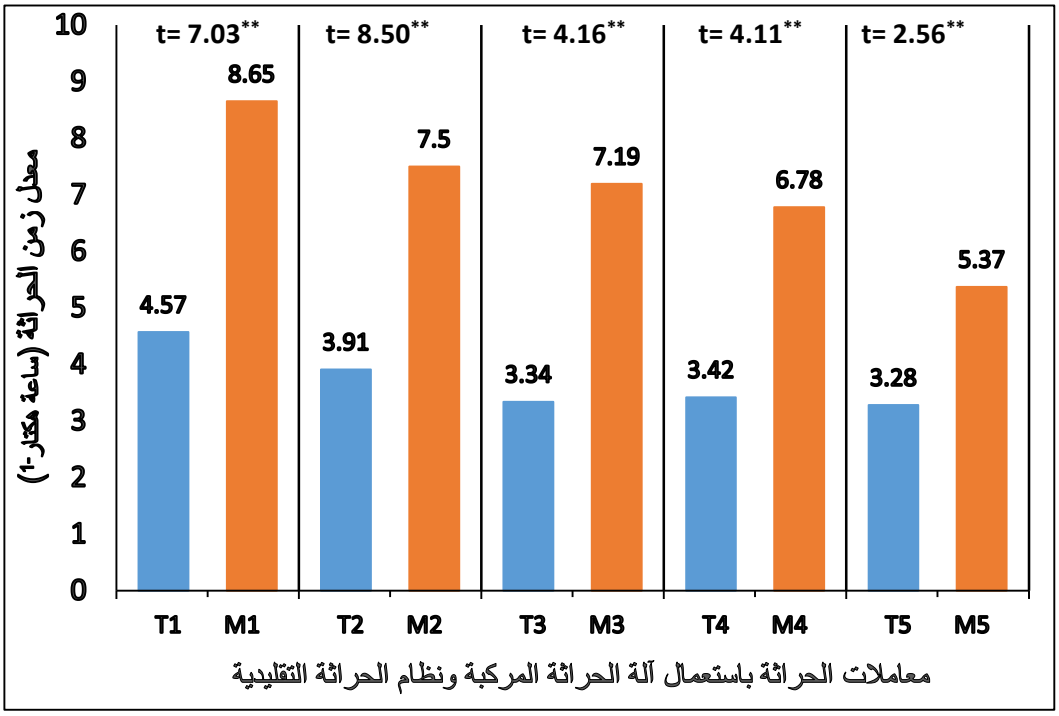
G2) إلى ذلك إلى الدور المشترك لمعاملات الحراثة T5 والسرعة الأمامية G2، إذ عملت السرعة الأمامية 3 كم ســـاعة$^{-1}$ على تقليل الفترة معدل الزمنية اللازمة لعملية الحراثة، كما أنَّ تقليل تراكيب آلة الحراثة المركبة وانخفاض عمق الحراثة وخفة وزن تركيب الة الحراثة لمعاملة الحراثة T5 ســـاعد ذلك في تقليل النسبة المئوية للانزلاق (شكل 12) ومن ثَمَّ زيادة السرعة العملية ومن ثَمَّ قصـر الفترة اللازمة لإنجاز عملية الحراثة ومن ثَمَّ انخفاض معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة. وتتفق هذه النتائج مع ما أشـــار اليه كل من Sarauskis وآخرون (2014). إلى أنَّ نظام الحراثة المخفضـــة سجل أقل زمن لازم لإنجاز عملية الحراثة الذي بلغ 1.2 ساعة هكتار$^{-1}$ في حين سجل نظام الحراثة العميقة أعلى زمن لازم لإنجاز عملية الحراثة الذي بلغ 2.5 ساعة هكتار$^{-1}$.



شكل (19) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في معـــــــدل زمن الحراثة (ساعة هكتار$^{-1}$)

يلاحظ من شكل 20 وجود فروق عالية المعنوية بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة ومايقابلها من نظم الحراثة التقليدية وفقاً لاختبار t (ملحق 18) إذ تفوقت معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 و T2 و T3 وT4 و T5 في خفض معدل زمن الحراثة بنسبة 47.17 و 47.87 و53.55 و 49.56 و 38.92% مقارنةً مع معاملات الحراثة التقليدية M1 و M2 و M3 و M4 وM5 على التوالي. ويرجع سبب ذلك إلى اختصار آلة الحراثة المركبة (معاملات الحراثة) لعمليات الحراثة وتحضير مهد البذرة في مرور واحد في الحقل مما يسهم في خفض معدل زمن الحراثة،

ويلاحظ من النتائج أنَّ معاملة الحراثة T1 حققت معدل لزمن الحراثة أقل الذي بلغ 4.57 ساعة هكتار$^{-1}$، في حين في معاملة الحراثة التقليدية M1 زمن كلي أعلى الذي بلغ 8.65 ساعة هكتار$^{-1}$ الأمر الذي يبين إمكانية معاملة الحراثة T1 في حراثة ضعف المساحة تقريباً مقارنة مع نظام الحراثة التقليدية M1. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Dahab وآخرون (2021) إذ وجدوا أنَّ آلة الحراثة المركبة قللت من زمن الحراثة بنسبة 77% مقارنة باستعمال آلات الحراثة بشكل منفرد كما هو الحال في الطرق التقليدية لحراثة التربة، وعزوا سبب ذلك إلى تقليل عدد مرات المرور في الحقل لانجاز عملية الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة الأمر الذي ينعكس في تقليل زمن الحراثة مقارنة بالمرورات العديدة لانجاز عملية تهيئة التربة في نظام الحراثة التقليدية، وهذا يزيد من الوقت اللازم لاتمام عملية الحراثة.

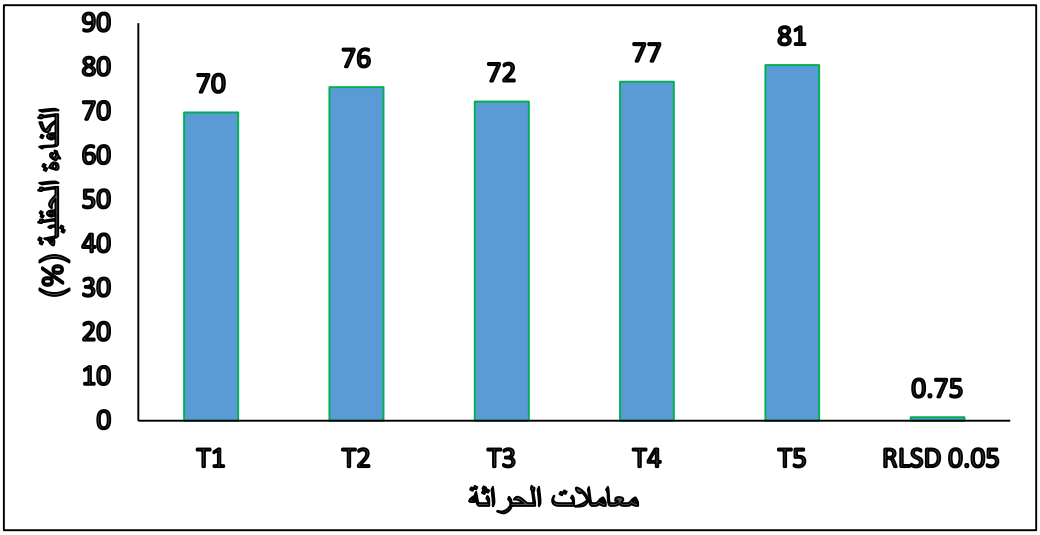


شكل (20) مقارنة معدل زمن الحراثة بتراكيب آلة الحراثة المركبة ونظم الحراثة التقليدية

4-5- الكفاءة الحقلية Field efficiency

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في الكفاءة الحقلية. إذ يوضح الشكل 21 تفوق معاملة الحراثة T5 في تسجيلها أعلى كفاءة حقلية إذ بلغت 81%، في حين سجلت معاملات الحراثة T4 و

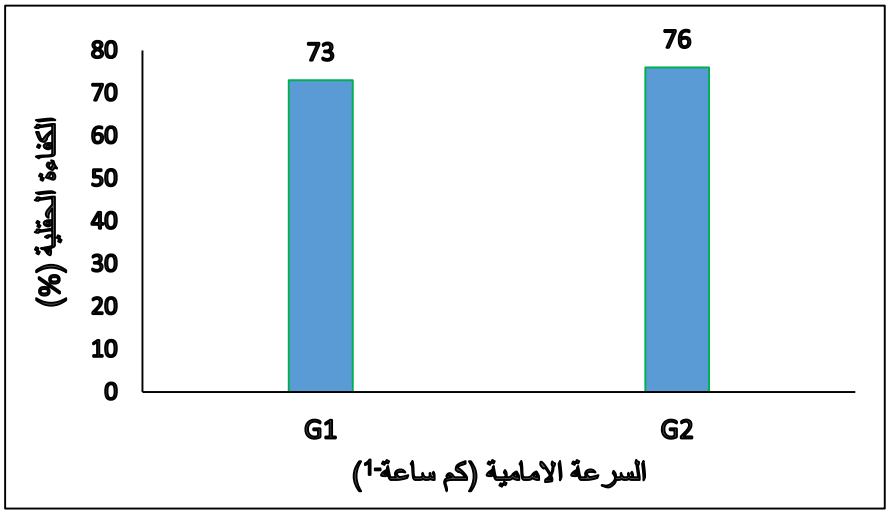
T3 و T2 و T1 كفاءة حقلية أقل إذ بلغت 77 و74 و72 و76 و70% على التوالي. ويمكن ترتيب معاملات الحراثة حسب كفائتها الحقلية تصاعدياً كالآتي: T3 > T1 < T2 < T4 < T5 ويعزى سبب ذلك إلى اختلاف تراكيب آلة الحراثة المركبة، إذ أنَّ الات الحراثة التي تعمل عند عمق كبير وتحتوي على مركبات عديدة لمعاملة التربة كما هو الحال بمعاملة الحراثة T1 الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تحميل الجرار وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة النسبة المئوية للانزلاق (شكل 11) مما ينعكس في انخفاض الانتاجية العملية ومن ثَمَّ انخفاض الكفاءة الحقلية، في حين تراكيب آلة الحراثة المركبة التي تعمل عند عمق منخفض وتحتوي على تراكيب أقل كما هو الحال في معاملة الحراثة T5 وهذا الأمر الذي يقلل من التحميل على الجرار مما ينعكس في تقليل انزلاق العجلات الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الإنتاجية العملية ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية. وتتفق هذه النتائج مع نتائج ALkhafaji و آخرون (2018) الذين توصلوا إلى أنَّ المحراث التقليدي أدىٰ إلى زيادة الإنتاجية العملية بنسبة 20% قياساً بالمحراث المركب.



شكل (21) تأثير معاملات الحراثة في الكفاءة الحقلية (%).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للسرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية، إذ يلاحظ من الشكل 22 أنَّ السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ تفوقت بتحقيقها أعلى كفاءة حقلية التي بلغت 76% قياساً مع السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ التي سجلت كفاءة حقلية أقل التي بلغت 73%، إذ زادت الكفاءة الحقلية بنسبة 6.85% وذلك لان زيادة السرعة الأمامية يؤدي إلى تقليل معدل الزمن اللازم للحراثة (شكل 17) الأمر الذي ينعكس في زيادة

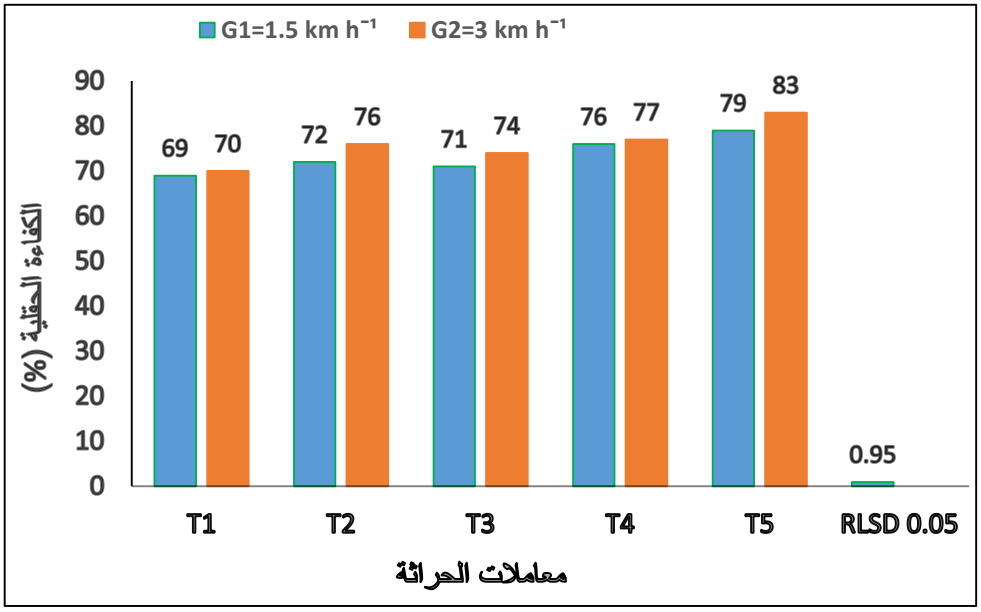
الإنتاجية العملية ومن ثَّمَّ زيادة الكفاءة الحقلية. وهذا يتفق مع ما توصـــــل إليـــه Olaoye و Adekanye (2015) إذ وجدا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 09.50 إلى 10.01 كم الساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة الكفاءة الحقلية من 85 إلى 90 % للمشط القرصي أما عند زيادة السرعة الأمامية من 8.50 إلى 9.00 كم الساعة$^{-1}$ فقد زادت الكفاءة الحقلية من 80 إلى 85% للمشط الحفار.



شكل (22) تأثير السرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية (%).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين لعاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية. يلاحظ من الشكل 23 ان قيم الكفاءة الحقلية تتغاير بزيادة السرعة الامامية من G1 الى G2 تبعاً لتغاير معاملات الحراثة فقد أظهرت النتائج ان اعلى تباين بين G1 وG2 كان عند معاملة الحراثة T5 تليها T2 ثم T3 وأقلها كانت عند معاملة الحرثة T1 وT4 ، كما توضح النتائج تفوق معاملـــــة الحراثة (T5 X G2) في تحقيقها أعلى كفاءة حقلية التي بلغت 83 %، في حين سجلت معاملة الحراثة (T1 X G1) أقل كفاءة حقلية التي بلغت 69%، أي أنَّ الكفاءة الحقلية زادت بنسبة 20.29%. ويرجع زيادة الكفاءة الحقلية لمعاملة الحراثة (T5 X G2) للتأثير المشترك للسرعة الأمامية العالية التي تعد أحد مركبات الإنتاجية العملية التي تؤثر إيجاباً في زيادة الكفاءة الحقلية واستعمال معاملة الحراثة T5 التي تعمل فيها آلة الحراثة المركبة على عمق حراثة سطحي 20 و10 سم للمحراث الحفار والمشط القرصي على التوالي، الأمر الذي يؤدي إلى تقلل النسبة المئوية للانزلاق (شكل13) وهذا بدوره ينعكس

في زيادة السرعة الفعلية ومن ثَمَّ زيادة الكفاءة الحقلية. وتتفق هذه النتائج مع توصل إليه جاسم وآخرون (2018) إذ وجدوا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 3.75 إلى 5.80 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة الكفاءة الحقلية بنسبة 12.80%.

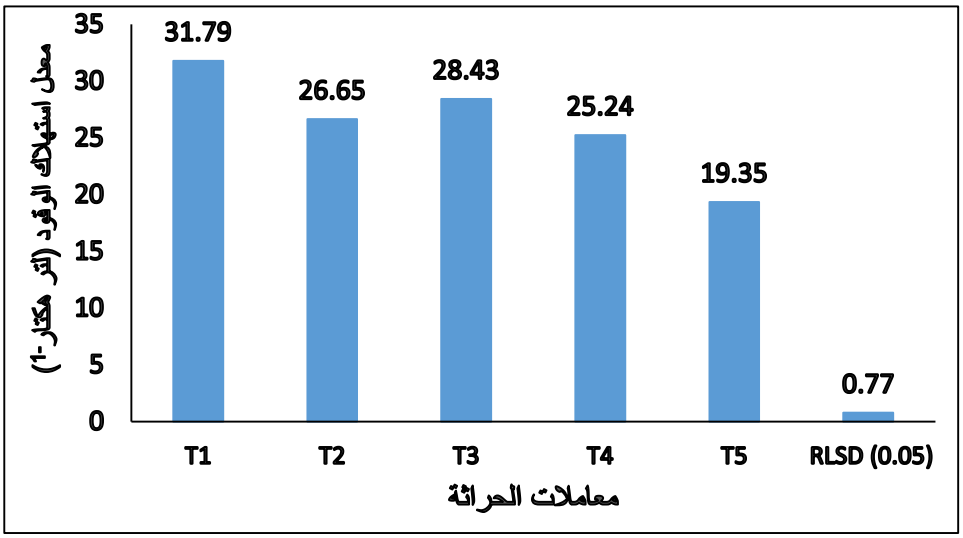


شكل (23) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في الكفاءة الحقلية (%).

6-4- معدل استهلاك الوقود Fuel consumption rate

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في معدل استهلاك الوقود إذ يبين الشكل 24 سجلت معاملة الحراثة T5 أقل معدل لاستهلاك الوقود الذي بلغ 19.35 لتر هكتار$^{-1}$، في حين سجلت معاملات الحراثة T1 و T2 و T3 وT4 معدل استهلاك وقود أعلى الذي بلغ 31.97 و 26.64 و28.42 و 25.24 لتر هكتار$^{-1}$ على التوالي، إذ زاد معدل استهلاك الوقود بالمقارنة مع معاملة الحراثة T5 بنسبة 64.29 و37.70 و46.90 و30.44% على التوالي. ويعود سبب انخفاض معدل استهلاك الوقود في حالة معاملة حراثة T5 إلى انخفاض متطلبات قوة السحب (شكل 8) ونسبة الانزلاق (شكل 11) وزمن الحراثة (17) لهذهِ المعاملة لكون آلة الحراثة تعمل عند عمق سطحي، فضلاً عن احتوائها على آلات حراثة أقل مما قلل من متطلبات الطاقة لهذه المعاملة الأمر الذي أدى إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود مقارنةً مع معاملات الحراثة الأخرى، كما تشير النتائج إلى وجود فروق معنوية بين معاملات الحراثة التي تتكون من نفس آلات الحراثة وتختلف بعمق الحراثة للمحراث

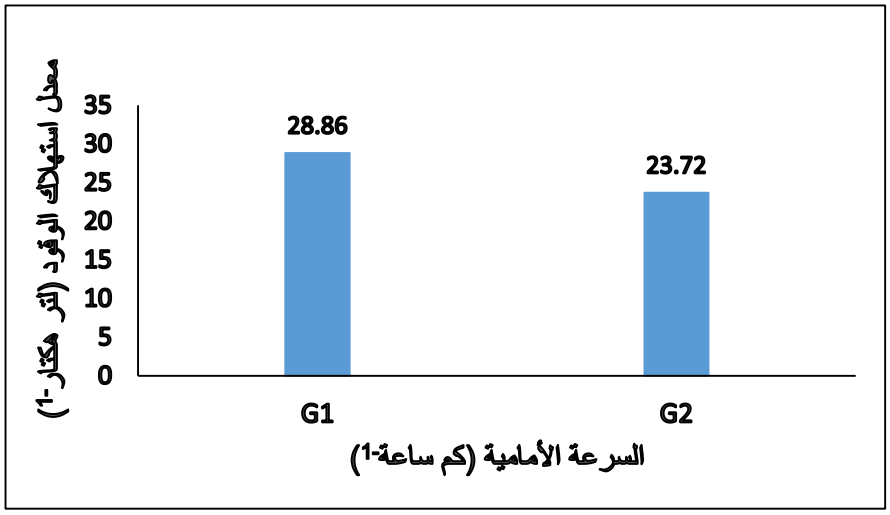
تحت سطح التربة فقط إذ تفوقت معاملة الحراثة T2 على T1 ، كما تفوقت معاملة حراثة T4 على T3 في خفض معدل استهلاك الوقود بمقدار 5.15 و 3.18 لتر هكتار$^{-1}$ بنسبة انخفاض بلغت 16.18 و12.62% على التوالي. ويرجع السبب في ذلك إلى أنَّ انخفاض عمق الحراثة من 60 إلى 40 سم للمحراث تحت سطح التربة قلل من حجم التربة التي يعاملها المحراث مما يؤدي إلى خفض متطلبات الطاقة، فضلاً عن انخفاض نسبة الانزلاق (شكل 11) وزيادة السرعة العملية مما أدىٰ إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود في وحدة المساحة، وهذه النتائج تتفق مع ما توصل إليه Martins وآخرون (2021) إذ توصلوا إلى أنَّ انخفاض عمق آلة حراثة مركبة مكونة من المحراث تحت التربة ومشط قرصي من 25 و80 إلى 10 و45 سم للمشط القرصي والمحراث تحت سطح التربة على التوالي أدىٰ إلى انخفاض معدل استهلاك بنسبة 108%، وعزوا السبب إلى انخفاض مقاومة التربة للاختراق، فضلاً عن انخفاض حجم التربة المفككة من قبل آلة الحراثة المركبة عند عمق الحراثة السطحي مما قلل من الطاقة المصروفة للتغلب على حجم التربة الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض الوقود المستهلك.



شكل (24) تأثير معاملات الحراثة في معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للسرعة الأمامية في معدل استهلاك الوقود. إذ يبين الشكل 25 تفوق السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ على السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ في خفض معدل استهلاك الوقود من 28.86 إلى 23.72 لتر هكتار$^{-1}$ أي بنسبة انخفاض بلغت 17.80%. ويعود السبب في ذلك إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية

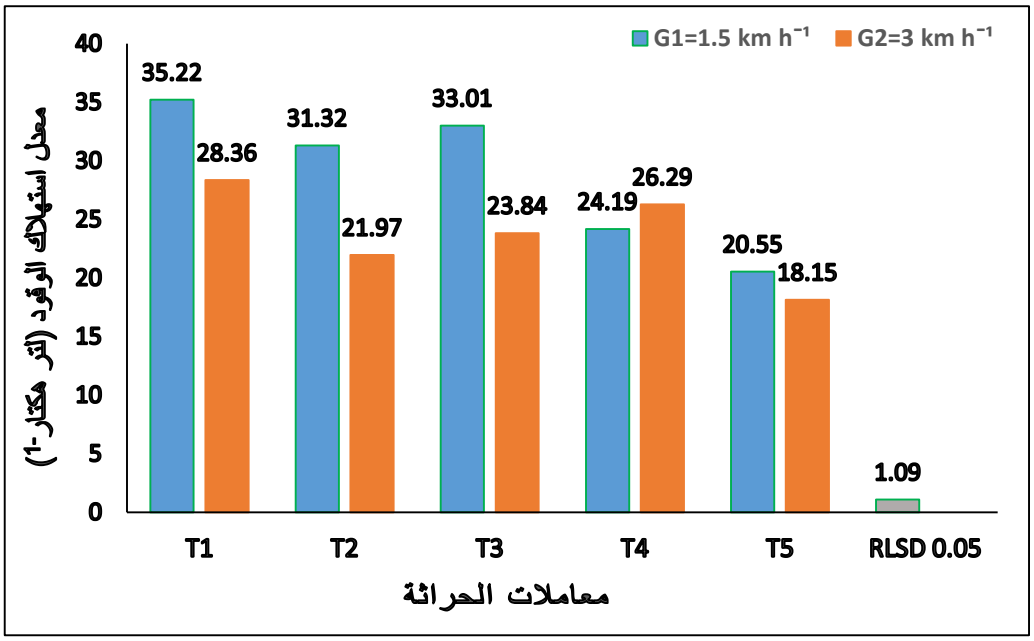
يساعد في الاستغلال الامثل لقدرة الجرار، فضلاً عن خفض زمن الحراثة (شكل 18) ومن ثَمَّ تقليل معدل استهلاك الوقود في وحدة المساحة. تتفق هذه النتائج مع ما توصل اليه Inthiyaz وآخرون (2020) إذ وجدوا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 1.6 إلى 3.6 كم ساعة$^{-1}$ عند تحضير التربة بواسطة آلة حراثة مركبة أدىٰ إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود بنسبة 27.27%، بالاتجاه نفس وجـــــــــد Celik و Altikat (2020) أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2.02 إلى 4.54 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى انخفاض معدل استهلاك الوقود بنسبة 33.33%. وعزا السبب إلى انخفاض الفترة معدل الزمنية اللازمة للحراثة في وحدة المساحة مما قلل من الوقود المستهلك مع زيادة السرعة الأمامية.



شكل (25) تأثير السرعة الأمامية في معدل استهلاك الوقود(لتر هكتار$^{-1}$).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في معدل استهلاك وقود، إذ يلاحظ من الشكل 26 ان الأنخفاض في معدل استهلاك الوقود بزيادة السرعة الأمامية من G1 الى G2 يتغير بتغاير معاملات الحراثة فقد أظهرت الناتئج ان اعلى التباينات بين G1 و G2 كانت عند معاملة T2 تليها T3 ثم T1 في حين اقلها كانت عند معاملة T5 تليها T4 . كما يلاحظ تفوق معاملة الحراثة (T5 X G2) في تحقيقها أقل معدل استهلاك للوقود إذ بلغ 18.15 لتر هكتار$^{-1}$، في حين سجلت معاملة التداخل (T1 X G1) أعلى معدل استهلاك للوقود الذي بلغ 35.22 لتر هكتار$^{-1}$، أي انخفض معدل استهلاك الوقود بنسبة 48.46%. ويعود سبب انخفاض معدل استهلاك الوقود لمعاملة التداخل (T5 X G2)

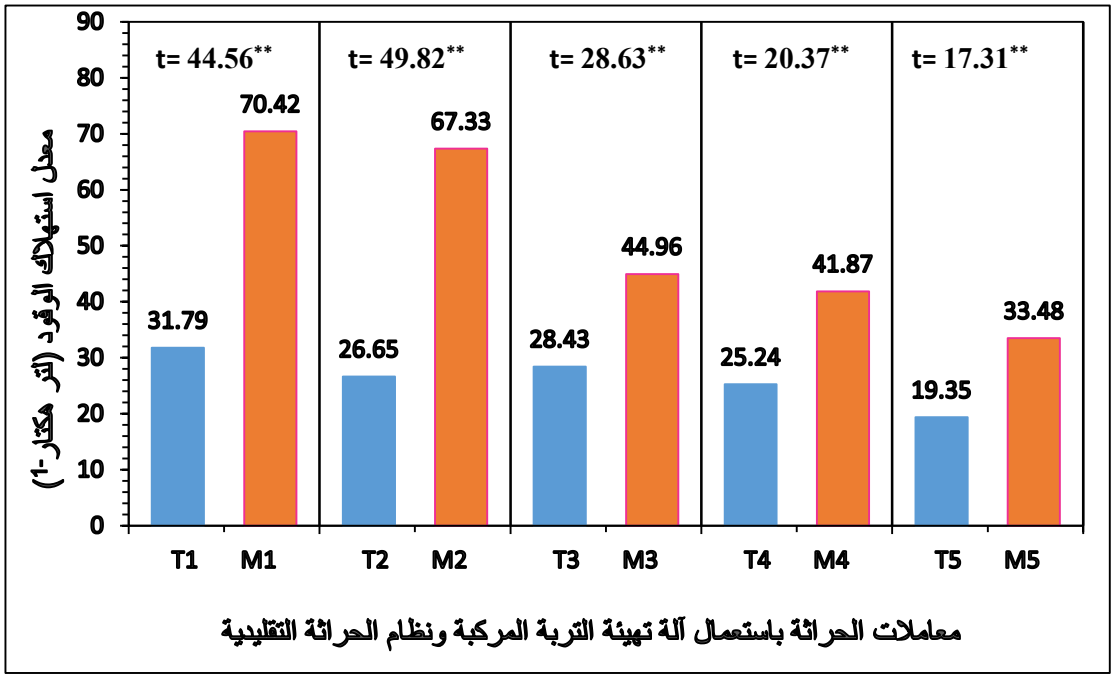
إلى زيادة السرعة الأمامية التي بدورها قللت من معدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة (شكل 19)، فضلاً عن أنَّ معاملة T5 تعمل فيه الاجزاء الشغالة للآلة المركبة على عمق 20 سم وهذا بدوره يقلل من متطلبات الطاقة المصروفة في عملية الحراثة، فضلاً عن تقليل النسبة المئوية للانزلاق (شكل 11) ومن ثَمَّ انخفاض كمية الوقود المستهلكة في وحدة المساحة. كما يلاحظ من نتائج التداخل بين السرعة الأمامية ومعاملات الحراثة كلما زادت السرعة الأمامية وانخفض عمق الحراثة او كانت الأجزاء المضافة لآلة الحراثة المركبة أقل انخفض معدل استهلاك الوقود، فعند زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$ انخفض معدل استهلاك الوقود بنسبة 11.68 و8.68 و29.85 و27.78 و19.48 لجميع معاملات الحراثة T5 و4T و T3 و T2 و T1 على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع كل من Botta وآخرون (2019) و Inthiyaz وآخرون (2020).



شكل (26) تأثير التداخل معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في معدل استهلاك الوقود (لتر هكتار$^{-1}$).

يلاحظ من الشكل 25 وجود فروق عالية المعنوية بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة و مايقابلها من نظم الحراثة التقليدية وفقاً لاختبار t (ملحق 18) إذ تفوقت معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 و T2 و T3 و T4 و T5 في خفض معدل استهلاك الوقود بنسبة

54.86 و 60.42 و 36.77 و39.77 و 42.20% مقارنةً مع معاملات الحراثة التقليدية M1 و M2 و M3 و M4 و M5 على التوالي. ويرجع سبب ذلك إلى دور معاملات آلة الحراثة المركبة في اختصار عمليات الحراثة وتهيئة مهد البذرة في مرور واحد في الحقل مما يسهم في خفض زمن الحراثة (شكل 20) ومن ثَمَّ خفض معدل استهلاك الوقود، فمثلاً الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 التي تتم فيها عملية الحراثة السطحية والعميقة والتنعيم بمرور واحد في الحقل في حين معاملة الحراثة التقليدية M1 تتم عملية الحراثة بأربع مرورات في الحقل إذ في كل مرور تستهلك عملية الحراثة كمية وقود إضافية وتتراكم هذه الكمية لحين إتمام عملية الحراثة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Nasr و آخرون (2016).

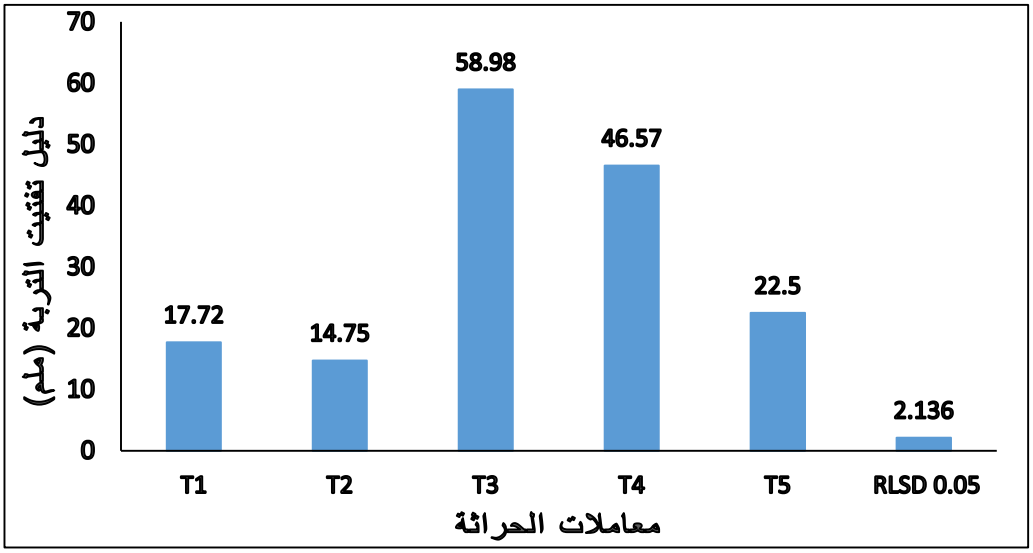


شكل (27) يوضح مقارنة معدل استهلاك الوقود لتراكيب آلة الحراثة المركبة ونظم الحراثة التقليدية (لتر هكتار-1).

4-7- دليل تفتيت التربة Soil pulverization index

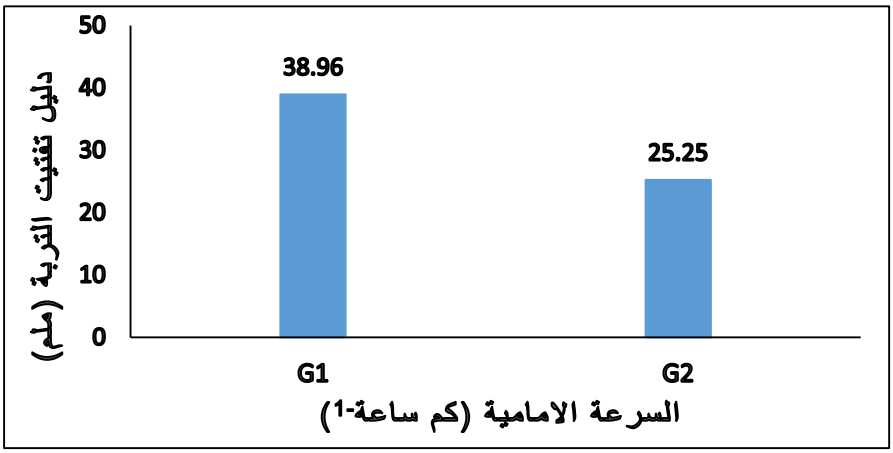
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في دليل تفتيت التربة، إذ يلاحظ من الشكل 28 أنَّ دليل التفتيت للتربة ينخفض لتراكيب آلة الحراثة المركبة التي تحتوي على معدات تهيئة التربة الثانوية (المشط

القرصي المزدوج والحادلة)، إذ تفوقت معاملات حراثة T2 و T1 و T5 بتسجيلهما أقل دليل تفتيت للتربة الذي بلغ 14.75 و17.72 و22.50 ملم على التوالي، في حين سجلت معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T3 و T4 دليل تفتيت للتربة أعلى إذ بلغ 58.97 و 46.57 ملم على التوالي. ويعود السبب في ذلك إلى أنَّ معاملات الحراثة التي تتضمن معدات الحراثة الثانوية زادت من تفتيت التربة إذ تعمل الامشاط القرصية على تنعيم التربة التي حرثت بواسطة المحراث الحفار والمحراث تحت سطح التربة كما تعمل الحادلة على زيادة تفتيت التربة التي تم تنعيمها بوساطة الامشاط القرصية من خلال تكسير كتل التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تنعيم التربة. وتتفق هذه النتيجة مع النتائج التي حصل عليها Javadi و Hajiahmad (2006) إذ وجدا أنَّ دليل تفتيت التربة باستعمال آلة حراثة مركبة (مشط القرصي + حادله) ينخفض قياساً بالمشط القرصي فقط بنسبة 11.38%. وتبين النتائج أنَّ إضافة الامشاط القرصية والحادلة كما في حالة معاملتي حراثة T1 و T2 خفضت دليل تفتيت التربة قياساً بمعاملتي حراثة T3 و T4 التي لا تتضمن معدات حراثة ثانوية بنسبة 70 و68.33% على التوالي، وهذا يبين بوضوح التأثير الإيجابي لأضافه معدات الحراثة الثانوية إلى آلة الحراثة المركبة في زيادة تنعيم التربة. واظهرت النتائج ايضاً تفوق معاملة حراثة T2 على معاملة الحراثة T1 في تقليل دليل تفتيت التربة (زيادة تنعيم التربة) بنسبة 16.73% على الرغم من تماثل معاملتي الحراثة من حيث معدات الحراثة الثانوية المضافة الا أنَّ اختلاف عمق المحراث تحت سطح التربة أدىٰ إلى زيادة دليل تفتيت التربة في حالة T1 التي يعمل فيها المحراث تحت التربة عند عمق 60 سم. ويعود السبب إلى زيادة تماسك التربة ورطوبتها مع زيادة عمق الحراثة مما أدىٰ إلى تكون كتلاً كبيرة الحجم بفعل مقاومتها الكبيرة للتفتيت، فضلاً عن أنَّ حجم كتل التربة الكبير يقلل من حركتها الأمر الذي يؤدي إلى تقليل تصادم هذه الكتل بعضها ببعض وهذا بدوره قلل من فرصة حدوث التنعيم الذاتي للكتل، فضلاً عن أنَّ زيادة رطوبة التربة مع زيادة عمق الحراثة تجعل كتل التربة مقاومة للتنعيم بفعل مرونة كتل التربة التي تجعلها تمتص الصدمات الأمر الذي يقلل من قوة تصادم كتل التربة ومن ثَمَّ يقل تنعيم التربة (زيادة دليل تفتيت التربة). وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه ناصر وآخرون (2017) إذ وجدوا أنَّ زيادة عمق الحراثة من 10 إلى 25 سم أدى إلى زيادة قيم دليل التفتيت بنسبة 41.09 و 36.11% للمحراث الحفار والمشط القرصي على التوالي وعللوا سبب ذلك إلى زيادة حجم كتل التربة المحروثة بالمحراث الحفار أو المعاملة بالمشط القرصي مع زيادة عمق الحراثة ورطوبة التربة.



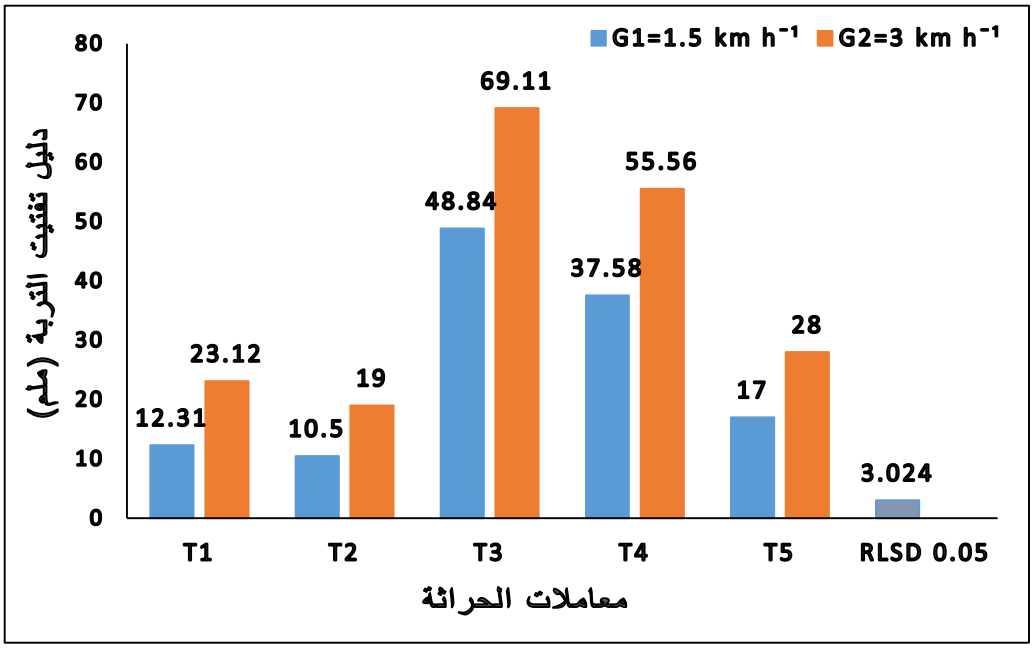
شكل (28) تأثير معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة في تفتيت التربة (ملم).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في دليل تفتيت التربة، إذ انخفض دليل التفتيت مع زيادة السرعة الأمامية (شكل 29) فزيادة السرعة الأمامية تعمل على زيادة تعجيل كتل التربة الأمر الذي يؤدي إلى حدوث التفتيت الذاتي لكتل التربة بفعل زيادة تصادم كتل التربة بعضها ببعض مما يسهم في تفتيت غالبية كتل التربة إلى كتل اصغر. فعند زيادة السرعة الأمامية من 1.5 إلى 3 كم ساعة$^{-1}$ انخفض دليل التفتيت من 38.96 إلى 25.25 ملم بنسبة انخفاض بلغت 35.20%. وهذه النتيجة تتفق مع Upadhyay و Raheman (2020) إذ وجدا عند زيادة السرعة الأمامية من 3.46 إلى 6.84 كم ساعة$^{-1}$ ينخفض دليل التفتيت من 30.25 إلى 24.86 ملم وعزا السبب إلى زيادة تعجيل كتل التربة وتصادمها مما زاد من فرصة حدوث التفتيت الذاتي للكتل.



شكل (29) تأثير السرعة الأمامية في دليل تفتيت التربة (ملم).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في ملحق (17)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في دليل التفتيت للتربة، إذ يلاحظ من الشكل 30 ان انخفاض دليل تفتيت التربة بزيادة السرعة الامامية من G1 الى G2 تتباين تبعاً للاختلاف في معاملات الحراثة فقد أظهرت اعلى التباينات بين G1 وG2 عند المعاملة T3 تليها T4 وأقلها عند معاملة T5 تليها T1 ثم T2 وهذا يشير الى ان التفوق المعنوي لمعاملات الحراثة التي تتضمن معدات الحراثة الثانوية والسرعة الأمامية العالية (G2) في زيادة تفتيت التربة (انخفاض دليل التفتيت) قياساً بمعاملات الحراثة التي لا تحتوي على معدات حراثة ثانوية عند السرعة الأمامية البطيئة. إذ حققت معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 وT2 وT5 أقل دليل تفتيت للتربة إذ بلغ 12.31 و10.5 و17 ملم، عند السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ على التوالي ، في حين سجلت معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T3 و T4 أعلى قيم لدليل تفتيت للتربة إذ بلغ 69.11 و 55.56 ملم على التوالي، عند السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ على التوالي. ويعود السبب في زيادة تفتيت لمعاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 وT2 وT5 إلى وجود معدات تهيئة التربة الثانوية (الامشاط القرصية والحادلة) ضمن مكونات الآلة المركبة لمعاملات الحراثة اعلاه، فضلاً عن أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة تعجيل كتل التربة التي تُزيد من تصادم كتل التربة بعضها ببعض الأمر الذي يتسبب في التفتيت الذاتي لكتل التربة وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة تفتيت التربة (انخفاض دليل تفتيت التربة). وهذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه Argyrokastritis و Natsis (2011). ويلاحظ من النتائج ايضاً أنَّ أقل دليل تفتيت للتربة سجلتة معاملة التداخل (T2 X G2) الذي بلغ 10.5 ملم، في حين أعلى دليل تفتيت سجلتة معاملة التداخل (T3 X G1) بلغ 69.11 ملم وان نسبة انخفاض دليل التفتيت بين أقل قيمة وأعلى قيمة بلغت 84.80%. كما يلاحظ من النتائج عدم وجود فرق معنوي بين معاملتي حراثة T1 وT2 عند السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$. كما لا يوجد فرق معنوي بين معاملة حراثة T1 عند سرعة امامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ وT5 عند سرعة أمامية 3 كم ساعة$^{-1}$.



شكل (30) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في ديل تفتيت التربة (ملم).

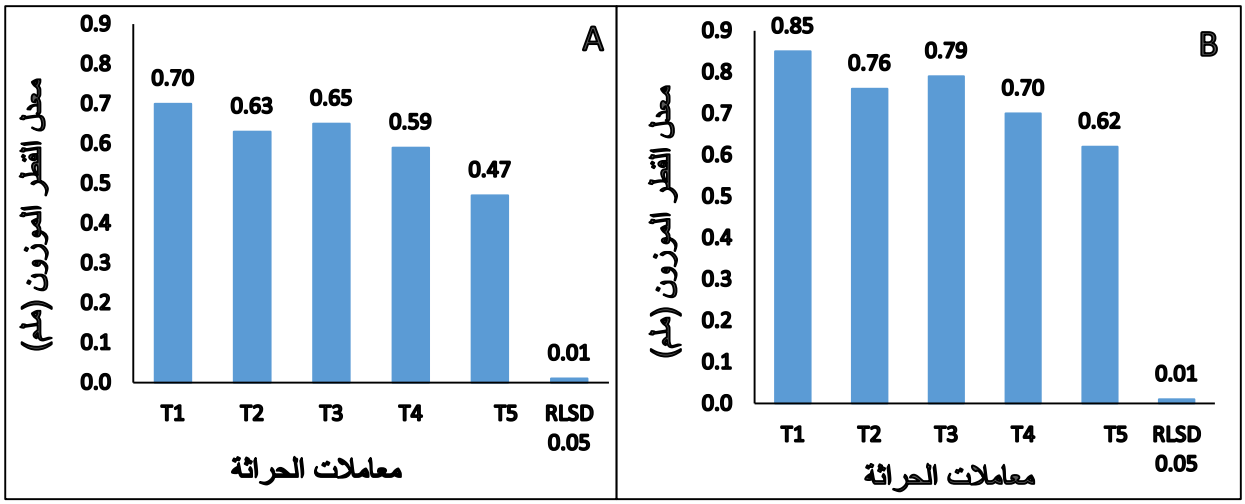
4-2- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة

Physical and chemical characteristics of soil

4-2-1 معدل القطر الموزون Mean weight diameter (MWD)

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في قيم معدل القطر الموزون (MWD) في بداية ونهاية موسم نمو المحصول، إذ يبين الشكل 31 تفوق معاملة الحراثة T1 معنوياً في تحقيقها أعلى معدل لقيم MWD في بداية ونهايته موسم النمو إذ بلغت 0.70 و0.85 ملم على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة T5 أقل قيمة من MWD في بداية ونهاية الموسم وكانت بواقع 0.47 و0.62 ملم على التوالي. أما معاملات الحراثة الأخرى T2و T3 و T4 فقد سجلت قيم وسطية لهذه الخاصية التي بلغت 0.63 و0.65 و0.59 ملم عند بداية الموسم على التوالي وكانت عند نهاية الموسم بواقع 0.76 و0.79 و0.70 ملم على التوالي. ويعزى سبب تفوق معاملتي الحراثة T1 و T3 المتضمنة المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق حراثة 60 سم في تحقيق MWD عالي في لكون الحراثة بوساطة المحراث تحت سطح التربة تؤدي إلى تكسير طبقات التربة المرصوصة وزيادة المساحة

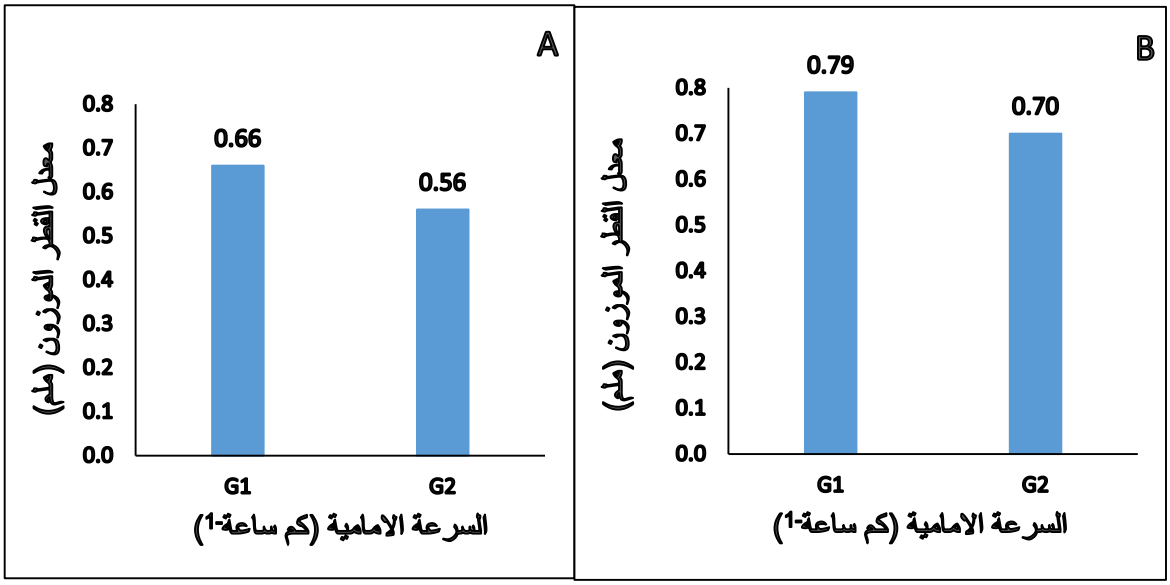
السطحية المفككة للتربة (Alfaris وآخرون، 2020)، وهذا يساعد على زيادة مسامية التربة وخفض كثافتها الظاهرية (Wang وآخرون، 2019) الأمر الذي شجع على تكوين تجمعات تربة كبيرة نسبيا مقاومة للتفكك بالماء وهذا يساعد في المحافظة على تجمعات التربة مما يؤثر إيجاباً على زيادة MWD، كما يحدث نفس الشيء في معاملتي الحراثة T2 وT4 التي تتضمن المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم ومحراث حفار يعمل على عمق 20 سم إذ تعمل هذه المحاريث على شق وتفكيك التربة عند السطح وبالعمق مما يزيد من مسامية التربة (Wang واخرون، 2019) وتحسين ثباتيه تجمعات التربة ومن ثَمَّ زيادة MWD. وهذا يتفق مع النتائج التي توصل اليها Salar وآخرون (2013) إذ أوضحوا أنَّ ثباتية تجمعات التربة الطينية تتحسن عند الحراثة العميقة باستعمال المحراث تحت سطح التربة بعضها ببعض مع معاملة الحراثة السطحية، إذ زاد MWD بنسبة 21.48%.



شكل (31) تأثير معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في معدل القطر الموزون (ملم) في بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قيم معدل القطر الموزون في بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين الشكل 32 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ على السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ في زيادة MWD من 0.56 إلى 0.66 ملم في بداية الموسم وزادت نهاية الموسم من 0.70 إلى 0.79 ملم أي بنسبة زيادة بلغت 17.86 و12.85% في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود السبب

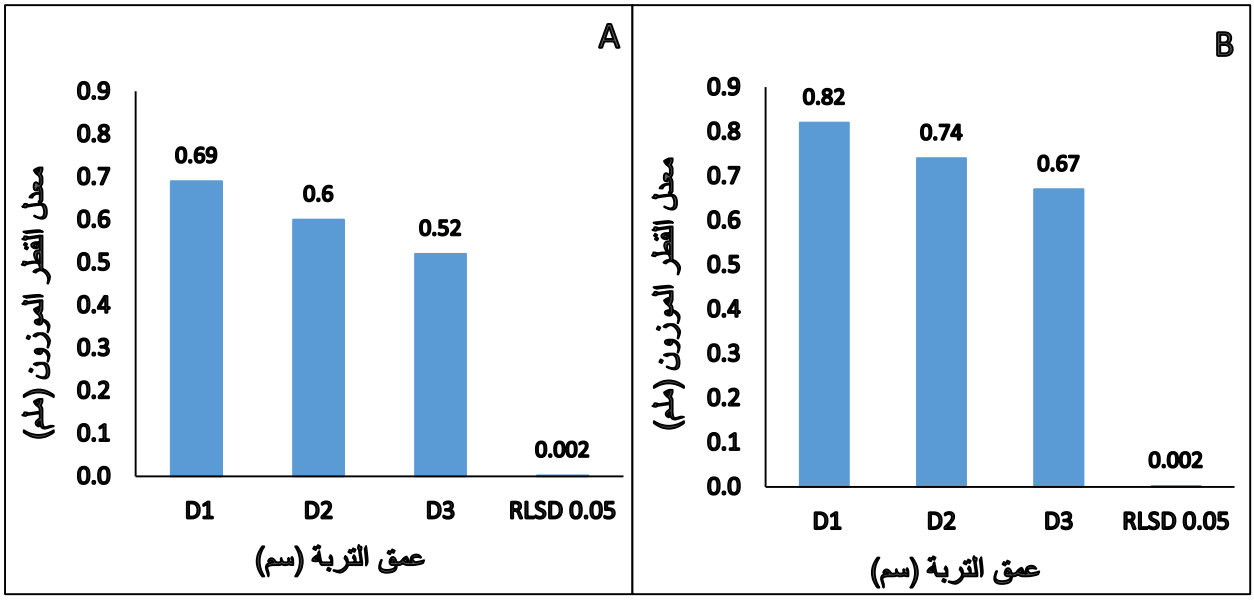
إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة تفتيت التربة (شكل29) إذ تمتلئ مسامات التربة الصغيرة بدقائق التربة مما يؤدي إلى تحطيم تجمعات التربة ومن ثَمَّ انخفاض MWD. تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Tayel وآخرون (2019) أنَّ استعمال الحراث الحفار في تربة طينية عند عمق ضحل (15 سم) وزيادة السرعة الأمامية من 1.9 إلى 10.33 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى انخفاض معدل القطر الموزون بنسبة 5.66%. وعزوا السبب إلى زيادة تفتيت التربة وارتفاع قيم الكثافة الظاهرية نتيجة زيادة السرعة الأمامية.



شكل (32) تأثير السرعة الأمامية في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) في بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في قيم معدل القطر الموزون وللفترتين بداية ونهاية موسم النمو، إذ يظهر من الشكل 33 تفوق عمق التربة السطحي (D1) معنوياً في الحصول على أعلى قيم لـ MWD عند نهاية موسم النمو إذ زاد بنسبة 10.81 و 22.39% قياساً مع عمقي التربة D2 و D3 على التوالي، كما تفوق العمق السطحي (D1) على العمقين الآخرين D2 و D3 في بداية موسم النمو بزيادة قيم MWD بنسبة 15.00 و 32.69% على التوالي، ويعود سبب تفوق عمق التربة السطحي على أعماق التربة السفلية إلى وجود المادة العضوية في طبقة التربة السطحية، فضلاً عن انخفاض

كثافة التربة الظاهرية وزيادة مسامياتها (Zhou وآخرون، 2017)، على عكس من أعماق التربة السفلية التي تتعرض إلى ضغط كبير من طبقات التربة العليا مسببة زيادة في كثافة التربة الظاهرية وانخفاض مسامياتها (Alkhafaji، 2020) ، كما يسهم وجود الغطاء النباتي عند السطح على حماية سطح التربة من المؤثرات الخارجية مما يؤدي إلى زيادة ثباتيه تجمعات التربة، وتتفق هذه النتائج Tverdokhlebov و Parkhomenko (2017) إذ اكدوا انخفاض MWD عند زيادة عمق التربة من (0–10) سم إلى (10–30) سم بنسبة 11% وعزوا السبب إلى زيادة محتوى التربة من المادة العضوية عند السطح وهذا بدوره يزيد من ترابط دقائق التربة بعضها ببعض ويحسن من بناء التربة ومن ثَمَّ زيادة ثباتيه تجمعات التربة ومقاومتها للظروف الخارجية.



شكل (33) تأثير عمـــق التربة في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) في بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في قيم معدل القطر الموزون بداية ونهاية موسم النمو، إذ تظهر النتائج المبينة في الجدول 4 تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في تحقيقها على أعلى قيم لـ MWD إذ بلغت 0.72 ملم و 0.90 ملم في

بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل قيم لـ MWD الذي بلغ 0.38 ملم و 0.57 ملم عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعزى زيادة قيم MWD لمعاملة التداخل (T1 X G1) إلى التأثير المشترك للسرعة الأمامية البطيئة ومعاملة الحراثة T1 التي تتضمن المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حجم التربة المفككة، فضلاً عن أنَّ انخفاض السرعة الأمامية حسنت من تفتيت التربة الناتج من عمل المشط القرصي والحادلة عند طبقة التربة السطحية، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة المسامية الكلية للتربة وانخفاض كثافتها الظاهرية (Shojaee وآخرون، 2019) الأمر الذي انعكس إيجاباً في تحسين بناء التربة وزيادة قيم MWD، في حين حصل عكس لمعاملة التداخل (T5 X G2) التي تتضمن محراث حفار الذي يعمل على عمق 20 سم و الامشاط القرصية التي تعمل على عمق 10 سم، إذ تبقى طبقات التربة التحت سطحية بدون حراثة وهذا يسهم في انخفاض بزل مياه الري الفائضة والغسل نتيجة ارتفاع الكثافة الظاهرية للتربة وانخفاض مساميتها مما يسبب في تملح التربة وما ينتج عنها من زيادة تفريق دقائق التربة، فضلاً عن انخفاض نشاط الاحياء المجهرية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض MWD (نديوي ومعروف، 2002). كما حققت معاملات الحراثة T2و T3 وT4 قيم وسطية لصفة معدل القطر الموزون وكانت عند السرعة الأمامية البطيئة أعلى من السرعة الأمامية العالية بنسبة زيادة التي بلغت 1.56 و 7.69 و 9.83% على التوالي عند بداية الموسم وفي نهاية موسم النمو التي بلغت 3.57 و 9.61 و 112.76% على التوالي. وهذا يتفق مع نتائج (Salar وآخرون، 2013).

جدول (4) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السرعة الأمامية			
	G1 (1.5 كم ساعة-1)	G2 (3 كم ساعة-1)	G1 (1.5 كم ساعة-1)	G2 (3 كم ساعة-1)
T1	0.72	0.67	0.90	0.80
T2	0.67	0.58	0.79	0.73
T3	0.69	0.62	0.82	0.75
T4	0.64	0.54	0.75	0.66
T5	0.56	0.38	0.67	0.57
RLSD 0.05	0.004		0.005	

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) أنَّ للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة تأثيراً معنوي في قيم معدل القطر الموزون في بداية ونهاية موسم النمو، إذ تبين النتائج الموضحة في الجدول 5 زيادة قيم MWD عند السرعة الأمامية البطيئة وعمق التربة السطحي، فقد سجلت معاملة التداخل (G1 X D1) أعلى MWD الذي بلغ 0.74 و0.87 ملم عند بداية ونهاية الموسم على التوالي. إذ تفوقت معاملة التداخل (G1 X D1) معنوياً في زيادة MWD قياساً بالمعاملات الأخرى (G1 X D2) و(G1 X D3) و(G2 X D1) و(G2 X D2) و(G2 X D2) بنسبة 15.43 و13.85 و32.14 و27.59 و57.45% عند بداية موسم النمو على التوالي، أما عند نهاية موسم النمو فقد زادت قيم MWD بنسبة 12.99 و11.54 و24.29 و22.54 و36.10% قياساً بمعاملات الحراثة المذكورة على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (G2 X D3) أقل قيم لـ MWD التي بلغت 0.47 و0.63 ملم في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب تفوق معاملة التداخل (G1 X D1) في زيادة MWD إلى احتواء الطبقة السطحية للتربة (D1) على نسبة أعلى من المادة العضوية ومالها من دور في تحسين بناء التربة وخصائصها المختلفة قياساً بأعماق التربة الأخرى، ودور السرعة البطيئة (G1) في تقليل تفتيت التربة الأمر الذي ينعكس في تحسين خصائص التربة وهذا بدوره يسهم في زيادة قـــــــيم MWD. وتتفق هذه النتائج مع Tayel (2019) إذ وتوصلوا أنَّ السرعة الأمامية البطيئة (1.93 كم ساعة$^{-1}$) والعمق السطحي (10 سم) حققت أعلى معدل قطر موزن الذي بلغ 1.07 ملم، في حين سجلت السرعة الأمامية العالية (10.33 كم ساعة$^{-1}$) والعمق الكبير (30 سم) أقل معدل قطر موزن الذي بلغ 0.65 ملم.

جدول (5) تأثير التداخل بين السرعة الأمامية وعمق التربة في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية ونهاية موسم النمو

السرعة الأمامية (كم ساعة$^{-1}$)	بـداية الموسـم			نـهاية الموسـم		
	عمـــــق التربـــــة (سم)					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
G1	0.74	0.65	0.58	0.87	0.78	0.71
G2	0.64	0.56	0.47	0.77	0.70	0.63
RLSD 0.05	0.002			0.001		

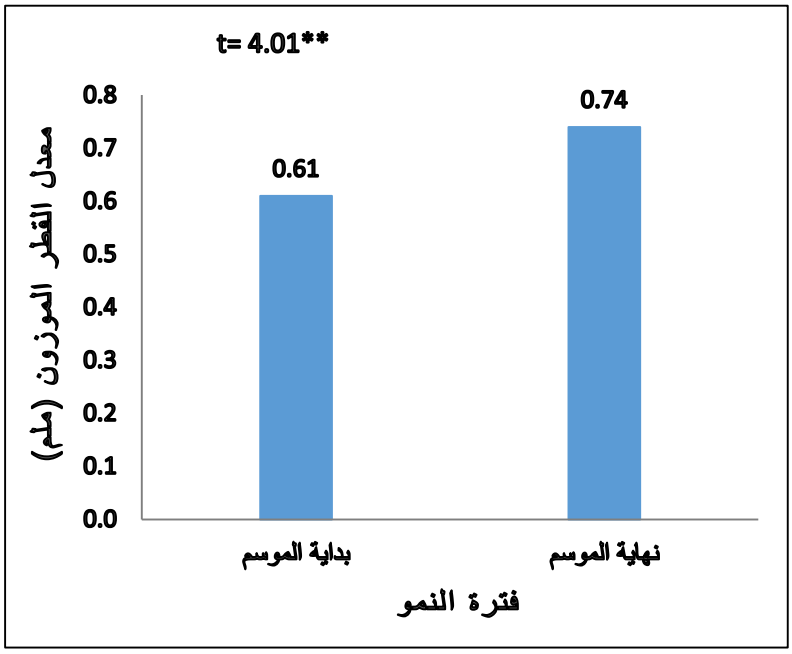
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) أنَّ للتداخل الثلاثي بين عوامل الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة تأثير معنوي في معدل القطر الموزون بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الجدول 6 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) تفوقت معنوياً على معاملات الحراثة الأخرى لكلا الفترتين بتحقيقها أعلى MWD الذي بلغ 0.80 و 1.01 ملم بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2 X D3) أقل MWD الذي بلغ 0.34 و 0.53 ملم في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعزى سبب تفوق معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) في تحقيقها أعلى قيم لـ MWD لكلا قترتي نمو المحصول إلى الدور الإيجابي المشترك لآلة الحراثة المركبة (T1) والسرعة البطيئة للحراثة البطيئة في تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة خاصة عند طبقة التربة السطحية التي تحتوي على نسبة أعلى من المادة العضوية قياساً بأعماق التربة الأخرى الأمر الذي ينعكس إيجاباً في الحفاظ على ثبات تجمعات التربة ومن ثَمَّ زيادة قيم MWD ، ويحدث عكس في معاملة التداخل (T5 X G2 X D3) إذ تزداد الكثافة الظاهرية وتنخفض المسامية الكلية للتربة نتيجة عدم تفكيك التربة لعمق كبير بواسطة آلة الحراثة المركبة (T5) الأمر الذي يؤدي إلى تدهور خصائص التربة الفيزيائية (Tverdokhlebov و Parkhomenko، 2017)، خاصة عند عمق التربة (D3) ذو محتوى من المادة العضوية منخفض وهذا بدوره ينعكس سلباً على بناء التربة ومن ثَمَّ انخفاض قيم MWD، وبصورة عامة تزداد قيم معدل القطر الموزون عند طبقة التربة السطحية وانخفاض سرعة الحراثة لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة. فمثلاً سجلت التوليفات (T1 X G1 X D1) و(T2 X G1 X D1) و(T3 X G1 X D1) و(T4 X G1 X D1) و(T5 X G1 X D1) MWD أعلى قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى إذ بلغ 0.80 و0.75 و0.77 و 0.71 و0.66 ملم في بداية الموسم على التوالي، في حين بلغ نهاية موسم النمو 1.01 و0.84 و0.91 و0.81 و0.77 ملم على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Salar وآخرون (2013).

جدول (6) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الأمامية			
	عمق التربة (سم)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	0.80	0.75	1.01	0.87
	D2	0.72	0.68	0.88	0.81
	D3	0.65	0.57	0.82	0.72
T2	D1	0.75	0.7	0.84	0.83
	D2	0.66	0.57	0.79	0.73
	D3	0.60	0.48	0.73	0.64
T3	D1	0.77	0.72	0.91	0.82
	D2	0.69	0.63	0.83	0.76
	D3	0.61	0.5	0.73	0.67
T4	D1	0.71	0.64	0.81	0.74
	D2	0.63	0.54	0.76	0.65
	D3	0.58	0.45	0.69	0.58
T5	D1	0.66	0.43	0.77	0.62
	D2	0.55	0.38	0.66	0.56
	D3	0.47	0.34	0.57	0.53
RLSD (P<0.05)		0.014		0.010	

أظهرت النتائج المبينة في اختبار t في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم نمو محصول الذرة الصفراء في قيم معدل القطر الموزون، إذ يوضح الشكل 34 أنَّ بداية موسم النمو سجلت أقل قيمة لـ MWD التي بلغت 0.61 ملم في حين حققت نهاية موسم النمو أعلى قيمة لـ MWD إذ بلغت 0.61 ملم، وكانت الزيادة بنسبة 21.31%. ويعزى سبب هذه الزيادة إلى الانتشار الكثيف لجذور نبات الذرة الصفراء مع تقدم عمر النبات اثناء موسم النمو، فضلاً عن التأثيرات الميكانيكية التي تسببها الشعيرات الجذرية وهذا بدوره يساعد على تقارب بين دقائق التربة وزيادة ارتباطها مع بعضها يشكل تجمعات تربة مقاومة للتفكك الأمر الذي يساعد على زيادة ثباتيه التربة،

فضلاً عن زيادة نشاط الاحياء المجهرية التي تعمل على زيادة ربط دقائق التربة ببعضها من افرازها مواد صمغية لاحمة (Alamooti و Hedayatipoo ، 2019)، كما أنَّ زيادة الغطاء النباتي على سطح التربة في نهاية موسم النمو يعمل على حماية التربة من المؤثرات الخارجية مما يساعد في المحافظة على تجمعات التربة وزيادة ثباتيتها. وتتفق هذه النتائج مع الموسوي وعبد الكريم (2017b) إذ اوضحا أنَّ زيادة المجموع الجذري للنبات عند تقدم موسم النمو يلعب دوراً مهما في زيادة ربط دقائق التربة بعضها ببعض فهي تحيط بالدقائق، فضلاً عن إفرازاتها الصمغية التي تشجع على التحام دقائق التربة بعضها ببعض أثناء اختراق الشعيرات الجذرية للمسامات الصغيرة الموجودة في التربة.



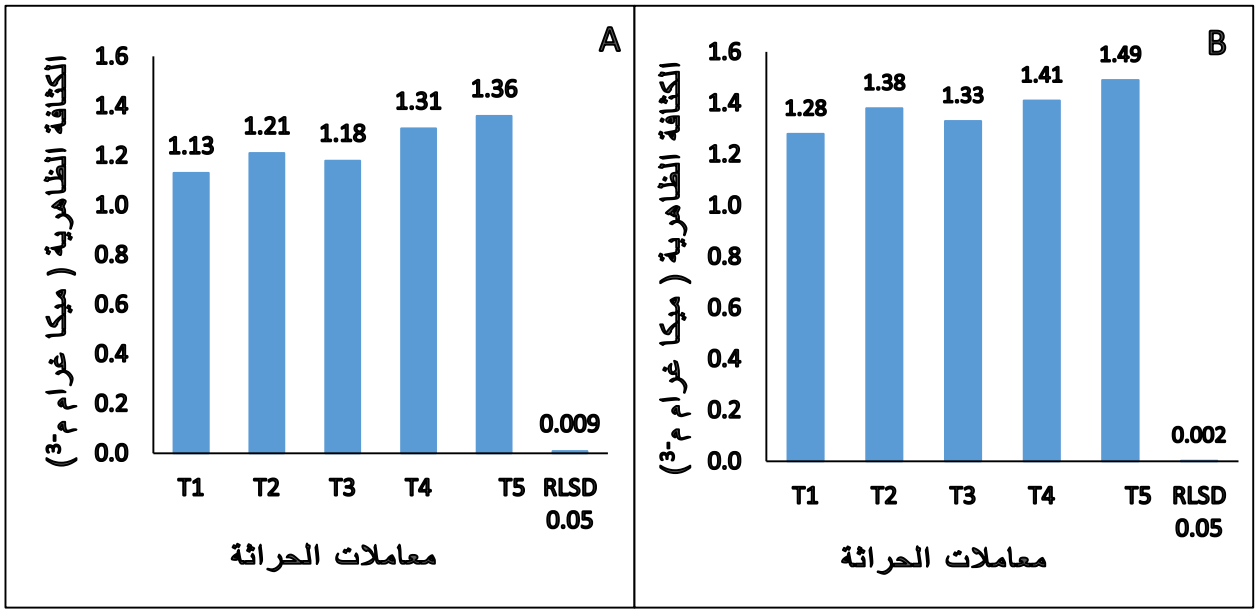
شكل (34) تأثير بداية ونهاية موسم نمو المحصول في معدل القطر الموزون (MWD) (ملم).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحق 22 عدم وجود تأثير معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة واعماق التربة في معدل القطر الموزون لكلا فترتي موسم نمو المحصول (الملحقين 19 و20).

4-2-2- الكثافة الظاهرية للتربة Bulk density of soil (ρb)

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في قيم الكثافة الظاهرية للتربة (ρb) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الشكل 35 أنَّ معاملة الحراثة T1 تفوقت بتحقيقها أقل القيم لـ ρb التي بلغت 1.13 و1.28 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتليها معاملة الحراثة T3 التي سجلت ρb وكانت بواقع 1.18 و 1.33 ميكا غرام م$^{-3}$ عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعزى السبب إلى تركيب آلة الحراثة المركبة T1 وتأثيره الإيجابي في زيادة ثباتيه تجمعات التربة والتحسين من بناء التربة (شكل 31) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في تخفيض قيم ρb، فعند معاملة الحراثة T1 التي تتكون آلة الحراثة فيها من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومحراث حفار يعمل على 20 سم ومشط قرصي يعمل على عمق 10 سم وحادلة تعمل عند سطح التربة، إذ تعمل تراكيب آلة الحراثة مجتمعة بتفكيك حجم كبير من التربة يصل إلى عمق 60 سم مما يساعد على تحويل التربة المتماسكة إلى كتل ذات احجام مختلفة ومن ثَمَّ زيادة الفراغات المسامية بينها الأمر الذي يؤدي إلى تحسن بناء التربة وانخفاض قيم ρb نتيجة إلى الانخفاض في كتلة التربة لوحدة الحجم (معادلة 3)، والشيء نفسه يحدث في حالة معاملة الحراثة T3 التي تتكون من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل بعمق 60 سم ومحراث حفار الا أنَّ حجم التربة المفككة يكون أقل الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الفراغات المسامية في جسم التربة مما جعلها تسجل قيمة أعلى من ρb لكلا فترتي موسم النمو بعضها ببعض مع معاملة الحراثة T1، إذ زادت قيم ρb لمعاملة الحراثة T3 قياساً بمعاملة الحراثة T1 بنسبة 4.20 و3.20% عند بداية ونهاية الموسم على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Medeiros وآخرون (2013) إذ وجدوا بان الحراثة باستعمال المحراث تحت التربة قلل من ρb بنسبة 11.25%، وعزوا السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة الذي يساعد على زيادة الفراغات المسامية بين كتل التربة. كما سجلت معاملتي الحراثة T2 و T4 قيم وسطية لـρb التي بلغت 1.21 و 1.31 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية الموسم على التوالي، وكانت في نهاية موسم النمو بواقع 1.38 و1.41 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة T5 أعلى قيم لـρb التي

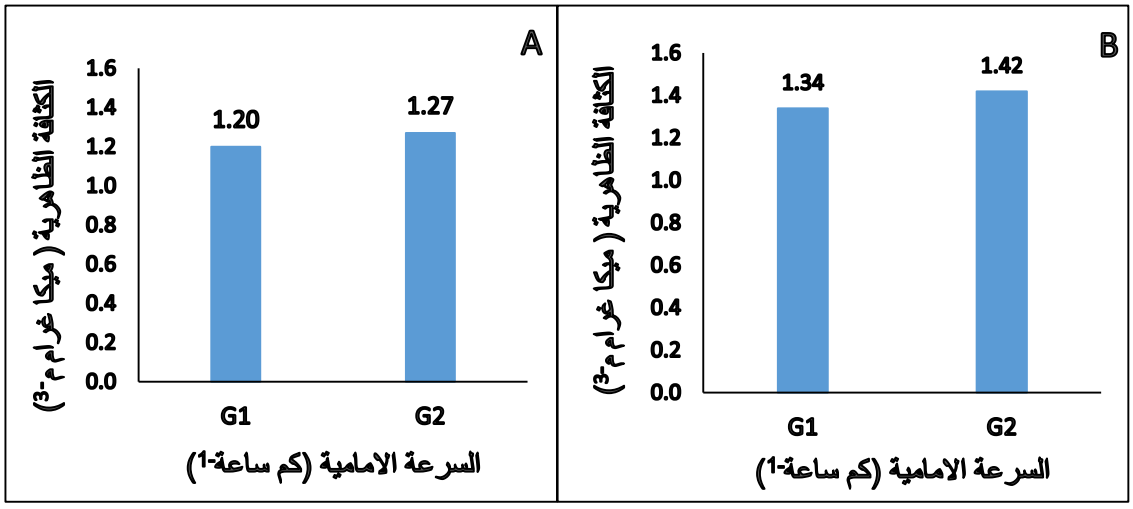
بلغت 1.36 و1.49 ميكا غرام م$^{-3}$ في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويرجع السبب إلى اختلاف تركيب الة الحراثة المركبة في معاملة الحراثة T5 التي تتكون من محراث حفار الذي يعمل بعمق حراثة 20 سم ومشط قرصي يعمل بعمق حراثة 10 سم، فضلاً عن عدم وجود المحراث تحت سطح التربة وهذا بدوره يؤدي إلى تفكيك حجم أقل من التربة إذ أنَّ طبقة التربة المفككة لايتجاوز 20 سم، فضلاً عن زيادة تفتيت التربة عند السطح نتيجة وجود الامشاط القرصية الأمر الذي يسهم من تقارب كتل التربة بعضها ببعض وامتلاء الفرغات البينية بدقائق التربة المنعمة مما يؤدي إلى زيادة كتلة التربة لوحدة الحجم ومن ثَمَّ تزداد قيم ρb (معادلة 3). وتتفق النتائج مع ماتوصل إليه Alkhafaji (2020) إذ وجد أنَّ استعمال الة الحراثة المركبة (محراث مطرحي + محراث حفار + الة تسوية) يؤدي إلى خفض ρb بنسبة 16.70% بعضها ببعض مع المحراث الحفار التقليدي.



شكل (35) تأثير معاملات الحراثة في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بـــــــــداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قيم الكثافة الظاهرية للتربة (ρb) لكلا فترتي موسم النمو. إذ يبين الشكل 36 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ بتحقيقها أقل قيم للρb التي بلغت 1.20 و 1.27

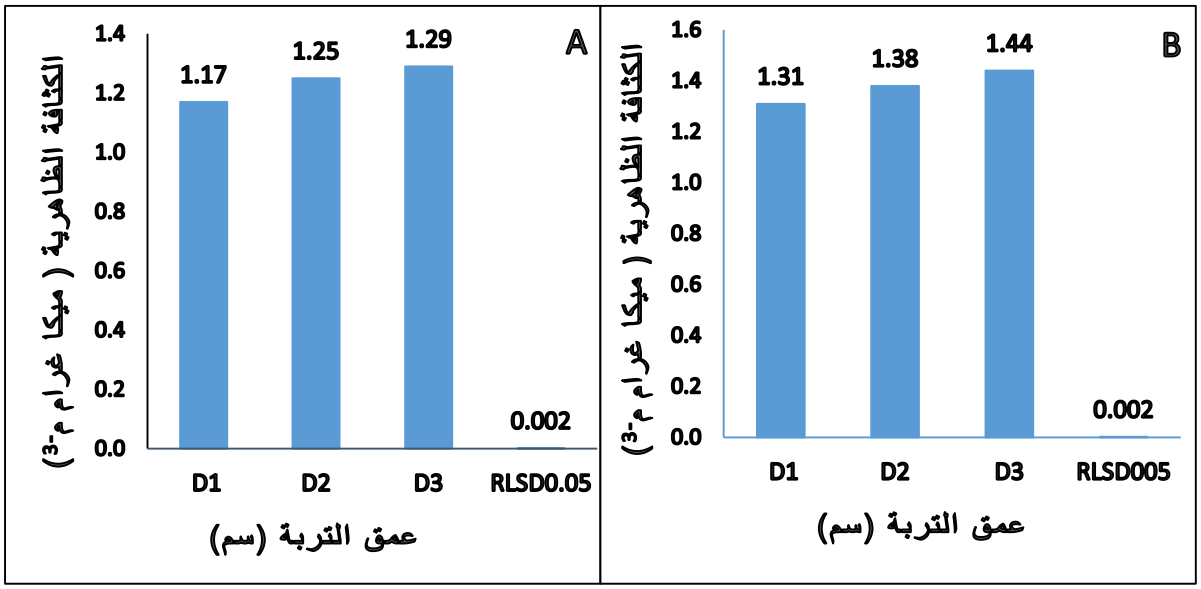
ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أعلى قيم للρb والتي بلغت 1.34 و1.42 ميكا غرام م$^{-3}$ في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود السبب إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة تعجيل كتل التربة وتصادمها بعضها ببعض الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تفتيت التربة (شكل 29) وهذا بدوره يقلل من مسامية التربة نتيجةً إلى امتلاء الفراغات بين دقائق التربة بالتربة المنعمة ومن ثَمَّ زيادة كتلة التربة في وحدة الحجم (معادلة 3) ومن ثَمَّ زيادة ρb. تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Rajeshwar و Sharma (2022) إذ وجدوا أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 3.20 كم ساعة$^{-1}$ في تربة طينية ثقيلة أدى إلى زيادة ρb من 1.50 إلى 1.70 ميكا غرام$^{-3}$ بنسبة زيادة بلغت 13.33% وعزا سبب ذلك إلى زيادة تفتيت التربة مع زيادة السرعة الأمامية ونعكس ذلك في انسداد الفراغات المسامية بين كتل التربة بالكتل الصغيرة الحجم مما يؤدي إلى زيادة كتلة التربة الصلبة بعضها ببعض مع حجمها ومن ثَمَّ زيادة ρb.



شكل (36) تأثير السرعة الأمامية في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في قيم كثافة التربة الظاهرية (ρb) ولكلا فترتي موسم النمو. إذ يلاحظ من الشكل 37 تفوق عمق التربة السطحي D1 بتحقيقه أقل قيم لـ ρb التي بلغت 1.17 و 1.31 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، كما سجل عمق التربة D2 قيم وسطية لـρb التي بلغت 1.25 و1.38 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجل عمق الحراثة

D3 أعلى قيم لـ ρb التي بلغت 1.29 و1.44 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب زيادة قيم ρb مع زيادة عمق التربة إلى دور عملية الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في تفكيك التربة عند العمق السطحي D1 في حين لم يصل تأثير بعض تراكيب آلة الحراثة (الامشاط القرصية والحادلة) إلى العمق التحتي (D3) كما يحدث في معاملات الحراثة T4 وT2 وT5 مما يؤدي إلى بقاء طبقة التربة تحت عمق أكبر من 40 سم غير مثارة، فضلاً عن زيادة قوة تماسك التربة مع زيادة العمق، كما يؤدي تراص طبقات التربة التحتية الناتج من الضغط المسلط عليها من وزن التربة في الطبقات العليا التي فوقها الأمر الذي يؤدي إلى زيادة ρb. ويحدث العكس عند عمق التربة السطحي (D1)، إذ أنَّ وجود المادة العضوية عند عمق التربة D1 ساعد على تحسن بناء التربة وزيادة قيم معدل القطر الموزون (شكل 33) الأمر الذي يسهم في التقليل من قيم ρb مع انخفاض عمق التربة. وتتوافق هذه النتائج مع ما توصل اليه Zhou وآخرون (2017) إذ وجدوا أنَّ عمق التربة السطحي 0–5 سم أدى إلى خفض قيم ρb قياساً بعمق التربة 15–20 سم بنسبة 6.70%. وعزوا السبب إلى وجود المادة العضوية في العمق التربة السطحي، فضلاً عن أنَّ طبقة التربة السطحية تتعرض إلى ضغط قليل من الطبقات العليا الأمر الذي يسهم في تحسين بناء التربة ومن ثَمَّ انخفاض قيم ρb.



شكل (37) تأثير عمق التربة في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في قيم الكثافة الظاهرية (ρb) بداية ونهاية موسم النمو، ويلاحظ من الجدول 7 انخفاض قيم ρb مع انخفاض السرعة الأمامية لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة، إذ سجلت معاملة التداخل (T1 X G1) أقل قيم لـ ρb التي بلغت 1.09 و1.25 ميكاغرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتليها معاملات التداخل الآتية (T2 X G1) و(T3 X G1) و(T4 X G1) إذ سجلت قيم لـ ρb التي بلغت 1.18 و1.14 و1.29 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية موسم النمو على التوالي، وارتفعت قيم ρb نهاية موسم النمو إذ بلغت 1.33 و1.29 و1.36 ميكاغرام م$^{-3}$ على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أعلى قيم لـ ρb التي بلغت 1.41 و 1.53 ميكاغرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في خفض الكثافه الظاهريه للتربه إلى التاثير المشترك لمركبات آله الحراثة المركبة للمعاملة T1 والسرعه الاماميه البطيئه G1 في تحسين تفكيك التربة وزياده مساميتها من خلال دور معامله معامله الحراثه T1 في زيادة حجم التربة المفككه بواسطه المحراث تحت سطح التربة والمحراث الحفار وتنعيمها بواسطه الامشاط القرصيه والحادله الاسطوانيه الأمر الذي انعكس في تحسين تفكيك التربة وزياده الفراغات بين كتل التربة وهذا بدوره خفض من ρb، فضلاً عن دور سرعة الحراثة البطيئة G1 في التقليل من تفتيت التربة ومن ثَمَّ تقليل انسداد المسامات التربة بدقائق التربة المنعمة الأمر الذي حسن من مسامية التربة مما ينعكس إيجاباً في تخفيض ρb مقارنه مع معاملات التداخل الأخرى. وتتفق هذه النتائج مع Rajeshwar و Sharma (2022).

جدول (7) تأثير التداخل بين معاملات والسرعة الأمامية في الكثافة الظاهرية للتـــــربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	1.09	1.17	1.25	1.32
T2	1.18	1.24	1.33	1.42
T3	1.14	1.21	1.29	1.37
T4	1.29	1.33	1.36	1.46
T5	1.31	1.41	1.44	1.53
RLSD 0.05	0.009		0.005	

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة في قيم الكثافة الظاهرية (ρb) ولكلا فترتي موسم النمو، إذ يلاحظ من الجدول 8 أنَّ معاملات التداخل (T1 X D1) و(T2 X D1) و(T3 X D1) و(T4 X D1) و(T5 X D1) حققت أقل قيم من ρb التي بلغت 1.06 و1.14 و1.10 و1.24 و1.30 ميكا غرام م$^{-3}$ عند بداية موسم النمو على التوالي، وكانت في نهاية موسم النمو بواقع 1.22 و1.31 و1.26 و1.34 و1.42 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي، في حين سجلت معاملات التداخل (T1 X D3) و(T2 X D3) و(T3 X D3) و(T4 X D3) و(T5 X D3) أعلى قيم من ρb التي بلغت 1.19 و1.28 و1.38 و1.39 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية موسم النمو على التوالي، في حين كانت قيم ρb في نهاية موسم النمو بواقع 1.33 و1.46 و1.40 1.48 و1.55 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي. كما أنَّ نسبة الزيادة بين ادنى واقصى قيمة لـ ρb المسجلة من قبل معاملتي التداخل (T1 X D1) و(T5 X D3) كانت 31.13 و27.05% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب انخفاض ρb لمعاملة الحراثة (T1 X D1) إلى دور آلة الحراثة المركبة الحراثة T1 في وتفكيك حجم كبير من التربة بعمق يصل إلى 60 سم الأمر الذي ينعكس في التقليل من كتلة التربة لوحدة الحجم وتبعاً للمعادلة 3 تنخفض ρb، فضلاً عن دور عمق التربة السطحي الذي يحتوي على المحتوى الأعلى من المادة العضوية مما يحسن بناء التربة وزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) ومن ثَمَّ انخفاض ρb، في حين لم يصل تأثير آلة الحراثة المركبة T5 إلى العمق D3 مما أدىٰ إلى بقاء التربة غير محروثة ومتماسكة عند العمق مما يؤدي إلى انخفاض حجم التربة المفككة ومن ثَمَّ زيادة ρb، فضلاً عن أنَّ الضغط المسلط على الطبقات السفلى للتربة من قبل طبقات التربة العليا نتج عنهُ زيادة في رص التربة وهذا بدوره يزيد من ρb. وتتوافق هذه النتائج مع ما توصل Zhou وآخرون (2017).

جدول (8) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الكثافة الظاهرية للتـــــــربة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
T1	1.06	1.15	1.19	1.22	1.30	1.33
T2	1.14	1.20	1.28	1.31	1.38	1.46
T3	1.10	1.19	1.24	1.26	1.35	1.40
T4	1.24	1.32	1.38	1.34	1.40	1.48
T5	1.30	1.38	1.39	1.42	1.48	1.55
RLSD (P<0.05)	0.009			0.002		

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم الكثافة الظاهرية (ρb) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين جدول 9 انخفاض قيم ρb عند السرعة الأمامية البطيئة وعمق التربة السطحي، إذ سجلت معاملة التداخل (G1 X D1) أقل ρb التي بلغت 1.12 ميكا غرام م$^{-3}$ وتفوقت معنوياً في خفض قيم ρb بنسبة 7.44 و8.20 و11.81 و11.11 و15.79% قياساً بمعاملات التداخل الأخرى (G2 X D1) و(G1 X D2) و(G1 X D2) و(G1 X D3) و(G2 X D3) عند بداية موسم النمو على التوالي. أما عند نهاية موسم النمو فقد سجلت معاملة التداخل (G1 X D1) أقل ρb إذ بلغت 1.27 ميكا غرام م$^{-3}$، وتفوقت معنوياً في خفض كثافة التربة الظاهرية بنسبة 4.69 و6.15 و8.96 و12.86 و15.28% قياساً بمعاملات الحراثة المذكورة على التوالي. ويعود سبب تفوق المعاملة (G1 X D1) في تحقيق أقل ρb إلى الدور المشترك العمق التربة السطحي والسرعة الأمامية البطيئة في تحسين تفكيك التربة فضلاً عن وجود المادة العضوية في العمق السطحي بنسبه أكبر قياساً مع الأعماق الأخرى (جدول 3) الأمر الذي انعكس في تحسين بناء التربة وهذا بدوره قلل من ρb على عكس من معاملة التداخل (G2 X D3) التي سجلت أعلى ρb نتيجة زيادة التماسك ورص التربة عند العمق D3 بواسطه الضغط المسلط عليها من الطبقات السطحية، فضلاً عن قلة تفككه بعملية

الحراثة الأمر الذي انعكس في زيادة ρb، كما أنَّ زيادة السرعة الأمامية تزيد من درجه تنعيم التربة وهذا يؤدي إلى غلق مسامات التربة بواسطه دقائق التربة الصغيرة ومن ثَمَّ انخفاض مساميه التربة وزياده ρb. تتفق هذه النتائج مع Sharma وآخرون (2019).

جدول (9) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الكثافة الظاهرية للتربـــــــــة (ميكا غرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم نمو

بـداية الموسـم			نـهاية الموسـم			
عمـــــــق التربـــــــة (سم)						
السرعة الأمامية (كم ساعة$^{-1}$)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
G1	1.12	1.22	1.26	1.27	1.33	1.41
G2	1.21	1.27	1.33	1.35	1.43	1.48
RLSD 0.05	0.002			0.001		

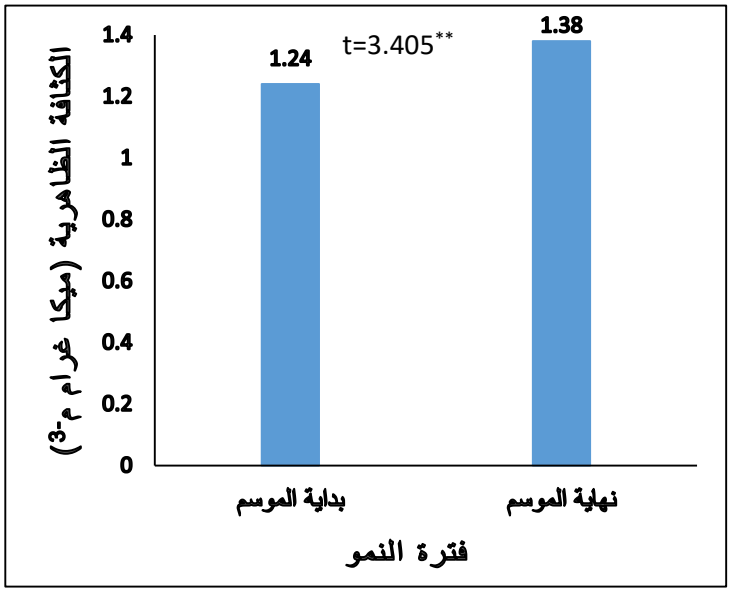
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثلاثي بين عوامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم الكثافة الظاهرية (ρb) ولكلا فترتي موسم النمو، ويلاحظ من الجدول 10 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) سجلت أقل ρb التي وبلغت 1.01 و1.18 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي، وتليها معاملة التداخل (T3 X G1 X D1) التي سجلت قيم لـρb بواقع 1.05 و1.22 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويرجع السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة بواسطة الة الحراثة المركبة المتكونة من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 او40 سم ومحراث حفار بعمق 20 سم ومشط قرصي بعمق 10 سم وحادلة، فضلاً عن العمق السطحي الذي يحتوي على النسبة الكبيرة من المادة العضوية التي تحسن من بناء التربة، كما أنَّ السرعة البطيئة تقلل من تفتيت التربة الأمر الذي يؤدي التقليل من انسداد المسامات بدقائق التربة المنعمة مما ينعكس إيجاباً في تحسين مسامية التربة وانخفاض ρb. وتتفق هذه النتائج مع كل من Salama وآخرون (2018) . كما سجلت معاملات التداخل (T2 X G1 X D1) و (T4 X G1 X D1) قيم وسطية لصفة الكثافة الظاهرية للتربة بلغت 1.09 و1.21 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي، بداية موسم النمو وبلغت قيم ρb نهاية موسم النمو وكانت بواقع 1.27 و1.29 ميكا غرام م$^{-3}$ على التوالي. في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2 X D3) أعلى ρb التي بلغت 1.45 و1.57 ميكا غرام م$^{-3}$ بداية ونهاية الموسم

على التوالي. ويعود السبب إلى عدم وصول أسلحة آلة الحراثة المركبة T5 إلى العمق D3 مما ترك التربة متماسكة غير مفككة ومرصوصة، فضلاً عن زيادة السرعة الأمامية زادت من تفتيت التربة عند السطح مما أدى إلى انسداد الفراغات المسامية بدقائق التربة بعد ترسبها إلى طبقات التربة التحتية الأمر الذي أثر سلباً في بناء التربة وانخفاض معدل القطر الموزون (جدول 6) مما انعكس هذا التأثير في زيادة ρb. وتتفق هذه النتائج مع Alkhafaji (2020) إذ وجد أنَّ استعمال الة الحراثة المركبة أدى إلى خفض ρb بنسبة 3.22% بعضها ببعض مع المحراث الحفار التقليدي، كما بين أنَّ زيادة عمق الحراثة من 20 إلى 25 سم قلل قيم ρb من 1.12 إلى 1.34 ميكاغرام م$^{-3}$ عازياً السبب إلى زيادة حجم كتل التربة المفككة مع زيادة عمق الحراثة.

جدول (10) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في كثافة التربة الظاهرية (ميكاغرام م$^{-3}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السرعة الأمامية			
	عمق التربة	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	1.01	1.1	1.18	1.26
	D2	1.11	1.18	1.27	1.33
	D3	1.15	1.22	1.31	1.36
T2	D1	1.09	1.19	1.27	1.34
	D2	1.18	1.23	1.32	1.43
	D3	1.28	1.29	1.41	1.5
T3	D1	1.05	1.15	1.22	1.29
	D2	1.16	1.22	1.31	1.39
	D3	1.2	1.27	1.35	1.44
T4	D1	1.21	1.26	1.29	1.4
	D2	1.31	1.33	1.34	1.47
	D3	1.34	1.41	1.44	1.52
T5	D1	1.25	1.36	1.37	1.47
	D2	1.35	1.41	1.42	1.55
	D3	1.32	1.45	1.54	1.57
RLSD (P<0.05)		0.009		0.005	

أظهرت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم نمو المحصول في قيم الكثافة الظاهرية للتربة (ρb)، إذ يلاحظ من الشكل 38 أنَّ بداية موسم النمو حققت أقل قيمة لـ ρb وكانت بواقع 1.24 ميكا غرام م$^{-3}$، في حين سجلت فترة نهاية موسم النمو قيمة أعلى من ρb التي بلغت 1.38 ميكا غرام م$^{-3}$. ويرجع السبب إلى حركة دقائق التربة الناعمة مع تقدم موسم نمو المحصول بفعل تفكك الكتل الترابية اثناء عمليات الري وترسيب دقائقها الناعمة في المسامات مما يغير من التوزيع الحجمي للمسامات وهذا يقلل من مسامية التربة الكلية ومن ثَمَّ زيادة ρb. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل اليه عبد الكريم والموسوي (2017c) إذ وجدوا أنَّ قيم ρb ارتفعت بنسبة 4.204% في نهاية موسم نمو النبات مقارنة مع بداية موسم النمو، وقد عللوا ذلك إلى زيادة تماسك التربة مع تقدم موسم النمو وتأثير عمليات الري في امتلاء وانسداد بعض مسامات التربة بدقائق التربة الناعمة.

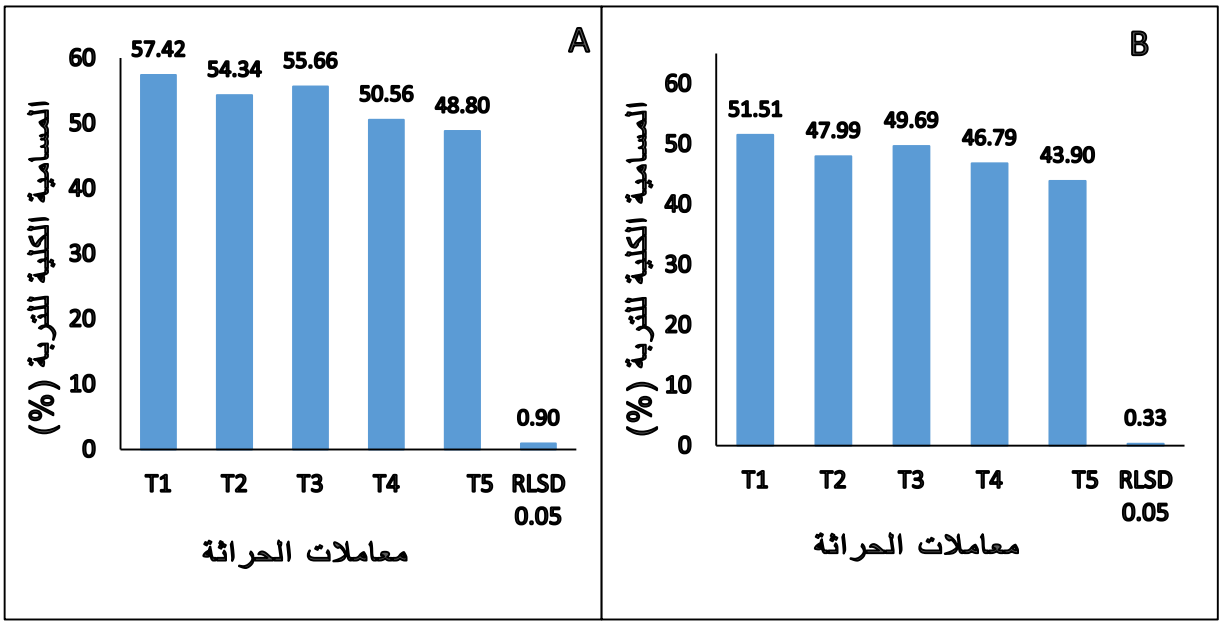


شكل (38) تأثير فترتي بداية ونهاية موسم النمو في الكثافة الظاهرية للتربة (ميكا غرام م$^{-3}$)

4-2-3- المسامية الكلية للتربة (*f*) Total porosity of soil (*f*)

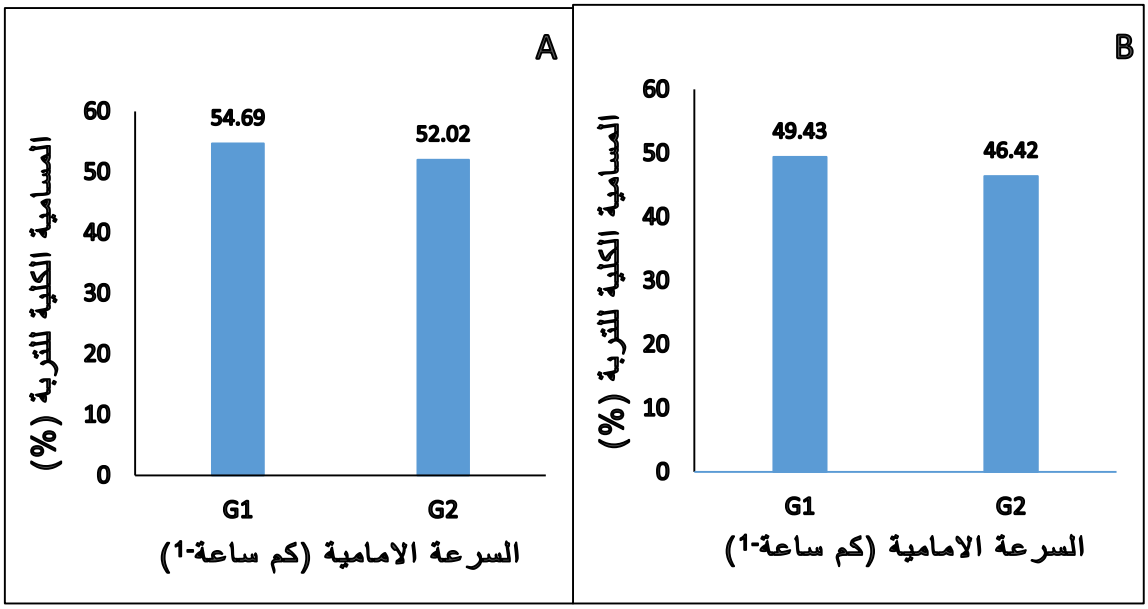
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو، أظهرت النتائج الموضحة في الشكل 39 تفوق معاملة الحراثة T1 معنوياً في تسجيل أعلى قيم لـ *f* التي بلغت 57.42 و51.51% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة

الحراثة T5 على أقل قيم لـ f التي بلغت 48.80 و43.90% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. أما معاملات الحراثة الأخرى T2 وT3 وT4 قد سجلت قيم متوسطة لـ f وكانت بواقع 54.34 و55.66 و50.56% بداية موسم النمو على التوالي، أما نهاية موسم النمو فقد بلغت 47.99 و49.69 و46.79% على التوالي. ويعود سبب تسجيل معاملة الحراثة T1 أعلى f بعضها ببعض مع معاملات الحراثة الأخرى إلى تسجيلها أقل قيم للكثافة ظاهرية للتربة (شكل 35) لكون هذا التركيب يحتوي على المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم الأمر الذي يؤدي إلى تفكيك حجم كبير من التربة وتكوين كتل ترابية ذات احجام مختلفة الأمر الذي ينعكس في زيادة الفراغات بينها ومن ثَمَّ انخفاض الكثافة الظاهرية ومن ثَمَّ زيادة f، إذ أنَّ f ترتبط بعلاقة عكسية مع الكثافة الظاهرية للتربة. تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه AL-azzawi و Akbolat (2018) إذ وجدا أنَّ استعمال المحراث الحفار وزيادة عمق الحراثة من 15 إلى 30 سم أدى إلى زيادة قيم f من 47.50 إلى 49.70%، وعزوا سبب ذلك إلى زيادة حجم التربة المفككة الأمر الذي أدى إلى انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة ومن ثَمَّ زيادة الفراغات المتكونة بين كتل التربة مما انعكس في زيادة f.



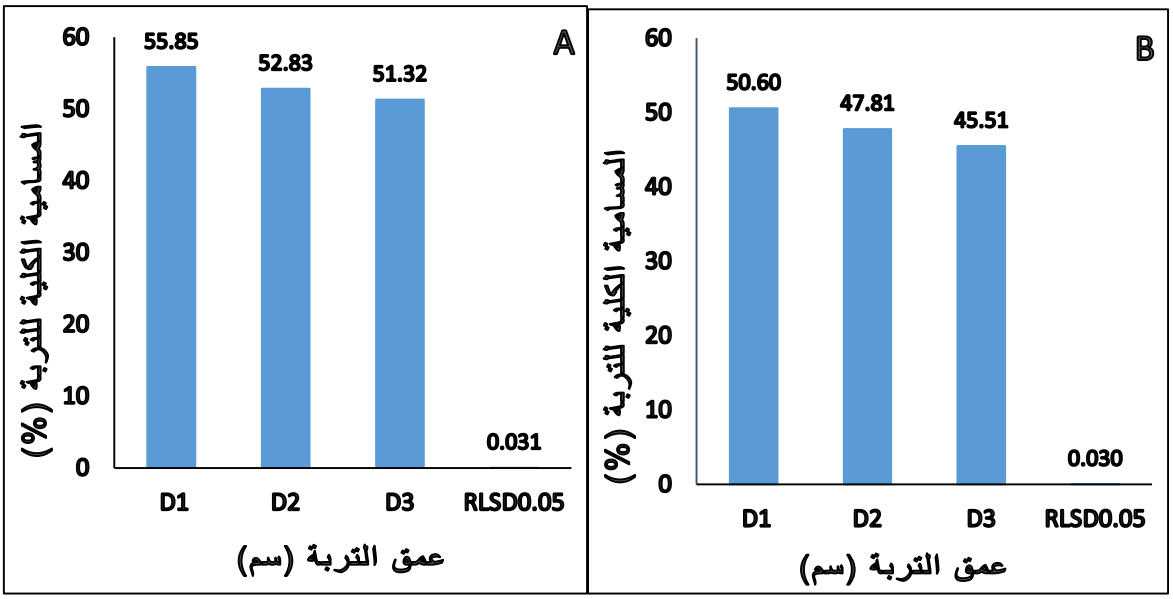
شكل (39) تأثير معاملات الحراثة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في المسامية الكلية للتربة (f) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين الشكل 40 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ في تحقيقها أعلى f التي بلغت 54.69 و 49.59% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أقل f التي بلغت 52.02 إلى 46.36% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود السبب إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة تفتيت التربة (شكل 29) بفعل تعجيل كتل التربة وتصادمها بعضها ببعض وتكوين كتل صغيرة الحجم إذ تنخفض f نتيجةً إلى انسداد الفراغات بدقائق التربة المنعمة مما زاد من كثافتها الظاهرية ومن ثَمَّ انخفاض f حسب معادلة (4). تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Sharma وآخرون (2019) إذ وجد أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 8 إلى 16 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة قيم f بنسبة 7.25%. وعزوا السبب إلى زيادة تفتيت التربة مع السرعة الأمامية العالية الأمر الذي أدى إلى انسداد الفراغات المسامية الموجودة في جسم التربة بدقائق التربة الناعمة وهذا ينعكس في زيادة الكثافة الظاهرية وانخفاض f.



شكل (40) تأثير السرعة الامامية في المسامية الكلية للتربة (%) في بداية (A) ونهاية (B) النمو موسم.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو. ويلاحظ من الشكل 41 تفوق عمق التربة D1 معنوياً في تسجيل أعلى قيم لـ *f* التي بلغت 55.85 و50.60% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين انخفضت قيم المسامية الكلية لعمقي التربة D2 وD3 وكانت بواقع 52.83 و51.32% بداية موسم النمو على التوالي. أما نهاية موسم النمو فكانت بواقع 47.81 و45.51% على التوالي، ويعود السبب إلى زيادة تماسك التربة وانخفاض نسبة المادة العضوية مع زيادة عمق التربة وما لها من أثر في تحسين بناء التربة وخفض كثافتها الظاهرية، فضلاً عن تراص طبقات التربة التحتية نتيجة الضغط المسلط عليها من قبل الطبقات العليا الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيم المسامية الكلية للتربة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Zhou وآخرون (2017) إذ توصلوا إلى أنَّ استعمال آلة حراثة مركبة وزيادة عمق التربة من 0–5 إلى 15–20 سم أدت إلى انخفاض قيم *f* بنسبة 6.70%.



شكل (41) تأثير عمق التربة المسامية الكلية للتربة (%) في بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

توضح نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في الملحقين (19 و 20) أنَّ للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية تأثيرا عالي المعنوية في المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو. وتظهر النتائج المبينة في الجدول 11 تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في تحقيقها أعلى قيم لـ *f* التي بلغت 58.87 و52.71% بداية ونهاية موسم النمو

على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل قيم لـ f التي بلغت 46.92 و42.26% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، ويعزى تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في زيادة قيم f إلى التاثير المشترك لمكونات الاله المركبة (T1) والسرعه الاماميه البطيئة (G1) في تحقيقها أقل كثافه ظاهرية للتربة (جدول 7) نتيجه دورها في زيادة حجم التربة المفككه مقارنه مع معامله التداخل (T5 X G2) التي ازدادت عندها قيم الكثافة الظاهرية بسبب انخفاض حجم التربة المفككة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض f. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Medeiros وآخرون (2013). كما حققت معاملات الحراثة T2 و T3 وT4 قيم وسطية لـ f وكانت عند السرعة الأمامية البطيئة أعلى من السرعة الأمامية العالية بنسبة 3.79 و5.35 و3.56% عند بداية موسم النمو على التوالي، وكانت نسبة الزيادة نهاية موسم النمو بواقع 7.34 و6.27 و8.98% على التوالي. ويرجع السبب إلى تفكيك حجم من التربة أقل من معاملة حراثة T1 وأعلى من معاملة حراثة T5 خاصةً عند نفس السرعة الأمامية مما جعل قيم f تكون وسطية. وتتفق النتائج مع Sharma وآخرون (2019) إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 4.2 إلى 6.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة معنوية في كثافة التربة الظاهرية من 1.55 إلى 1.62 ميكا غرام$^{-3}$ في حين انخفضت المسامية الكلية للتربة من 39 إلى 38%. وعزوا السبب إلى زيادة تفتيت التربة العالي مع السرعة العالية مما يسبب امتلاء الفجوات المسامية الموجودة في التربة بدقائق التربة الصغيرة.

جدول (11) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـداية الموسـم		نـهاية الموسـم	
	السـرعة الأمامية			
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	58.87	55.97	52.71	50.31
T2	55.35	53.33	49.69	46.29
T3	57.11	54.21	51.20	48.18
T4	51.45	49.68	48.80	44.78
T5	50.69	46.92	45.54	42.26
RLSD 0.05	0.332		0.118	

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عوامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة في قيم في المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يلاحظ من الجدول 12 أنَّ معاملات التداخل (T1 X D1) و(T2 X D1) و(T3 X D1) و(T4 X D1) و(T5 X D1) سجلت قيم عالية لل *f* التي بلغت 60.19 و56.98 و58.49 و53.39 و50.75 بداية موسم النمو على التوالي، وكانت عند نهاية موسم النمو بواقع 53.96 و50.76 و52.64 و49.24 و46.41% على التوالي، في حين سجلت معاملات التداخل (T1 X D3) و(T2 X D3) و(T3 X D3) و(T4 X D3) و(T5 X D3) قيم منخفضة لل *f* التي بلغت 55.28 و51.51 و53.40 و48.11 و47.73% بداية موسم النمو على التوالي، في حين كانت نهاية موسم النمو بواقع 49.62 و45.09 و47.36 و44.15 و41.32% على التوالي. كما كانت نسبة الزيادة بين ادنى واقصى قيمة لـ *f* المسجلة من قبل معاملتي التـــداخل (T1 X D1) و(T5 X D3)، التي بلغت 26.11 و30.59% عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود تفوق معاملة التداخل (T1 X D1) في تحقيقها أعلى *f* إلى دور آلة الحراثة المركبة T1 التي تتكون من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومحراث حفار عند عمق 20 سم ومشط قرصي عند عمق 10 سم وحادلة عند سطح التربة، في وتفكيك حجم كبير من التربة مما ينعكس في زيادة الفراغات البينية بين كتلها المفككة، فضلاً عن دور عمق التربة السطحي D1 الذي يحتوي على النسبة الاكبر من المادة العضوية وما لها من دور في تحسين بناء التربة، كما أنَّ عمق التربة السطحي يتعرض لضغط قليل من طبقات التربة التي فوقة مما قلل من رص التربة الأمر الذي ينعكس في زيادة قيم *f*. في حين لم يصل تأثير آلة الحراثة المركبة T5 الحراثة إلى عمق التربة الكبير D3 وهذا بدوره يسهم في بقاء التربة غير محروثة ومتماسكة عند العمق D3 الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض حجم التربة المفككة، فضلاً عن أنَّ زيادة الضغط المسلط على الطبقات التحتية للتربة من قبل طبقاتها العليا، الأمر الذي يسبب زيادة في رص التربة وهذا بدوره ينعكس في زيادة كثافتها الظاهرية (شكل 35) ومن ثَّمَّ انخفاض *f*. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل Salama وآخرون (2018) إذ وجدوا أنَّ استعمال المحراث المركب (محراث حفار + حادلة مسننة + عازقة حفارة) في تربة طينية مزيجة كثافتها الظاهرية 1.27 ميكاغرام م$^{-3}$ أدىٰ إلى وزيادة المسامية

الكلية للتربة من 56.56 إلى 61.60 % (9.35%). وعزوا السبب إلى زيادة تفكيك التربة مما ينعكس في زيادة الفراغات البينية بين كتل التربة ومن ثَمَّ زيادة *f*.

جدول (12) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
T1	60.19	56.79	55.28	53.96	50.94	49.62
T2	56.98	54.52	51.51	50.76	48.11	45.09
T3	58.49	55.09	53.40	52.64	49.06	47.36
T4	53.39	50.19	48.11	49.24	46.98	44.15
T5	50.75	47.92	47.73	46.41	43.96	41.32
RLSD 0.05	0.33			0.14		

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين جدول 13 زيادة قيم *f* عند السرعة الأمامية البطيئة وعمق التربة السطحي، إذ سجل التداخل الثنائي (G1 X D1) أعلى *f* إذ كانت 57.66% وتفوقت معنوياً في زيادة *f* بنسبة 5.90 و6.54 و9.95 و8.90 و13.48% قياساً بالمعاملات الأخرى (G1 X D2) و(G1 X D3) و(G2 X D1) و(G2 X D2) و(G2 X D3) عند بداية موسم النمو على التوالي. أما عند نهاية موسم النمو فقد سجلت معاملة (G1 X D1) قيمة لـ *f* التي بلغت 52.23% وتفوقت معنوياً في زيادة *f* بنسبة 5.90 و6.54 و9.95 و8.90 و13.48% قياساً بمعاملات الحراثة المذكورة على التوالي. ويرجع السبب في تفوق معاملة التداخل (G1 X D1) في تحقيقها أعلى قيم لـ *f* إلى للدور المشترك لعمق التربة السطحي D1 والسرعة الأمامية البطيئة G1 في تخفيض الكثافة الظاهرية (جدول 9) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة *f*، فضلاً عن أنَّ انخفاض ضغط التربة المسلط على عمق التربة السطحي قلل من رص التربة مما يساعد في زيادة حجم التربة المفككة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الفراغات في جسم التربة المحروثة خاصةً عندما تكون السرعة الأمامية بطيئة لأنها تقلل من

تنعيم التربة مما ينعكس في تقليل انسداد مسامات التربة بكتل التربة المنعمة الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة *f* عند معاملة التداخل (G1 X D1). تتفق هذه النتائج مع Shojaee واخرون (2019).

جدول (13) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو

السرعة الأمامية (كم ساعة$^{-1}$)	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
G1	57.66	53.89	52.53	52.23	49.74	46.79
G2	54.26	51.92	49.89	48.98	45.89	44.23
RLSD 0.05	0.044			0.088		

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثلاثي بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم المسامية الكلية للتربة (*f*) بداية ونهاية موسم النمو. ويلاحظ من الجدول 14 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) سجلت أعلى قيم من *f* بداية ونهاية موسم النمو التي بلغت 61.89 و55.47% على التوالي. ويعود السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الفراغات المسامية في جسم التربة المحروثة بواسطة الة الحراثة المركبة المتكونة من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل بعمق 60 سم ومحراث حفار بعمق 20 سم ومشط قرصي بعمق 10 سم وحادلة التي تعمل عند سطح التربة، فضلاً عن العمق السطحي D1 يحتوي على النسبة الكبيرة من المادة العضوية التي تحسن من بناء التربة وخفض كثافتها الظاهرية، كما تساعد السرعة البطيئة على تقليل تنعيم التربة، وهذه العوامل مجتمعة اترت إيجاباً في زيادة *f* عند معاملة التداخل (T1 X G1 X D1). وتتفق هذه النتائج مع Gozubuyuk وآخرون (2014)، كما سجلت معاملات التداخل (T2 X G1 X D1) و (T3 X G1 X D1) و (T4 X G1 X D1) قيم وسطية لـ *f* التي بلغت 58.87 و60.38 و54.34% بداية موسم النمو على التوالي، وكانت نهاية موسم النمو بواقع 52.08 و53.96 و51.32% على التوالي. في حين سجلت معاملة االتداخل (T5 X G2 X D3) أقل *f* التي بلغت 45.28 و40.75% بداية ونهاية الموسم على التوالي. ويعود السبب إلى عدم وصول أسلحة آلة الحراثة المركبة T5 التي لاتحتوي في تركيبها على المحراث تحت سطح التربة إلى العمق

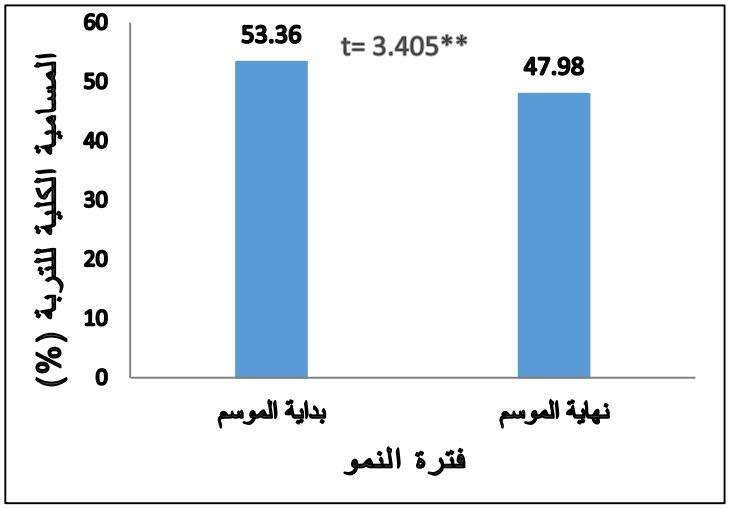
D3، إذ تترك التربة بدون حراثة مما يجعلها متماسكة ومرصوصة نتيجة ضغط التربة المسلط من طبقاتها العليا على طبقاتها التحتية، فضلاً عن زيادة السرعة الأمامية تزيد من تفتيت التربة عند السطح مما يؤدي إلى انسداد الفراغات المسامية بدقائق التربة المنعمة بعد ترسبها إلى طبقات التربة التحتية الأمر الذي ينعكس في تخفيض قيم f . وتتفق هذه النتائج مع AL-azzawi و Akbolat (2018).

جدول (14) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في المسامية الكلية للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الأمامية			
	عمق التربة	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	61.89	58.49	55.47	52.45
	D2	58.11	55.47	52.08	49.81
	D3	56.60	53.96	50.57	48.68
T2	D1	58.87	55.09	52.08	49.43
	D2	55.47	53.58	50.19	46.04
	D3	51.70	51.32	46.79	43.40
T3	D1	60.38	56.60	53.96	51.32
	D2	56.23	53.96	50.57	47.55
	D3	54.72	52.08	49.06	45.66
T4	D1	54.34	52.45	51.32	47.17
	D2	50.57	49.81	49.43	44.53
	D3	49.43	46.79	45.66	42.64
T5	D1	52.83	48.68	48.30	44.53
	D2	49.06	46.79	46.42	41.51
	D3	50.19	45.28	41.89	40.75
RLSD 0.05	0.342		0.196	

بينت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثيراً عالي المعنوية لفترة موسم نمو المحصول في مسامية الكلية للتربة (f). إذ يلاحظ من الشكل 42 أنَّ بداية موسم النمو تفوقت معنوياً في تحقيقها أعلى قيمة لـ f إذ بلغت 53.63%، في حين انخفضت f عند نهاية موسم النمو و كانت بواقع

4.98%. ويرجع سبب ذلك إلى حركة بعض دقائق التربة الناعمة نتيجة تفكك الكتل الترابية اثناء عملية الري وترسيبها في المسامات الكبيرة الأمر الذي يؤدي إلى تغيير التوزيع الحجمي للمسامات مما يسبب انخفاض f (والموسوي وعبد الكريم، 2017c).

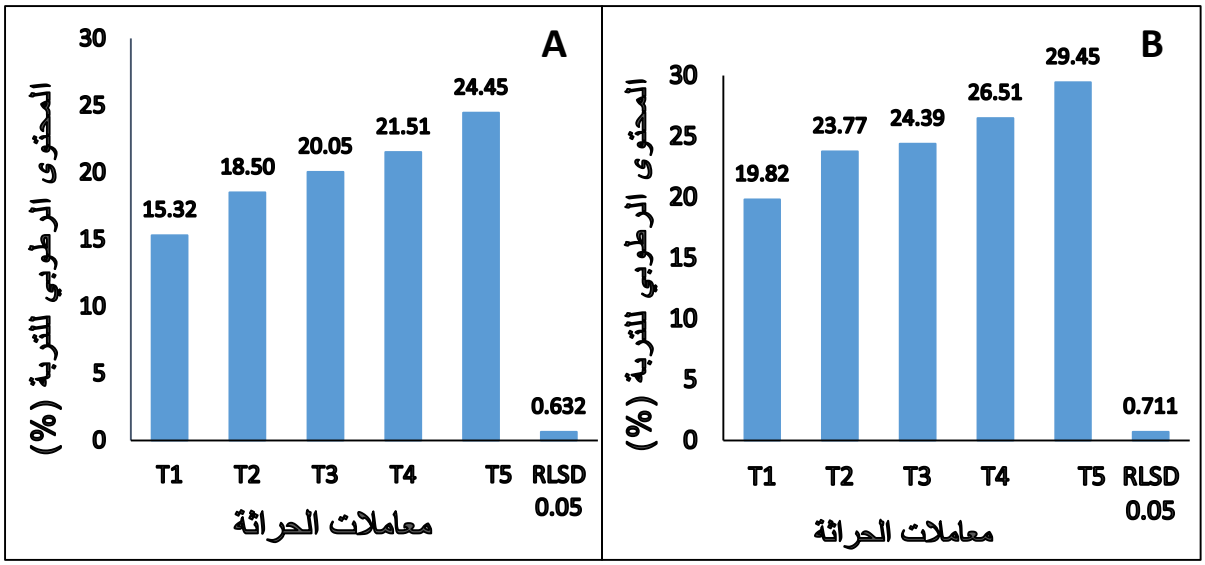


شكل (42) تأثير فترة موسم النمو في المسامية الكلية للتربة (%).

4-2-4- المحتوى الرطوبي للتربة (MC) Moisture content of soil (MC)

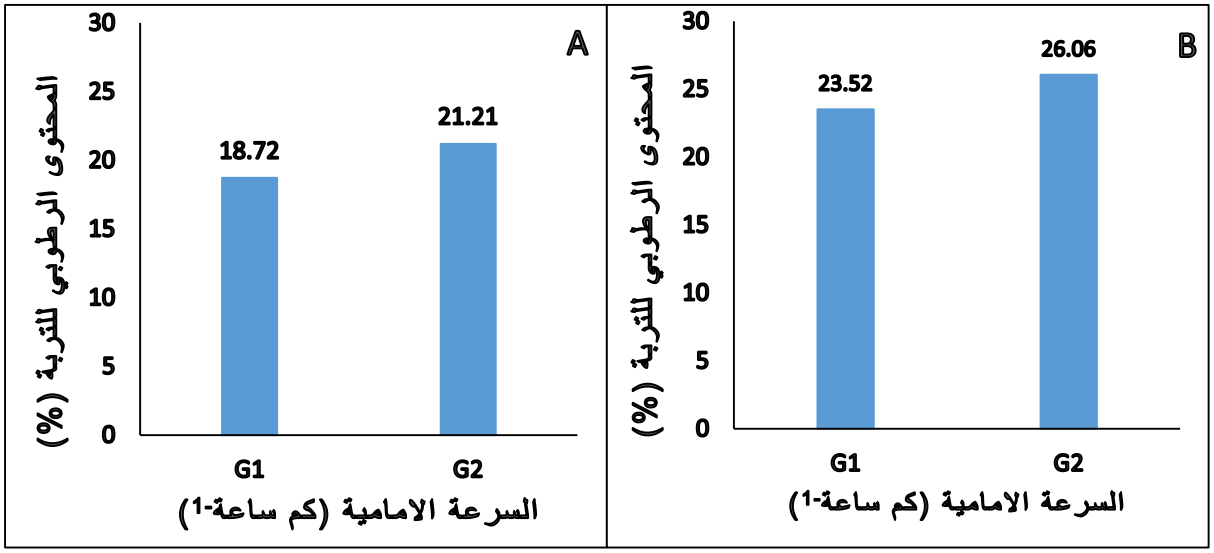
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في قيم المحتوى الرطوبي للتربة (MC) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الشكل 43 تفوق معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T5 معنوياً في تحقيقها أعلى MC الذي بلغ 24.45 و29.45% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة T1 أقل MC إذ بلغ 15.32 و19.82 بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. وسجلت معاملات الحراثة T2 و T3 و T4 قيم وسطية من MC إذ كانت في بداية موسم النمو بواقع 18.50 و20.05 و21.51% على التوالي، أما في نهاية موسم النمو فقد كانت بواقع 23.27 و24.39 و26.51% على التوالي. وترجع الاختلافات في قيم MC إلى اختلاف التصميم الهندسي لكل تركيب من تراكيب آلة الحراثة المركبة وما ينتج عنهُ من اختلاف في إليه عمل آلة الحراثة المركبة، فمثلاً آلة الحراثة المركبة المكونه من محراث حفار وامشاط قرصية (T5) التي تعمل على أعماق حراثة سطحية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض حجم التربة المفككة، فضلاً عن زيادة تنعيم الطبقة

السطحية للتربة الأمر الذي ينعكس في انخفاض مسامية التربة (شكل 39) ومن ثَمَّ تنخفض قابلية التربة على بزل الماء الفائض إلى طبقات التربة السفلى مما ينعكس في زيادة قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء الأمر الذي يؤدي إلى زيادة MC. ويحدث عكس عند استعمال آلة الحراثة المركبة (T1) المكونة من المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومحراث حفار وامشاط قرصية وحادلة، إذ تعمل آلة الحراثة المركبة (T1) على عمق حراثة كبير الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حجم التربة المفككة مما ينعكس في زيادة قابلية التربة على بزل الماء، فضلاً عن أنَّ زيادة حجم التربة المفككة يساعد على زيادة تعرض كتل التربة للظروف الجوية التي تسبب زيادة معدلات تبخر الماء من طبقة التربة السطحية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء ومن ثَمَّ انخفاض MC. وتتفق هذه النتائج مع Wang وآخرون (2020) إذ وجدوا أنَّ الحراثة التقليدية بواسطة المحراث الحفار سجلت أقل MC الذي بلغ 37.60%، في حين سجلت الحراثة الدنيا بواسطة المشط القرصي أعلى MC الذي بلغ 38.35% بداية موسم نمو محصول الذرة الصفراء. وعزوا السبب إلى أنَّ الحراثة التقليدية عملت على تكوين مسامات كبيرة في جسم التربة الأمر الذي يسهم في زيادة بزل الماء، فضلاً عن تعرض مساحة أكبر من التربة إلى الظروف الجوية كالرياح والشمس الأمر الذي أدى إلى زيادة معدلات تبخر الماء من سطح التربة مما قلل من MC.



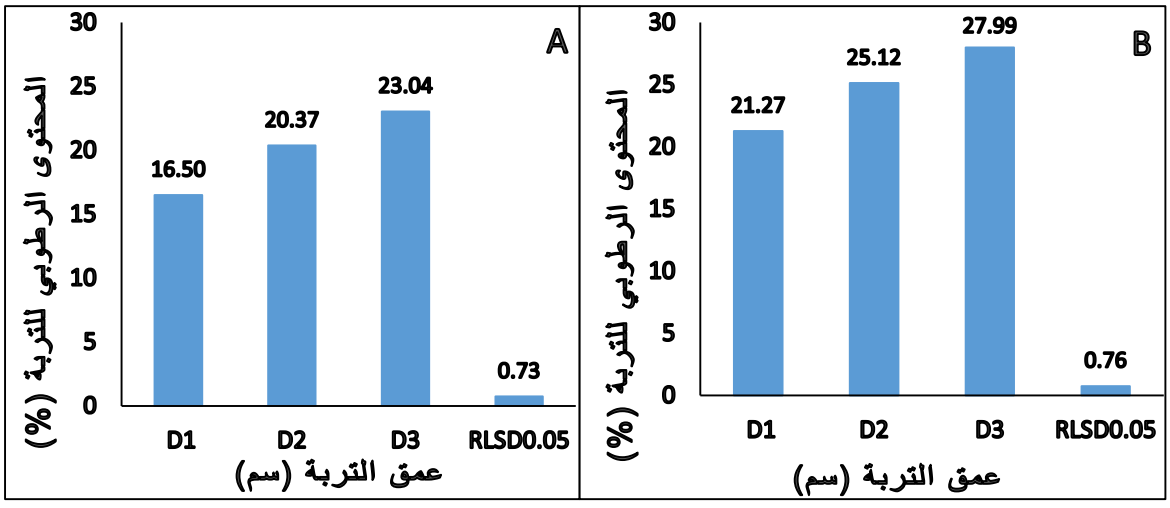
شكل (43) تأثير معاملات الحراثة في الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قيم المحتوى الرطوبي للتربة (MC) لكلا فترتي موسم النمو. إذ يلاحظ من الشكل 44 أنَّ السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ تفوقت بتسجيلها أعلى MC إذ بلغ 21.21 و26.06% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أقل MC الذي بلغ 18.72 و23.52% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب زيادة MC مع السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ إلى زيادة درجة تفتيت التربة (شكل 29) الأمر الذي يؤدي إلى امتلاء وانسداد مسامات التربة بدقائق التربة المنعمة مما انعكس في انخفاض المسامية الكلية للتربة (شكل 40) وزيادة كثافتها الظاهرية (شكل 36) الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض بزل الماء ومن ثَمَّ زيادة قابلية التربة على الاحتفاظ بالماء، وذلك لسيادة المسامات الصغيرة نسبةً إلى المسامات الكبيرة خاصة تحت ضروف أقل من ضروف الاشباع مما يؤدي إلى زيادة MC. وتتفق هذه النتائج مع Khemis وآخرون (2022) إذ توصل إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 4 إلى 9 كم ساعة$^{-1}$ للمحراث تحت التربة المركب أدت إلى زيادة MC بنسبة 17.14%، وعللوا السبب إلى أنَّ زيادة السرعة أدت إلى زيادة تنعيم التربة الأمر الذي أدىٰ ترسب دقائق التربة الناعمة في مسامات التربة الصغيرة مسببة انسداد تلك المسامات مما أدىٰ إلى زيادة الكثافة الظاهرية وانخفاض مساميتها مما ينعكس في تقليل تبخر الماء سطح التربة ومن ثَمَّ زيادة MC عند زيادة السرعة الأمامية.



شكل (44) تأثير السرعة الأمامية في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو .

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في قيم المحتوى الرطوبي للتربة (MC) بداية ونهاية موسم النمو. ويلاحظ من الشكل 45 أنَّ عمق التربة D3 سجل أعلى قيمة للـ MC إذ بلغت 23.04 و27.99% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب هذا الارتفاع في MC إلى بُعد عمق التربة D3 عن المؤثرات الخارجية، فضلاً عن عدم وصول تأثير عملية الحراثة في بعض معاملات الحراثة لهذا العمق، كما أنَّ زيادة الضغط المسلط من طبقات التربة السطحية على طبقاتها التحتية الأمر الذي جعل التربة متماسكة ومن ثَمَّ سيادة المسامات الصغيرة وهذا بدوره ينعكس في انخفاض مسامية التربة (شكل 40) وزيادة كثافتها الظاهرية (شكل 37) الأمر الذي يجعل التربة أكثر مسكاً للماء ومن ثَمَّ زيادة MC عند عمق الحراثة D3، في حين انخفض MC في عمقي التربة D1 وD2 مقارنة بالعمق D3 بنسبة بداية موسم النمو على التوالي، أما في نهاية موسم النمو فقد انخفض MC بنسبة 28.39 و11.59% على التوالي، ومن الملاحظ أنَّ أعلى انخفاض حصل في عمق التربة D1 وقد يعزى سبب ذلك إلى أنَّ عمق التربة السطحي أكثر تعرضاً للعوامل المناخية مثل أشعة الشمس وحركة الرياح التي تتسبب زيادة في معدلات تبخر الماء من الأعماق السطحية للتربة، لاسيما أنَّ المنطقة التي أجريت فيها التجارب تتميز بمعدلات تبخر عالية لكونها تقع ضمن مناخ المناطق الجافه (Abbas، 2021). ويتفق هذه النتائج مع Yu وآخرون (2013) إذ وتوصلوا إلى أنَّ MC زاد بنسبة 35.29% لعمق التربة 40–60 قياساً بعمق التربة السطحي 0–20 سم.



شكل (45) تأثير عمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

ينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (MC) لفترة نهاية موسم النمو، في حين لم يكن هناك تأثير معنوي للتداخل الثنائي في فترة بداية موسم النمو (ملحق 24) . إذ تبين النتائج الموضحة في الجدول 15 أنَّ معاملة التداخل (T5 X D3) عند نهاية موسم النمو حققت أعلى قيمة من MC التي بلغت 32.86%، أما أقل قيمة من MC سجلتها معاملة الحراثة (T1 X D1) نهاية موسم النمو وكانت بواقع 15.75%. ويعزى سبب زيادة MC عند معاملة التداخل (T5 X D3) إلى انخفاض حجم التربة المفككة من قبل آلة الحراثة المركبة (T5) المكونة من المحراث الحفار والمشط القرصي التي اقصى عمق لأسلحتها يصل إلى 20 سم الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض تعرض كتل التربة للظروف الجوية، فضلاً عن بعد العمق الكبير D3 عن المؤثرات الخارجية وهذا بدوره يقلل من معدلات التبخر، كما أنَّ عدم وصول أسلحة آلة الحراثة المركبة (T5) إلى عمق D3 ترك التربة غير مفككة ومتماسكة الأمر الذي يسهم في انخفاض المسامية الكلية للتربة (شكل 37) وهذا بدوره انعكس في زيادة قابلية التربة على مسك الماء ومن ثَمَّ زيادة MC في طبقة التربة التحتية، في حين يحدث عكس في معاملة الحراثة (T1 X D1) التي تعمل على زيادة حجم التربة المفككة نتيجة وجود المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم مما ينعكس في زيادة تعرض كتل التربة المفككة للظروف الجوية ومن ثَمَّ زيادة معدلات التبخر من عمق التربة السطحي، فضلاً عن تحسين بزل الماء الفائض الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض MC. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Wang وآخرون (2020)

جدول (15) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) في نهاية موسم النمو

عمق التربة			
معاملات الحراثة	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
T1	15.75	20.50	23.22
T2	21.50	24.17	25.66
T3	19.83	25.27	28.08
T4	22.66	26.75	30.12
T5	26.58	28.91	32.86
RLSD 0.05	1.46		

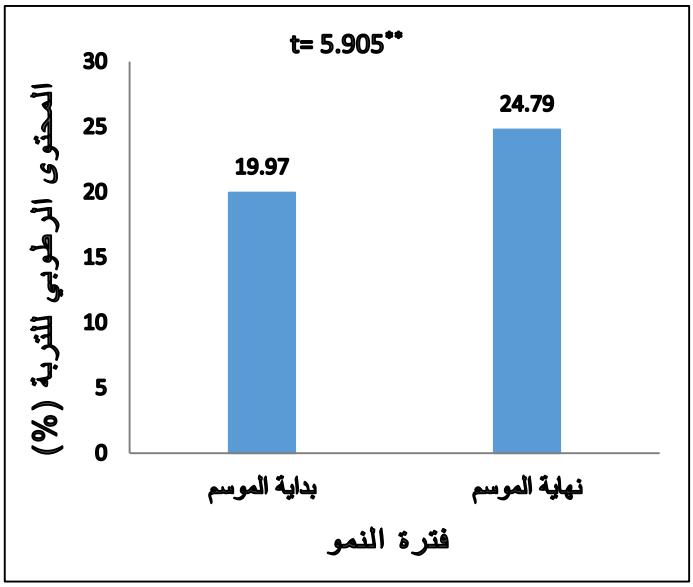
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم المحتوى الرطوبي للتربة (MC) ولكلا فترتي موسم النمو. إذ يبين الجدول 16 أنَّ معاملة الحراثة (G2 X D3) تفوقت بتسجلها أعلى قيمة من MC التي بلغت 24.66 و29.60% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة بالتوليفة (G1 X D1) أقل قيمة من MC التي بلغت 15.70 و20.37% بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب تفوق معامله التداخل (G2 X D3) في تحقيقها أعلى MC إلى بعد العمق D3 عن المؤثرات الخارجية المتمثلة بأشعة الشمس وحركة الرياح الأمر الذي يؤدي إلى تقليل معدلات التبخر ومن ثَمَّ يزيد من احتفاظ التربة عند ذلك العمق بالرطوبة، فضلاً عن دور السرعه الاماميه العالية في زيادة الكثافة الظاهريه للتربة (شكل 36) وانخفاض مساميته الكليه (شكل 39) مما يقلل من حركة الماء إلى الاسفل وهذا بدوره يزيد من بقاء الرطوبة في التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة MC عند معاملة التداخل (G2 X D3). وتتفق هذه النتائج مع Sharma وآخرون (2019) إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 8 إلى 16 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة MC من 14.51 إلى 15.18% عند العمق 0–5 سم، كما زاد MC من 16.21 إلى 16.34% عند العمق 5–10 سم.

جدول (16) تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة (%) بداية ونهاية موسم النمو

بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
عمـــــــق التربـــــــة					
السرعة الأمامية (كم ساعة$^{-1}$)	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)
G1	15.70	19.06	21.41	20.37	23.83	26.37
G2	17.30	21.68	24.66	22.16	26.41	29.60
RLSD 0.05	0.436			0.924		

أظهرت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم نمو المحصول في المحتوى الرطوبي للتربة (MC)، إذ يلاحظ من الشكل 46 أنَّ بداية موسم النمو سجلت أقل قيمة من MC التي بلغت 19.97%، في حين زاد MC في نهاية موسم النمو

وكانت بواقع 24.79%. ويرجع سبب انخفاض MC في بداية موسم النمو إلى ارتفاع معدلات درجات الحرارة ، فضلاً عن أنَّ النبات في مراحل نمو الأولى ولايزال لايملك تفرعات كثيرة الأمر الذي يؤدي إلى التقليل من تغطية سطح التربة ومن ثَمَّ تعرضها للظروف الجوية مثل اشعة الشمس مباشرة إذ بلغت درجات الحرارة 46 مْ، وهذا بدوره أدىٰ إلى زيادة معدلات التبخر من سطح التربة، أما في نهاية الموسم فقد زاد نمو المحصول واصبح أكثر تغطية للتربة، فضلاً عن انخفاض معدلات درجات الحرارة في نهاية موسم النمو إذ بلغت درجات الحرارة 18 مْ وهذه العوامل قللت من معدلات التبخر ومن ثَمَّ زاد من احتفاظ التربة بالرطوبة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل اليه الموسوي وعبد الكريم (2016 a) .



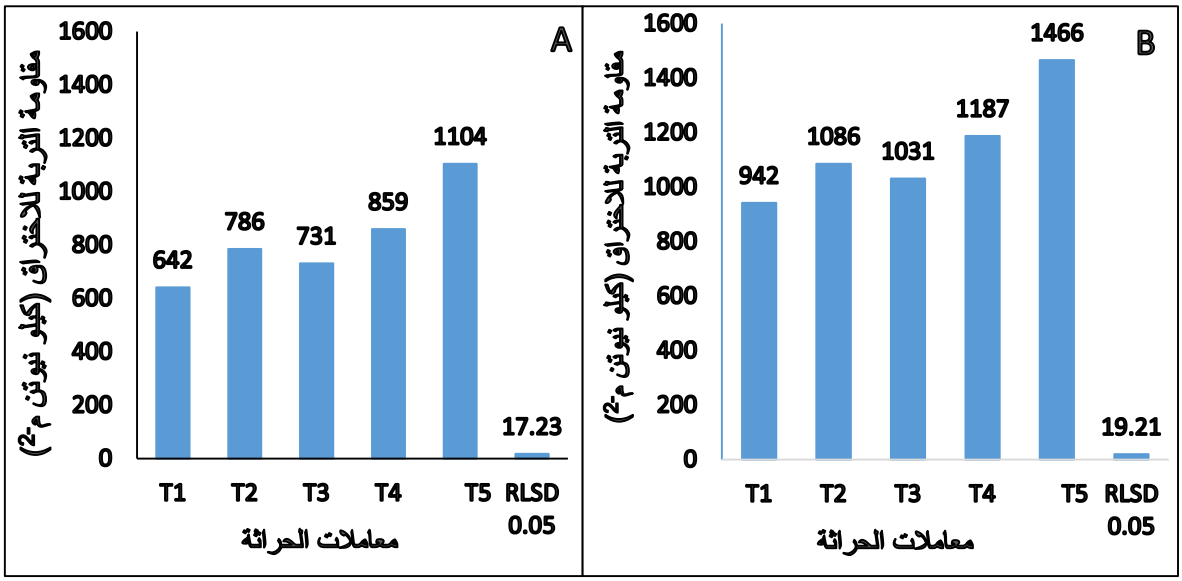
شكل (46) تأثير فترة موسم نمو المحصول في المحتوى الرطوبي للتربة (%).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F عدم وجود تأثير معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية عند بداية ونهاية موسم نمو النبات في MC (ملحق 19 و20) والنتائج موضحة في الملحق (23).

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F عدم وجود تأثير معنوي للتداخل الثلاثي بين عوامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية وعمق التربة عند بداية ونهاية موسم نمو النبات في MC (ملحق 19 و20) والنتائج موضحة في ملحق (25).

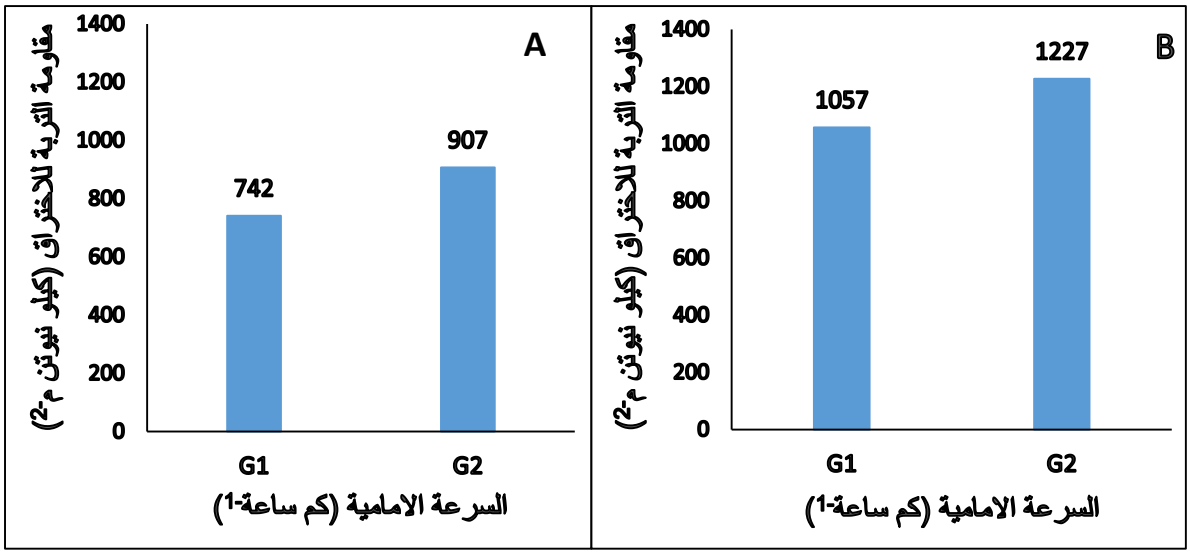
4-2-5- مقاومة التربة للاختراق Penetration resistance of soil (PR)

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الشكل 47 أنَّ معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة المحتوية في تركيبها على المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل بعمق 60 سم حققت أقل قيم لـ PR إذ سجلت معاملتي T1 و T3 أقل قيم لـ PR في بداية موسم النمو التي بلغت 642 و731 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي، وعند نهاية موسم النمو بلغت 942 و1031 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي. ويرجع السبب إلى زيادة حجم التربة المفككة، الأمر الذي يقلل من رص التربة نتيجة انخفاض كثافة التربة الظاهرية (شكل 35) وزيادة مساميتها (شكل 39) مما ينعكس في انخفاض قيم PR. كما سجلت معاملتي الحراثة T2 و T4 المتضمنة المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم قيم وسطية لـ PR التي بلغت 786 و859 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية موسم النمو على التوالي، في حين كانت بواقع 1333 و1377 كيلو نيوتن م$^{-2}$ نهاية موسم النمو على التوالي. كما سجلت معاملة الحراثة T5 أعلى قيم لـ PR التي بلغت 1086 و1187 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعزى السبب إلى انخفاض حجم التربة المفككة نتيجة إلى انخفاض عمق طبقة التربة المحروثة في معلملة الحراثة T5 التي تتكون فيها آلة الحراثة المركبة من محراث حفار ومشط قرصي يعملان على عمق 20 و10 سم على التوالي، وهذا يقلل من طبقة التربة المحروثة إذ تبقى طبقات التربة التحتية غير محروثة ومتراصة ذات كثافة ظاهرية عالية (شكل 35) ومسامية منخفضة (شكل 39) نتيجة الضغط المسلط عليها من طبقات التربة العليا الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قيم PR. كما توضح النتائج أنَّ إضافة المحراث تحت سطح التربة سواء يعمل بعمق 60 سم او 40 سم قلل من PR قياساً بمعاملات الحراثة T5 التي لا تحتوي على المحراث تحت سطح التربة، إذ انخفضت PR لمعاملتي حراثة T1 و T2مقارنة مع معاملة الحراثة T5 بنسبة 26.97 و17.67% بداية الموسم على التوالي، وكانت عند نهاية الموسم 17.97 و12.54% على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Usaboris وآخرون (2020) إذ لاحظوا أنَّ PR انخفضت بنسبة 22.38% عند زيادة عمق الحراثة بالمحراث تحت سطح التربة من 20 إلى 50 سم، وعللوا السبب إلى أنَّ زيادة عمق الحراثة زاد من حجم التربة المفككة مما قلل من كثافة التربة الظاهرية وتماسكها الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض PR مع زيادة عمق الحراثة.



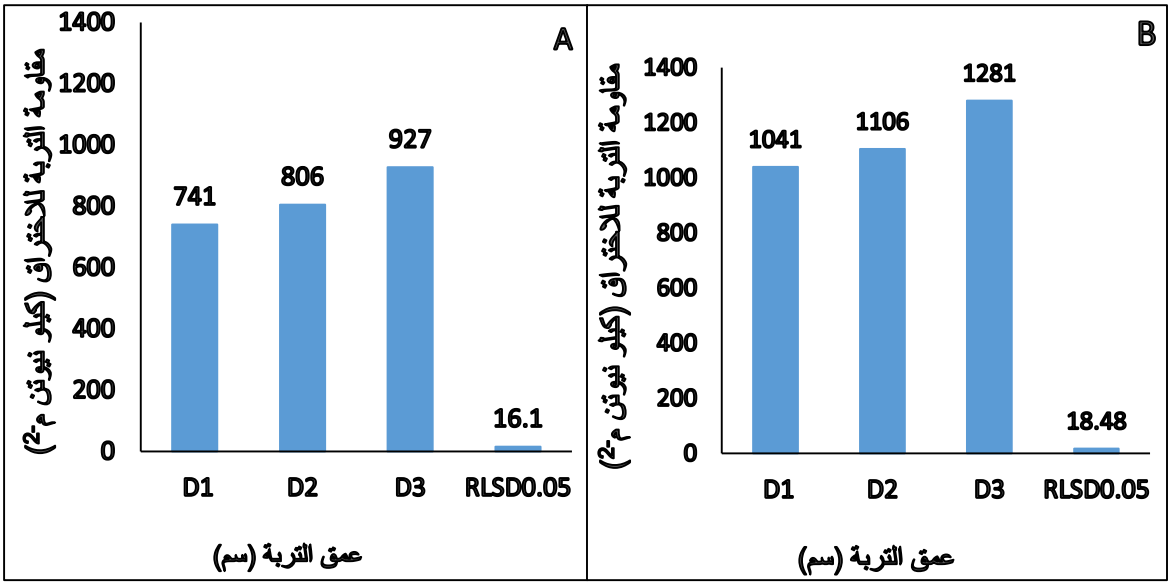
شكل (47) تأثير معاملات الحراثة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو .

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يبين الشكل 48 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ على السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ في خفض قيم PR من 977 إلى 866 كيلو نيوتن م$^{-2}$ (18.26%) في بداية الموسم، في حين انخفضت في نهاية موسم النمو من 1364 إلى 1312 كيلو نيوتن م$^{-2}$ (31.85%). ويعود السبب إلى أنَّ زيادة السرعة الأمامية تؤدي إلى زيادة تسارع كتل التربة وتصادمها بعضها ببعض مما يؤدي إلى زيادة تفتيت التربة (شكل29) الأمر الذي يسبب امتلاء الفراغات بين دقائق التربة بالتربة المنعمة وهذا بدوره يقلل من المسامية الكلية للتربة (شكل 39) وزيادة كثافتها الظاهرية (شكل 36) ومن ثَمَّ زيادة قيم PR. تتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Rajeshwar و Sharma (2022) إذ لاحظو أنَّ زيادة السرعة الأمامية من 2 إلى 3.20 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة PR بنسبة 21.58% ، وعزا سبب زيادة PR مع زيادة السرعة الأمامية إلى زيادة تنعيم التربة ومن ثَمَّ زيادة كثافة التربة الظاهرية وانخفاض مساميتها الأمر الذي أدىٰ إلى زيادة PR.



شكل (48) تأثير السرعة الأمامية في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو .

ينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمو، ويلاحظ من الشكل 49 تفوق عمق التربة D1 معنوياً في تحقيقة أقل قيم PR التي بلغت 741 و1041 كيلو نيوتن م$^{-2}$ في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجل العمق D3 أعلى قيم PR إذ بلغت 927 و1281 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، ويعود السبب إلى زيادة تماسك التربة وانخفاض نسبة المادة العضوية مع زيادة عمق التربة، فضلاً عن تراص طبقات التربة التحتية نتيجة الضغط المسلط عليها من قبل الطبقات العليا وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة كبس التربة وزيادة كثافتها الظاهرية (شكل 37) ومن ثَمَّ زيادة قيم PR. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Ren وآخرون (2019) إذ لاحظوا أنَّ زيادة عمق التربة أدىٰ إلى زيادة PR بسبب زيادة قوة تماسك التربة وكثافتها الظاهرية مع العمق.



شكل (49) تأثير عمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

ينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمو. ويلاحظ من الجدول 17 انخفاض قيم PR بانخفاض السرعة الأمامية لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة، إذ حققت معاملة التداخل (T1 X G1) أقل قيم PR إذ بلغت 567 و867 كيلو نيوتن م$^{-2}$ في بداية ونهاية الموسم على التوالي، ويعود السبب إلى التأثير المشترك لمعاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 والسرعة الأمامية G1 في خفض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 35) وزيادة مساميتها (شكل 39) الأمر الذي يؤدي إلى خفض قيم PR. وتليها معاملات التداخل (T2 X G1) و(T3 X G1) و(T4 X G1) إذ سجلت قيم PR التي بلغت 715 و672 و778 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية موسم النمو على التوالي، وكانت في نهاية موسم النمو قيم PR بواقع 1015 و972 و1078 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أعلى PR التي بلغت 1232 و1577 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية ونهاية الموسم على التوالي. ويعود السبب إلى ارتفاع كثافة التربة الظاهرية (شكل 35) وانخفاض مساميتها (شكل 39) نتيجة انخفاض حجم التربة المفككة إذ تبقى طبقة التربة التحتية بدون حراثة ذات كثافة ظاهرية عالية وساعد في ذلك السرعة الأمامية العالية التي عملت على زيادة تنعيم التربة وهذا

بدوره يؤدي إلى انسداد مسامات التربة بدقائق التربة المنعمة وهذه العوامل مشتركة تؤدي إلى زيادة قيم PR. وتتفق هذه النتائج مع Ashour (2016) إذ وجد أنَّ استعمال المحراث الحفار المركب في تربة غرينيه طينية وزيادة السرعة الأمامية من 1.74 إلى 4.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة PR من 1500 إلى 2500 كيلو نيوتن م$^{-2}$ كمعدل لإعماق التربة (0–5، 5–10، 10–15، 15–20 سم) وعزا سبب PR مع زيادة السرعة الأمامية إلى زيادة تنعيم التربة ومن ثَمَّ زيادة كثافة التربة الظاهرية وانخفاض مساميتها الأمر الذي أدى إلى زيادة قيم PR.

جدول (17) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الأمامية			
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	567	717	867	1017
T2	715	856	1015	1156
T3	672	791	972	1091
T4	778	941	1078	1297
T5	977	1232	1356	1577
RLSD 0.05	28.27		20.57	

ينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يلاحظ من الجدول 18 أنَّ قيم PR تنخفض عند طبقة التربة السطحية لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة، إذ سجلت معاملة التداخل (T1 X D1) و(T2 X D1) و(T3 X D1) و(T4 X D1) و(T5 X D1) أقل قيم لـ PR التي بلغت 580 و733 و663 و782 و945 كيلو نيوتن م$^{-2}$ بداية موسم النمو على التوالي، واصبحت عند نهاية موسم النمو بواقع 880 و1033 و963 و1082 و1245 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي، في حين سجلت معاملات التداخل (T1 X D3) و(T2 X D3) و(T3 X D3) و(T4 X D3) و(T5 X D3) أعلى قيم PR

التي بلغت 695 و847 و782 و955 و1358 كيلو نيوتن م$^{-2}$ عند بداية موسم النمو على التوالي، في حين كانت بواقع 995 و1147 و1082 و1338 و1843 كيلو نيوتن م$^{-2}$ عند نهاية موسم النمو على التوالي. كما كانت نسبة الانخفاض بين أقل وأعلى قيمة لـ PR المسجلة من قبل معاملتي التداخل (T1 X D1) و(T5 X D3) إذ بلغت 57.30% و52.26% عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب تفوق معامله التداخل (T1 X D1) في تحقيقها أقل PR إلى دور معاملة الحراثة T1 في خفض كثافه التربة الظاهرية (شكل 35) خصوصاً عند العمق السطحي D1 الذي يحتوي على النسبة الأعلى من المادة العضوية مقارنه مع الأعماق الأخرى الأمر الذي ينعكس إيجاباً في انخفاض قيم PR، على عكس من معامله التداخل (T5 X D3) التي سجلت أعلى PR نتيجة انخفاض حجم التربة المفككة مع معاملة الحراثة T5 ومن ثَمَّ زيادة كثافه التربة الظاهرية وتماسكها عنده عمق D3 الأمر الذي ينعكس في ارتفاع قيم PR. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل Ren وآخرون (2019) إذ وجدوا أنَّ زيادة عمق التربة من 0–10 إلى 20 –30 سم أدى إلى زيادة قيم PR من 750.75 إلى 2000 كيلو نيوتن م$^{-2}$.

جدول (18) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في مقاومة التربة للاختـــــراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــق التربـــــة					
	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)
T1	580	650	695	880	950	995
T2	733	778	847	1033	1078	1147
T3	663	748	782	963	1048	1082
T4	782	842	955	1082	1142	1338
T5	945	1010	1358	1245	1310	1843
RLSD 0.05	32.89			47.43		

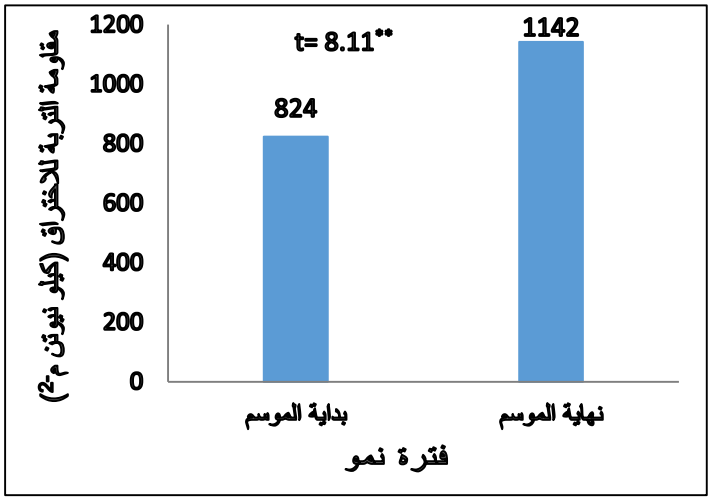
توضح نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في الملحقين (19 و 20) أنَّ للتداخل الثلاثي بين عوامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية وعمق التربة تأثيراً معنوياً في مقاومة التربة للاختراق (PR) في نهاية موسم النمو، في حين لم يكون هناك فروق معنوي في بداية موسم النمو (ملحق 27)، إذ يلاحظ من الجدول 19 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) تفوقت معنوياً على معاملات التداخل الأخرى بتحقيقها أقل قيم لـ PR التي بلغت 480 كيلو نيوتن م$^{-2}$، في حين سجلت معاملـــــــة التداخل (T5 X G3 X D3) أعلى قيم لـ PR التي بلغت 1467 كيلو نيوتن م$^{-2}$. ويعود سبب انخفاض قيم PR مع معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) للتأثير المشترك لآلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية البطيئة والعمق السطحي في زيادة حجم التربة المفككة عند السطح وحتى عمق 60 سم كما هو الحال في معاملتي حراثة (T1 وT3) الأمر الذي ينعكس في زيادة المسامية الكلية (جدول 15) وانخفاض كثافتها الظاهرية (جدول 10) مما ينعكس في تقليل طبقة التربة المرصوصة ومن ثَمَّ انخفاض قيم PR. وبصورة عامة تنخفض قيم PR لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في حالة انخفاض السرعة الأمامية عند أعماق التربة السطحية. فمثلاً سجلت معاملات التداخل (T2 X G1 X D1) و(T3 X G1 X D1) و(T4 X G1 X D1) و(T5 X G1 X D1) قيم منخفضة لـPR إذ بلغت 655 و610 و700 و810 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي، في حين ارتفعت قيم PR عند استعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية العالية وعمق التربة الكبير، إذ سجلت معاملات التداخل (T2 X G2 X D3) و(T3 X G2 X D3) و(T4 X G2 X D3) و(T5 X G2 X D3) قيم لـ PR أعلى التي بلغت 903 و828 و1057 و1467 كيلو نيوتن م$^{-2}$ على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع كل من Upadhyay وRaheman (2018) وUsaborisu وآخرون (2020) وAldaoseri وMuhsin (2022).

جدول (19) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية موسم النمو

معاملات الحراثة	بداية موسم		
	عمق التربة (سم)	السرعة الأمامية	
		G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	480	680
	D2	570	730
	D3	650	740
T2	D1	655	810
	D2	700	855
	D3	790	903
T3	D1	610	717
	D2	680	817
	D3	725	838
T4	D1	700	863
	D2	780	903
	D3	853	1057
T5	D1	810	1080
	D2	870	1150
	D3	1250	1467
RLSD 0.05		49.15	

أظهرت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم النمو في مقاومة التربة للاختراق (PR)، إذ يلاحظ من الشكل 50 أنَّ بداية موسم النمو حققت أقل متوسط لصفة مقاومة التربة للاختراق بلغ 824 كيلو نيوتن م$^{-2}$، في حين زادت PR في نهاية موسم النمو إذ بلغت 1142 كيلو نيوتن م$^{-2}$ أي زادت قيم PR بنسبة 38.56%، ويرجع السبب في ذلك إلى حركة دقائق التربة الناعمة مع تقدم موسم نمو المحصول بفعل تفكك الكتل الترابية أثناء عمليات الري وترسيبها دقائقها الناعمة في المسامات مما يغير من التوزيع الحجمي للمسامات وهذا بدوره يقلل من مسامية التربة الكلية وزيادة كثافتها الظاهرية ومن ثَمَّ زيادة قيم PR ، وتتفق هذه النتائج مع ما توصل

Aldaoseri وMuhsin (2022) إذ وجد قيم PR ارتفع بنسبة 31.38% في نهاية موسم نمو قياساً مع بداية موسم نمو النبات. وقد عللوا ذلك إلى زيادة تماسك التربة مع تقدم موسم النمو وتأثير عمليات الري في امتلاء وانسداد بعض مسامات التربة بدقائق التربة الناعمة.



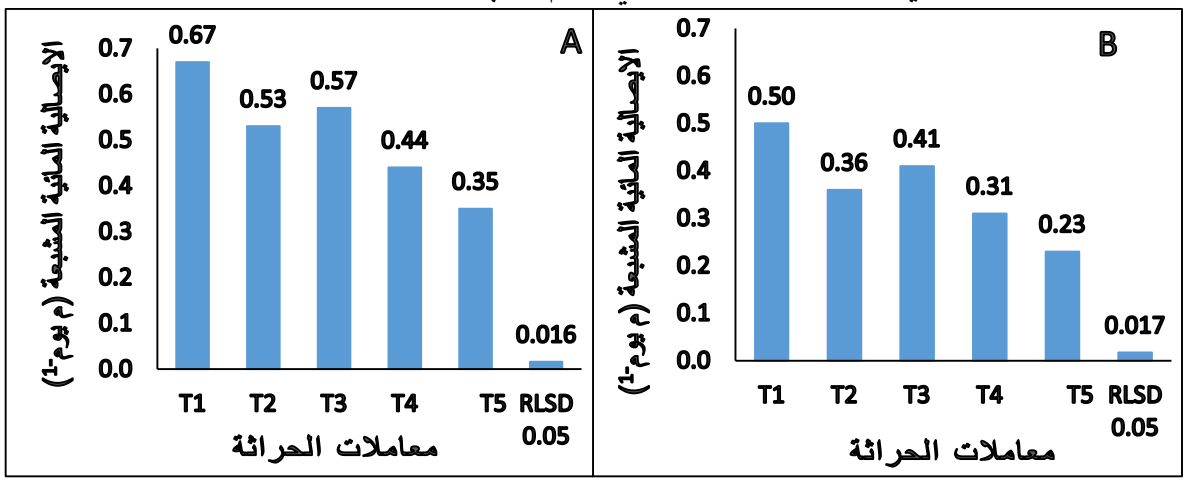
شكل (50) تأثير فترة موسم النمو في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$).

يبين التحليل الاحصائي لاختبار F في الملحقين (19 و20) عدم وجود تأثير معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة في قيم مقاومة التربة للاختراق (PR) بداية ونهاية موسم النمـــــو (ملحق 26).

4-2-6- الايصالية المائية المشبعة Saturated Hydraulic Conductivity (Ks)

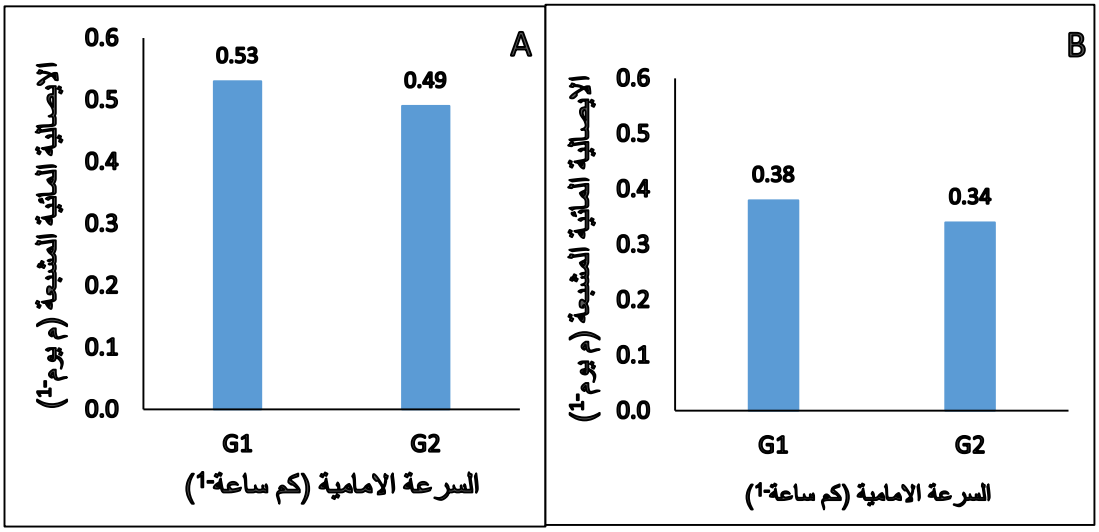
أظهرت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الشكل 51 أنَّ معاملة الحراثة T1 تفوقت بتحقيقها أعلى Ks التي بلغت 0.67 و0.50 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتليها معاملة الحراثة T3 في الحصول على Ks التي بلغت 0.57 و0.41 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية الموسم على التوالي. ويعزى السبب إلى تركيب آلة الحراثة المركبة (T1) وتأثيره الإيجابي في زيادة معدل القطر الموزون (شكل 33) وخفض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 37) وزيادة المسامية (شكل 41)، أنَّ معاملة الحراثة T1 التي تتكون آلة الحراثة فيها من المحراث تحت سطح التربة ذو عمق 60 سم ومحراث حفار ذو عمق 20 سم ومشط قرصي ذو عمق 10 سم وحادلة تعمل على سطح التربة، إذ تعمل تراكيب آلة الحراثة

مجتمعة بتفكيك حجم كبير من التربة يصل إلى عمق 60 سم مما يساعد على تحويل التربة المتماسكة إلى كتل مختلفه الاحجام مما ينعكس بزيادة الفراغات المسامية بينها وهذا يؤدي إلى زيادة سرعة حركة الماء من خلال زيادة نفإذيتة داخل جسم التربة، والسلوك نفسه يحدث في حالة معاملة الحراثة T3 التي تتكون من محرث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق يصل إلى 60 سم ومحراث حفار بعمق 20 سم الأمر الذي يزيد من حجم التربة المفككة مما يشجع على زيادة احجام الفراغات المسامية الكبيرة في التربة التي تسرع من حركة ونفاذية الماء في جسم التربة. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Burtan وآخرون (2020) إذ اوضحوا بأن Ks زادت معنوياً عند الحراثة العميقة بالمحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 30–40 سم قياساً بالمحراث الحفار الذي يعمل على عمق ضحل 10–20 سم بنسبة 15.58%، وعللوا سبب زيادة Ks لكون الحراثة العميقة تزيد من حجم التربة المفككة ومن ثَمَّ زيادة الفراغات المسامية بين تلك الكتل الأمر الذي يزيد من Ks. كما حققت معاملتي الحراثة T2 وT4 قيم وسطية لـKs التي بلغت 0.53 و0.44 م يوم$^{-1}$ بداية موسم النمو على التوالي، أما نهاية موسم النمـــــــو فكانت بواقـــــــع 0.36 و0.31 م يوم$^{-1}$ على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة T5 أقل Ks التي بلغت 0.35 و0.23 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب انخفاض Ks عند معاملة الحراثة T5 إلى اختلاف تركيبها إذ تتكون من محراث حفار ومشط قرصي الأمر الذي يؤدي إلى تفكيك حجم أقل من التربة إذ يكون عمق التربة المفككة لايتجاوز 20 سم تاركاً طبقات التربة تحت عمق 20 سم ذات كثافة ظاهرية عالية ومسامية منخفضة الأمر الذي يقلل من نفاذية الماء في جسم التربة.



شكل (51) تأثير معاملات الحراثة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

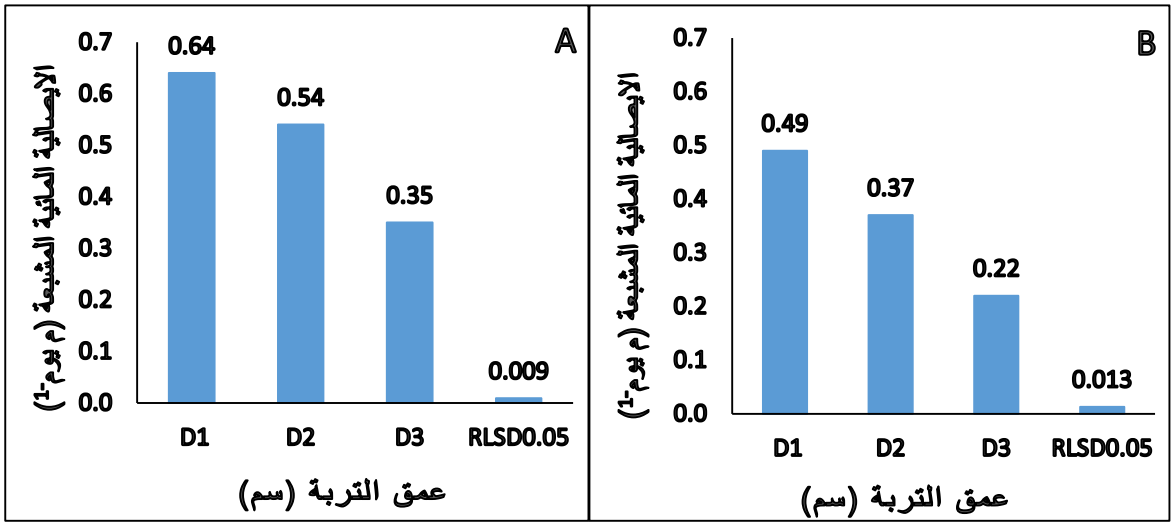
بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين الشكل 52 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ في تحقيقها أعلى Ks التي بلغت 0.53 و0.38 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أقل Ks التي بلغت 0.49 و0.34 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود السبب إلى أنَّ السرعة الأمامية البطيئة تؤدي إلى تقليل تفتيت التربة (شكل 29) وزيادة خشونة سطح التربة الأمر الذي يزيد من الفراغات المسامية بين كتل التربة ومن ثَمَّ زيادة المسامية الكلية للتربة (شكل 40) وانخفاض كثافة التربة الظاهرية (شكل 36) مما ينعكس إيجاباً على سرعة حركة الماء في جسم التربة ومن ثَمَّ زيادة قيم Ks. تتفق هذه النتائج مع وجد ياغي (2015) إذ وجد أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 7.5 إلى 5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة Ks بنسبة 92.32% وعزا السبب إلى زيادة خشونة سطح التربة مع انخفاض السرعة الأمامية إذ تتناسب نفاذية التربة طردياً مع خشونة السطح نتيجة انخفاض الجريان السطحي للمياه.



شكل (52) تأثير السرعة الأمامية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يلاحظ من الشكل 55 أنَّ عمق التربة السطحي D1 حقق أعلى Ks إذ بلغت 0.64 و0.49 م يوم$^{-1}$

بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، إذ تفوق العمق السطحي D1 بزيادة قيم Ks التربة قياساً بعمق التربة السطحي D2 وD3 بنسبة 18.50 و82.90% بداية موسم النمو على التوالي، أما نهاية موسم النمو فقد انخفضت Ks بنسبة 32.43 و122.73% على التوالي. ويعزى زيادة Ks عند عمق التربة السطحي D1 إلى تحسن خصائص التربة مثل زيادة قيم معدل القطر الموزون (شكل 35) وانخفاض الكثافة الظاهرية (شكل 39) وزيادة المسامية (شكل 41) عند العمق السطحي، فضلاً عن وجود المادة العضوية بصورة أكثر عند عمق التربة السطحي مقارنة مع أعماق التربة الأخرى وما لها من تأثير ايجابي في تحسن بناء التربة وزيادة مساميتها الكلية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قيم Ks عند العمق السطحي قياساً مع اعماق التربة تحت السطحية. وتتفق هذه النتائج مع Burtan وآخرون (2020) إذ لاحظوا أنَّ زيادة عمق التربة من 0–10 سم إلى20–30 سم أدى إلى انخفاض Ks بنسبة 89.12%. وعزا سبب ذلك إلى انخفاض الكثافة الظاهرية وزيادة المسامية لطبقة التربة السطحية قياساً بطبقات التربة السفلى.



شكل (53) تأثير عمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو .

توضح نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في الملحقين (19 و 20) أنَّ للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية تأثيرا عالي المعنوية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) لكلا فترتي موسم النمو. إذ تظهر النتائج المبينة في الجدول 20 تفوق معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية البطيئة (T1 X G1) بتحقيقها أعلى

قيم لـ Ks التي بلغت 0.68 و0.51 م يوم$^{-1}$ في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية العالية (T5 X G2) أقل Ks إذ بلغت 0.32 و 0.21 م يوم$^{-1}$ عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، ويعزى سبب تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في زيادة Ks إلى الدور المشترك لآلة الحراثة (T1) والسرعة البطيئة (G1) في زيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) وزيادة مسامية التربة (شكل 39) وانخفاض كثافتها الظاهرية (شكل 35)، فضلاً عن زيادة طبقة التربة المحروثة بواسطة المحراث تحت سطح التربة لآلة الحراثة المركبة (T1) الأمر الذي يحسن من حركة الماء في جسم التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة Ks ، في حين لم يتجاوز عمق الحراثة في معاملة الحراثة T5 عن 20 سم وهذا بدوره يؤدي إلى ترك طبقات التربة التحتية متماسكة وذات كثافة ظاهرية عالية ومسامية منخفضة ، فضلاً عن دور السرعة الأمامية العالية في زيادة الكثافة الظاهرية وانخفاض المسامية الأمر الذي ينعكس سلباً في انخفاض Ks عند معاملة التداخل (T5 X G2). وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه ياغي (2015). كما حققت معاملات الحراثة T2و T3 وT4 قيم وسطية لـ Ks وكانت عند السرعة الأمامية البطيئة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أعلى من السرعة الأمامية العالية 3 كم ساعة$^{-1}$ بنسبة 5.88 و5.36 و12.20% بداية موسم النمو على التوالي، ونهاية موسم النمو بنسبة 11.76 و7.69 و17.86% على التوالي.

جدول (20) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الأمامية			
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	0.68	0.66	0.51	0.49
T2	0.54	0.51	0.38	0.34
T3	0.59	0.56	0.42	0.39
T4	0.46	0.41	0.33	0.28
T5	0.38	0.32	0.26	0.21
RLSD 0.05	0.025		0.015	

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة في الايصالية

المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من النتائج المبينة في الجدول 21 أنَّ معاملات الحراثة (T1 X D1) و(T2 X D1) و(T3 X D1) و(T4 X D1) و(T5 X D1) تفوقت معنوياً بتحقيقها أعلى قيم لـKs إذ بلغت 0.73 و0.65 و0.69 و0.61 و0.53 م يوم$^{-1}$ في بداية موسم النمو على التوالي، أما عند نهاية الموسم فكانت بواقع 0.58 و0.49 و0.53 و0.45 و0.37 م يوم$^{-1}$ على التوالي، في حين انخفضت Ks لمعاملات الحراثة عند عمق التربة الكبير (T1 X D3) و(T2 X D3) و(T3 X D3) و(T4 X D3) و(T5 X D3) إذ بلغت 0.60 و0.39 و0.42 و0.21 و0.12 م يوم$^{-1}$ عند بداية موسم النمو، وكانت في نهاية موسم النمو بواقع 0.42 و0.20 و0.24 و0.14 و0.10 م يوم$^{-1}$ على التوالي. ويعود سبب تحقيق معاملة التداخل (T1 X D1) أعلى Ks إلى دور آلة الحراثة المركبة T1 في تفكيك حجم كبير من التربة بالعمق الأمر الذي ينعكس في زيادة المسامية الكلية للتربة (شكل 39) وانخفاض كثافتها الظاهرية (شكل 35)، فضلاً عن دور عمق التربة السطحي الذي يحتوي على النسبة الأعلى من المادة العضوية مما يحسن بناء التربة وزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) ومن ثَّمَّ انخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 33) مما ينعكس في زيادة نفاذية التربة وزيادة قيم Ks، في حين لم يصل تأثير آلة الحراثة المركبة T5 إلى العمق التربة الكبير D3 الأمر الذي يؤدي إلى بقاء التربة غير محروثة ومتماسكة عند العمق وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة كثافتها الظاهرية، فضلاً عن أنَّ الضغط المسلط على الطبقات السفلى للتربة من قبل طبقات التربة العليا نتج عنهُ زيادة في رص التربة وهذا بدوره يقلل من مسامية التربة ومن ثَّمَّ انخفاض قيم Ks. وتتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Salama وآخرون (2018)

جدول (21) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
T1	0.83	0.62	0.48	0.63	0.42	0.28
T2	0.70	0.48	0.17	0.46	0.24	0.11
T3	0.77	0.54	0.36	0.43	0.32	0.18
T4	0.66	0.44	0.13	0.36	0.14	0.07
T5	0.54	0.34	0.07	0.47	0.30	0.067
RLSD (P<0.05)	0.023			0.03		

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين جدول 22 ارتفاع قيم Ks لكلا فترتي موسم النمو عند السرعة الأمامية البطيئة وعمق التربة السطحي، إذ سجل التداخل الثنائي (G1 X D1) أعلى Ks التي بلغت 0.66 و0.51 م يوم$^{-1}$ عند بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتفوقت معنوياً في زيادة Ks بنسبة 6.45 و17.86 و24.53 و78.38 و100.00% قياساً بالمعاملات الأخرى (G2 X D1) و(G1 X D2) و(G2 X D2) و(G1 X D3) و(G2 X D3) عند بداية موسم النمو على التوالي. ونهاية موسم النمو تفوقت بنسبة 30.77 و112.50 و8.51 و41.67 و155.00 قياساً بمعاملات الحراثة المذكورة في على التوالي. ويعود سبب تفوق معاملة التداخل (G1 X D1) في تحقيها أعلى Ks إلى تسجيلها أقل كثافة ظاهرية (جدول 9) وأعلى مسامية (جدول 13) وهذا بدوره يؤدي إلى تحسن حركة الماء وزيادة نفاذيتة في جسم التربة مما ينعكس في زيادة قيم Ks، على عكس من معاملة التداخل (G X D3) التي تنخفض فيها مسامية التربة وتزداد كثافتها الظاهرية الأمر الذي ينعكس سلباً في انخفاض قيم Ks. تتفق هذه النتائج مع Aday وآخرون (2019) .

جدول (22) تأثير التداخل بين السرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (ملم يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو

نـهاية الموسـم			بـداية الموسـم			
عمـق التربـة						
D3 (60-40 سم)	D2 (40-20 سم)	D1 (20-0 سم)	D3 (60-40 سم)	D2 (40-20 سم)	D1 (20-0 سم)	السرعة الأمامية (كم ساعة$^{-1}$)
0.24	0.39	0.51	0.37	0.56	0.66	G1
0.2	0.36	0.47	0.33	0.53	0.62	G2
0.0223			0.0166			RLSD 0.05

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثلاثي بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية وعمق التربة في قيم في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من جدول 23 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) تفوقت معنوياً على معاملات الحراثة الأخرى بداية

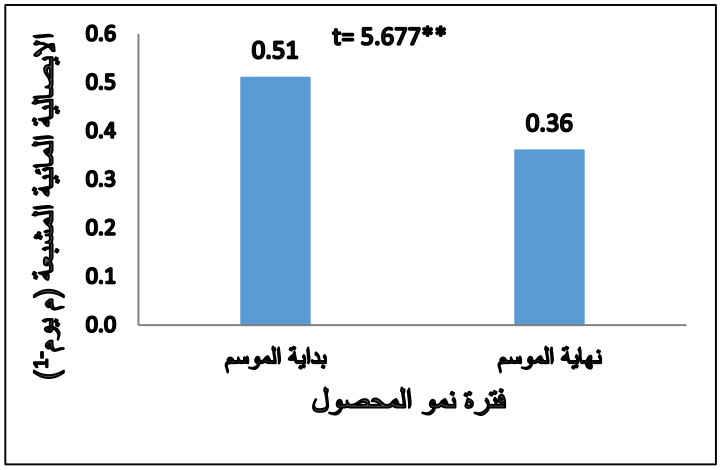
جدول (23) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية المائية المشبعة للتربة (م يوم$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	عمق التربة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
		السرعة الأمامية			
		G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	0.76	0.71	0.60	0.56
	D2	0.68	0.66	0.51	0.49
	D3	0.60	0.61	0.41	0.42
T2	D1	0.67	0.63	0.52	0.47
	D2	0.55	0.54	0.38	0.37
	D3	0.41	0.36	0.23	0.18
T3	D1	0.70	0.67	0.55	0.52
	D2	0.62	0.61	0.45	0.44
	D3	0.45	0.39	0.27	0.21
T4	D1	0.64	0.58	0.48	0.42
	D2	0.51	0.47	0.34	0.30
	D3	0.24	0.18	0.17	0.12
T5	D1	0.54	0.52	0.39	0.36
	D2	0.44	0.35	0.27	0.18
	D3	0.15	0.10	0.11	0.08
RLSD (P<0.05)		0.034		0.033	

ونهاية موسم النمو بتحقيقها أعلى قيم لـ Ks التي بلغت بلغ 0.76 و 0.60 م يوم$^{-1}$ في بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2 X D3) أقل Ks التي بلغت 0.10 و0.08 م يوم$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب زيادة Ks لمعاملة التداخل (T1 X G1 X D1) إلى زيادة حجم التربة المفككة الام الذي يسهم في زيادة المسامية الكلية للتربة (جدول 15) وانخفاض كثافتها الظاهرية (جدول 10) الأمر الذي يحسن من حركة الماء خلال جسم التربة وهذا بدوره ينعكس إيجاباً في زيادة قيم Ks . وبصورة عامة تزداد قيم Ks لجميع معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في حالة انخفاض السرعة الأمامية عند أعماق التربة السطحية. إذ تفوقت معاملات التداخل (T1 X G1 X D1) و(T2 X G1 X D1) و(T3 X G1 X D1)

و(T4 X G1 X D1) و(T5 X G1 X D1) في زيادة قيم Ks قياساً مع معاملات الحراثة التداخل (T1 X G1 X D3) و(T2 X G1 X D3) و(T3 X G1 X D3) و(T4 X G1 X D3) و (T5 X G1 X D3) بنسبة 26.67 و63.41 و55.56 و166.67 و260.00% بداية الموسم على التوالي، في حين في نهاية موسم النمو كانت الزيادة بنسبة 42.86 و126.09 و103.70 و187.35 و245.55% على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Thuku (2018) و Burtan وآخرون (2020).

أظهرت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم نمو المحصول في الايصالية المائية المشبعة للتربة (Ks)، إذ يلاحظ من الشكل 54 أنَّ بداية موسم النمو حققت أعلى قيمة لـ Ks التي بلـــــغت 0.51 م يوم $^{-1}$، في حين انخفضت قيمة Ks نهاية موسم النمو وكانت بواقع 0.36 م يوم $^{-1}$، ويرجع السبب في ذلك إلى حركة دقائق التربة الناعمة مع تقدم موسم نمو المحصول بفعل تفكك الكتل الترابية خلال عمليات الري الأمر الذي يؤدي إلى ترسيب دقائق التربة في المسامات مما يغير من التوزيع الحجمي للمسامات، فضلاً عن فعل دورات الترطيب والتجفيف التي تسبب حركة الدقائق الناعمة وترسيبها في فراغات التربة المسامية مما يتسبب في غلق مسامات التربة الكبيرة والمتوسطة او تحولها إلى فراغات مسامية صغيرة تؤدي إلى التقليل من مسامية التربة الكلية الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيم Ks نهاية موسم النمو. وتتفق هذه النتيجة مع ما توصل إليه Aday وآخرون (2019) . إذ عللوا زيادة قيم Ks نهاية موسم النمو إلى زيادة تماسك التربة مع تقدم موسم النمو وتأثير عمليات الري في امتلاء وانسداد بعض مسامات التربة بدقائق التربة الناعمة مما يقلل من الايصالية المائية المشبعة للتربة.

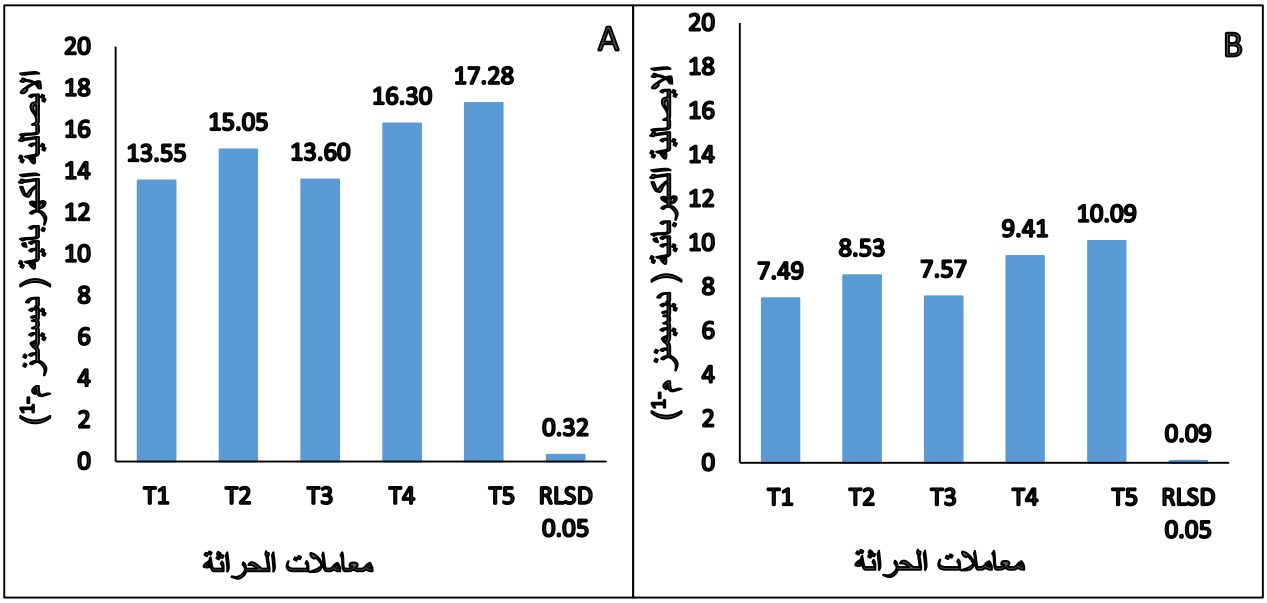


شكل (54) تأثير فترة موسم نمو المحصول في الايصالية المائية المشبعة للتـــــــربة (م يوم$^{-1}$).

4-2-7- الايصالية الكهربائية للتربة (EC) Electrical conductivity of soil (EC)

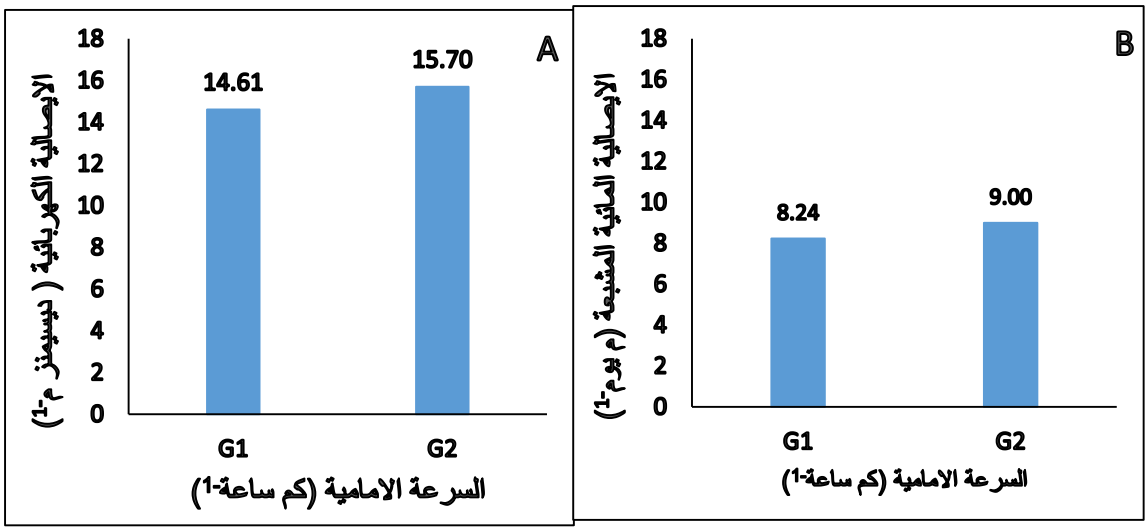
أظهرت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و20) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في الايصالية الكهربائية للتربة (EC) بداية ونهاية موسم النمو، إذ يلاحظ من الشكل 55 أنَّ معاملة الحراثة T1 تفوقت بتحقيقها أقل قيم لـ EC إذ كانت بواقع 13.55 و7.49 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتليها معاملة الحراثة T3 وبدون فرق معنوي التي سجلت EC مقدارها 13.60 و7.57 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة T5 أعلى EC التي بلغت 17.28 و10.09 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويعود سبب انخفاض قيم EC لمعاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 إلى تحسين بناء التربة (شكل 31) وخصائصها الفيزيائية كانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 35) وزيادة مساميتها (شكل 39) وزيادة الإيصالية المائية المشبعة (شكل 47) الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قابلية التربة على بزل الماء المحمل بالأملاح الأمر الذي ينعكس في انخفاض قيم EC لمعاملة الحراثة T1 قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى، في حين أنَّ طبيعة عمل آلة الحراثة المركبة T5 الناتج من التصميم الهندسي لها يسمح بتفكيك حجم محدود من التربة لكون عمق الحراثة في هذا التركيب من آلة الحراثة المركبة لايتجاوز 20 سم الأمر الذي يجعل التربة متماسكة عند العمق ومفتتة عند السطح وهذا يساعد على تجمع وانتشار الأملاح في المنطقة الجذرية الأمر الذي يساعد في زيادة تملح التربة نتيجة انخفاض بزل الماء الفائض وهذا بدوره يزيد من قيم EC لمعاملة الحراثة T5 بمقدار أكبر مقارنة مع معاملات الحراثة الأخرى. كما بينت النتائج أنَّ معاملة الحراثة T2 تفوقت على معاملة الحراثة T4 بخفض قيمة EC بنسبة 7.67 و11.25% بداية ونهاية الموسم على التوالي. كما تفوقت معاملة الحراثة T1 التي تمثل الحراثة العميقة على معاملة الحراثة T5 التي تمثل الحراثة السطحية في خفض قيم EC بنسبة 21.59 و25.77% بداية ونهاية الموسم على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Negis وأخرون (2022) إذ لاحظا أنَّ الحراثة العميقة باستعمال المحراث تحت سطح التربة بعمق 60 سم أدت إلى انخفاض قيم EC بنسبة 12.25% مقارنة مع الحراثة باستعمال المحراث الحفار الذي يعمل بعمق 15 سم. وارجعوا سبب

ذلك إلى زيادة تكسير وتفكيك كتل التربة مع العمق ومن ثَمَّ زيادة المسامات الكبيرة في جسم التربة التي تساعد على تحسن حركة الماء في جسم التربة وغسل الأملاح بعيدا عن المنطقة الجذرية للنبات.



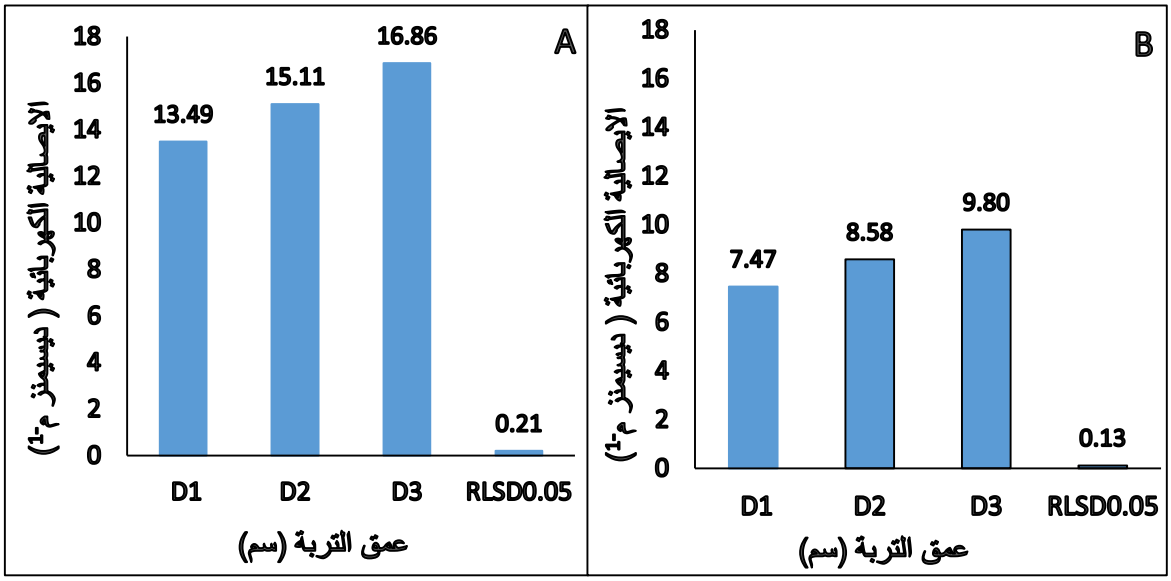
شكل (55) تأثير معاملات الحراثة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيمينز م$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

توضح النتائج المبينة في ملحق (19 و20) وجود تأثير عالي معنوية لعامل السرعة الأمامية في الايصالية الكهربائية للتربة (EC) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يبين الشكل 56 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ في تحقيقها أقل EC التي بلغت 14.61 و8.24 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية الموسم على التوالي ، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أعلى قيم EC التي بلغت 15.70 و9.00 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية الموسم على التوالي. ويعود سبب انخفاض EC مع السرعة الأمامية البطيئة إلى زيادة الفترة معدل الزمنية لتكون التشققات امام أسلحة المحراث نتيجة انخفاض السرعة الأمامية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تفكيك التربة ومن ثَمَّ وزيادة الفراغات المسامية بين كتل التربة مما ينعكس في زيادة المسامية الكلية للتربة (شكل 39) وانخفاض كثافتها الظاهرية (شكل 36) وهذا بدوره زاد من نفاذية التربة (شكل 46) وهذا بدوره يزيد من قابلية التربة على غسل الأملاح وبزلها مع مياه البزل مما ينعكس إيجاباً في انخفاض فيم EC.



شكل (56) تأثير السرعة الأمامية في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية (A) ونهاية (B) موسم النمو.

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F الموضحة في الملحقين (19 و 20)، وجود تأثير عالي المعنوية لعامل عمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (EC) بداية ونهاية موسم النمو، إذ انخفضت قيم EC مع انخفاض عمق التربة (شكل 57) وكان انخفاض EC لعمق التربة D1 سم قياساً بأعماق التربة D2 وD3 بنسبة 10.72 و19.99% عند بداية موسم النمو على التوالي، وبلغت نسبة الانخفاض نهاية موسم النمو 12.94 و23.78% على التوالي. ويعزى سبب انخفاض قيم EC مع انخفاض عمق التربة إلى زيادة غسل الأملاح من عمق التربة السطحي D1 وتجمعها في الأعماق تحت السطحية نتيجة عمليات الري التي يضاف معها زيادة بماء الري تبلغ 20% كمتطلبات غسل، فضلاً عن تحسن الخصائص الفيزيائية للعمق السطحي وهذا بدوره يجعل من عمق التربة السطـحي D1 أقل تملح من عمقي التربة D2 وD3. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Aday وآخرون (2018) إذ لاحظوا انخفاض قيم EC بنسبة 36.14% عند عمق التربة من 0–10سم قياساً بعمق التربة الكبير 50–60 سم.



شكل (57) تأثير عمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية موسم النمو (A) ونهاية (B) .

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في الملحق (19 و20) أنَّ للتداخل الثنائي بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة وعمق التربة تأثيراً عالي المعنوية في الايصالية الكهربائية للتربة (EC) بداية ونهاية موسم النمو. إذ يلاحظ من الجدول 24 أنَّ معاملة التداخل (T1 X D1) حققت أقل EC التي بلغت 12.16 و6.52 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، وتليه معاملة التداخل (T3 X D1) التي سجلت قيم للـ EC إذ بلغت 11.86 و6.44 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي، ولم يوجد فرق معنوي معاملتي التداخل (T1 X D1) و(T3 X D1) في نهاية موسم النمو. في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X D3) أعلى EC التي بلغت 19.03 و11.32 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. ويرجع السبب إلى دور معاملة الحراثة T1 في تفكيك حجم كبير من التربة لكون المحراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 60 سم، فضلاً عن تحسن خصائص التربة الفيزيائية الأمر الذي ينعكس في وزيادة بزل الماء المحمل بالأملاح من الأعماق السطحية إلى طبقات التربة التحتية وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض قيم EC لمعاملة التداخل (T1 X D1)، على عكس من معاملة التداخل (T5 X D3) التي فيها آلة الحراثة المركبة تفكك حجم أقل من التربة، كونها لاتحتوي على المحراث تحت سطح التربة وهذا بدوره يؤدي إلى تدهور خصائص التربة لعمق التربة D3 مثل انخفاض قيم معدل القط الموزون

(جدول 6) وارتفاع الكثافة الظاهرية للتربة (جدول 11) وانخفاض مساميتها (جدول 13) ونفإذيتها (جدول 21) الأمر الذي يقلل من قابلية التربة على بزل الأملاح وتركيزها في طبقات التربة التحتية وهذا بدوره ينعكس سلبا على قيم EC. كما بينت النتائج أنَّ تركيب آلة الحراثة المركبة المزود بالمحراث تحت سطح التربة يعمل بعمق 60 سم تؤدي إلى تقليل قيم EC، فعلى سبيل المثال أنَّ معاملات التداخل (T1 X D1) و(T3 X D1) قللت من قيم EC مقارنة مع معاملة التداخل (T5 X D1) بنسبة 21.75 و23.68% بداية موسم النمو على التوالي، وبلغت النسبة نهاية موسم النمو 26.58 و27.48% على التوالي. وتتفق هذه النتائج مع Negis وأخرون (2022) إذ توصلا عند استعمال آلة حراثة مركبة إلى ارتفاع قيم EC عند عمق التربة الكبير (20–40 سم) قياساً بعمق التربة السطحي (0–20 سم) بنسبة 2.83% ، وارجعا سبب زيادة EC إلى تدهور معظم خصائص التربة الفيزيائية عند عمق التربة الكبير.

جدول (24) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في الإيصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)
T1	12.16	13.4	15.08	6.52	7.38	8.56
T2	13.32	15.03	16.8	7.32	8.52	9.76
T3	11.86	13.58	15.35	6.44	7.51	8.74
T4	14.56	16.28	18.05	8.20	9.40	10.63
T5	15.54	17.26	19.03	8.88	10.08	11.32
RLSD 0.05	0.210			0.200		

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F (ملحق 19 و20) وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثنائي بين عاملي السرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (EC). إذ يبين جدول 25 انخفاض قيم الايصالية الكهربائية للتربة عند السرعة الأمامية البطيئة وعمق التربة السطحي، إذ سجلت معاملة التداخل الثنائي (G1 X D1) أقل EC التي بلغت 12.77 و6.99 ديسيسمنز م$^{-1}$ بداية ونهاية موسم النمو على التوالي. وتفوقت هذه المعاملة في خفض EC بنسبة 10.13 و12.47

و18.30 و22.42 و26.01% قياساً بالمعاملات الأخرى (G1 X D2) و(G1 X D3) و (G2 X D1) و(G2 X D2) و(G2 X D2) عند بداية موسم النمو. أما عند نهاية موسم النمو فقد تفوقت في خفض EC بنسبة 12.08 و14.86 و21.18 و26.58 و30.65 قياساً بمعاملات الحراثة المذكورة على التوالي. ويعزى تفوق معاملة التداخل (G1 X D1) في تحقيقها أقل EC قياساً بمعاملات التداخل الأخرى إلى دور السرعة الأمامية البطيئة في زيادة مسامية التربة (جدول 13) وانخفاض كثافتها الظاهرية (جدول 9) وتحسن إيصاليها المائية (جدول 20)، فضلاً عن احتواء الطبقة السطحية من التربة على النسبة الاكبر من المادة العضوية قياساً مع أعماق التربة التحتية الأمر الذي ينعكس في تحسين بناء التربة عند السطح وهذا التأثير المشترك ينعكس بدوره إيجاباً في تحسن قدرة التربة على بزل المياه الفائضة وغسل أكبر كمية من الأملاح الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيم EC. وتتفق هذة النتائج مع Kakahy وآخرون (2021) إذ توصلوا إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 2.86 إلى 1.72 كم ساعة$^{-1}$ عند عمق التربة السطحي (0–10) أدت إلى خفض EC بنسبة 7.51%، وعزوا سبب انخفاض EC إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية الأمر الذي انعكس على زيادة بزل الماء وغسل الأملاح مما أدى إلى انخفاض EC.

جدول (25) تأثير التداخل بين السرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة في بداية ونهاية الموسم

بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم			السرعة الأمامية
عمـــــــق التربـــــــة						
D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	
12.77	14.59	16.46	6.99	8.21	9.52	G1
14.21	15.63	17.26	7.95	8.94	10.08	G2
0.320			0.210			RLSD 0.05

بينت نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F (ملحق 19 و20) وجود تأثير عالي المعنوية للتداخل الثلاثي بين عوامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (EC) في بداية موسم النمو في حين لم يكون هناك تأثير معنوي للتداخل الثلاثي عند

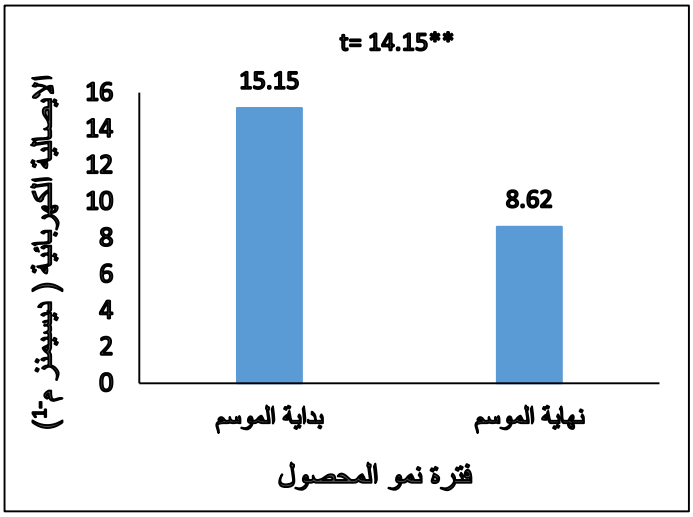
نهاية موسم النمو (ملحق 29)، إذ يلاحظ من جدول 26 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) في بداية موسم النمو تفوقت معنوياً على معاملات الحراثة الأخرى بتحقيقها أقل EC إذ بلغت 6.90 ديسيسمنز م$^{-1}$، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G3 X D3) أعلى EC التي بلغت 14.43 ديسيسمنز م$^{-1}$. ويعود سبب تحقيق معاملة التداخل (T1 X G1 X D1) أقل EC إلى دور آلة الحراثة المركبة (معاملة الحراثة T1) في وتفكيك حجم كبير من التربة بالعمق الأمر الذي ينعكس في زيادة المسامية الكلية للتربة (جدول 14) وانخفاض كثافتها الظاهرية (جدول 10) وتحسن نفاذية التربة (جدول 21)، فضلاً عن دور عمق التربة السطحي الذي يحتوي على النسبة الأعلى من المادة العضوية مما يحسن بناء التربة وزيادة معدل القطر الموزون (جدول 6) وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة

جدول (26) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية وعمق التربة في الايصـــــــالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) بداية موسم النمو

معاملات الحراثة	عمق التربة	بداية الموسم	
		السرعة الأمامية	
		G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	11.9	12.43
	D2	12.93	13.88
	D3	14.69	15.48
T2	D1	12.48	14.15
	D2	14.5	15.56
	D3	16.4	17.2
T3	D1	11.03	12.7
	D2	13.05	14.11
	D3	14.95	15.75
T4	D1	13.73	15.4
	D2	15.75	16.81
	D3	17.65	18.45
T5	D1	14.71	16.38
	D2	16.73	17.79
	D3	18.63	19.43
RLSD 0.05		0.503	

نفاذية التربة مما ينعكس إيجاباً في زيادة غسل الأملاح من جسم التربة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض قيم EC ، في حين لم يصل تأثير آلة الحراثة المركبة T5 إلى عمق التربة الكبير D3 الأمر الذي يؤدي إلى بقاء التربة غير محروثة ومتماسكة عند العمق وهذا بدوره يؤدي إلى انخفاض حجم التربة المفككة ومن ثَمَّ زيادة كثافتها الظاهرية، فضلاً عن أنَّ الضغط المسلط على الطبقات السفلى للتربة من قبل طبقات التربة العليا نتج عنهُ زيادة في رص التربة وهذا بدوره يقلل من نفاذية التربة الأمر الذي يؤدي إلى تراكم الأملاح في جسم التربة مما ينعكس سلباً في زيادة قيم EC لمعاملة التداخل (T5 X G2 X D3) . وتتفق هذه النتائج مع Abbaspour-Gilandeh وآخرون (2016).

أظهرت نتائج اختبار t المبينة في الملحق (21) وجود تأثير عالي المعنوية لفترة موسم النمو في الايصالية الكهربائية للتربة (EC)، إذ يلاحظ من الشكل 58 أنَّ نهاية موسم النمو حققت أقل قيمة لـ EC التي بلغت 8.62 ديسيسمنز م$^{-1}$ ، في حين ارتفعت EC في بداية موسم النمو إذ بلغت 15.15 ديسيسمنز م$^{-1}$، أي انخفضت EC بنسبة 43.10%. ويعزى سبب ذلك إلى زيادة معدلات التبخر نتيجة ارتفاع درجات الحرارة بدأيه موسم النمو قياساً مع نهاية الموسم الأمر الذي زاد من تجمع الأملاح في التربة ومن ثَمَّ زيادة قيم EC، كما أنَّ استمرار عمليات الري واضافه متطلبات الغسل المستمره اثناء فتره نمو النبات الأمر الذي يساعد على غسل الأملاح مع مرور الزمن خصوصاً مع انخفاض درجات الحرارة خلال فتره نهاية الموسم الأمر الذي قلل من تجمع الأملاح ومن ثَمَّ انخفاض قيم EC. وتتفق هذه النتائج مع Aday وآخرون (2018).



شكل (58) تأثير فترة موسم النمو في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيمنز م$^{-1}$).

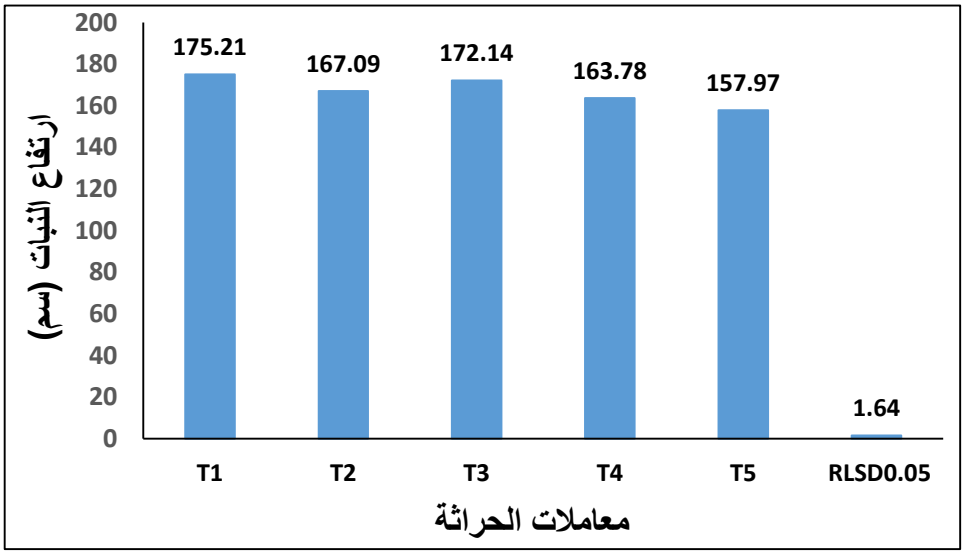
توضح نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في (ملحق 19 و20) عدم وحدود فرق معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في قيم الايصالية الكهربائية للتربة (EC) بداية ونهاية موسم النمو (ملحق 25)

4-3- مؤشرات نمو نبات الذرة الصفراء Maize plant growth parameters

4-3- 1- ارتفاع النبات plant height

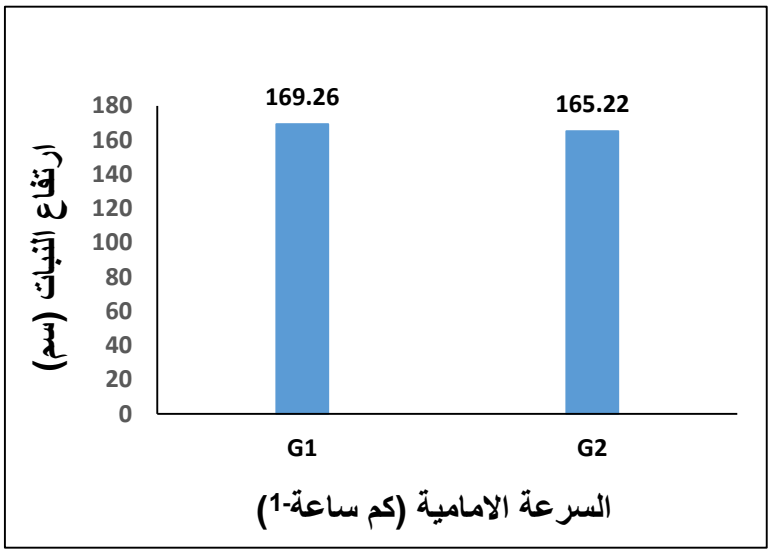
أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في ارتفاع النبات، إذ يلاحظ من الشكل 59 أنَّ معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 تفوقت في تحقيقها أعلى ارتفاع للنبات الذي بلغ 175.21 سم، تليها معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T3 إذ سجلت ارتفاع نبات مقدارة 172.14 سم، كما سجلت معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T2 وT4 قيم وسطية لارتفاع النبات التي بلغت 167.09 و163.78 سم على التوالي. في حين سجلت معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T5 أقل ارتفاع للنبات إذ كانت 157.97 سم. ويعود سبب تفوق معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 وT3 في تحقيقها أعلى ارتفاع للنبات مقارنة مع معاملات الحراثة الأخرى نتيجة وجود المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم ومالة من دور في تفكيك طبقة التربة التحتية الأمر الذي يؤدي إلى تحسين خصائص التربة الفيزيائية كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) وانخفاض الكثافة الظاهرية (شكل 35) وزيادة والمسامية (شكل 39) والايصالية المائية المشبعة (شكل 47) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (شكل 55) مما ينعكس إيجاباً في تهيئة الظروف الملائمة لنمو المحصول، فضلاً عن أنَّ الحراثة العميقة لها دور إيجابي في زيادة انشار وتعمق الجذور في التربة وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة امتصاص الماء والعناصر الغذائية المخزونة في التربة وتحسين نمو النبات ومن ثَمَّ زيادة ارتفاع النبات (Wasaya واخرون، 2012). وهذا يتفق مع ما توصل اليه Ramadhan (2021) إذ وجد أنَّ الحراثة العميقة تفوقت بتسجيلها أعلى ارتفاع لنبات الذرة الصفراء بنسبة زيادة بلغت 12.06% قياساً بالحراثة السطحية، وعزا سبب زيادة ارتفاع النبات إلى دور الحراثة العميقة الإيجابي في تحسن خصائص التربة كتقليل الكثافة الظاهرية ومقاومة التربة للاختراق

الأمر الذي أدى إلى تحسن الظروف الملائمة لانتشار الجذور ونمو النبات مما انعكس إيجاباً في ارتفاع النبات.



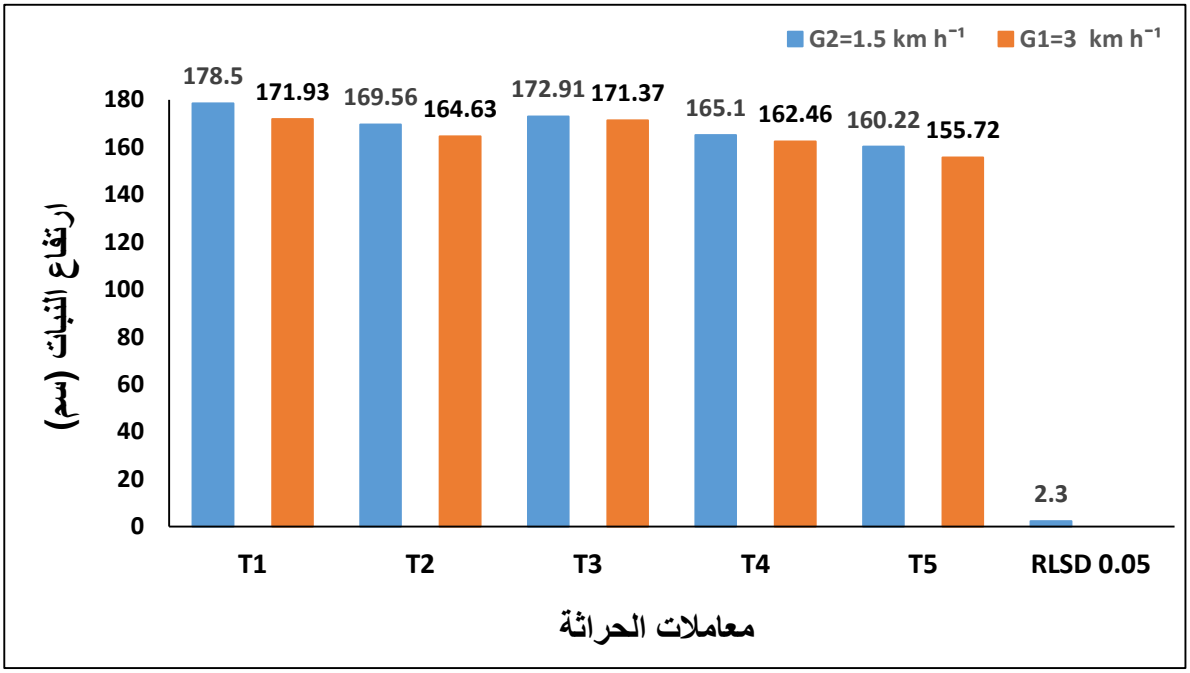
شكل (59) تأثير معاملات الحراثة في ارتفاع النبات (سم).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في قيم ارتفاع النبات. إذ يبين الشكل 60 تفوق السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ على السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ في زيادة ارتفاع النبات من 165.22 إلى 169.26 سم أي بنسبة زيادة بلغت 2.44%. ويعود السبب في ذلك إلى أنَّ انخفاض السرعة الأمامية ساعد في تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 32) وانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 36) ومقاومتها للاختراق (شكل 48) وايصاليتها الكهربائية (شكل 54) مما يحسن من انتشار جذور النبات وامتصاص العناصر الغذائية المتوفرة في التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نمو وارتفاع النبات (Zhang واخرون، 2015). وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه Amer و Jebur (2021) إذ وجدا أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 3.14 إلى 2.06 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة ارتفاع النبات لنبات الحنطة بنسبة 7.51%. وعزا السبب إلى تحسن خصائص التربة مع انخفاض السرعة الأمامية وهذا أدى إلى زيادة نمو النبات وارتفاعه.



شكل (60) تأثير السرعة الأمامية في ارتفاع النبات (سم).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير معنوي للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في ارتفاع النبات. إذ يلاحظ من الشكل 61 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1) حققت أعلى ارتفاع للنبات الذي بلغ 178.50 سم وبدون فارق معنوي مع معاملة التداخل (T3 X G1) التي سجلت ارتفاع للنبات كان بواقع 172.91 سم، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل ارتفاع للنبات الذي بلغ 155.72 سم. كما سجلت معاملتي التداخل (T2 X G1) و(T4 X G1) قيم وسطية لارتفاع النبات كانت بواقع 169.56 و162.46 سم على التوالي. أنَّ سبب اختلاف ارتفاع النبات يعود إلى اختلاف تراكيب الة الحراثة من حيث التصميم الهندسي وطريقة اعداد مهد البذرة فتراكيب الحراثة التي تتضمن المحراث تحت سطح التربة خصوصاً التي تعمل على عمق كبير (60 سم) والسرعة الأمامية البطيئة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ تلعب دوراً ايجابياً في تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (جدول 2) وانخفاض كثافة التربة الظاهرية (جدول 5) وزيادة مساميتها (جدول 9) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (جدول 22) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة نمو وارتفاع النبات. وتتفق هذة النتائج مع ما توصل إليه Abagandura وآخرون (2017) إذ وجدوا أنَّ الحراثة العميقة حققت أعلى ارتفاع نبات للذرة الصفراء الذي بلغ 179 سم، في حين سجلت الحراثة السطحية والسرعة الأمامية العالية أقل ارتفاع للنبات الذي بلغ 152 سم. كما يلاحظ من النتائج عدم وجود فرق معنوي بين معاملتي حراثة (T2 X G1) و(T4 X G2) .

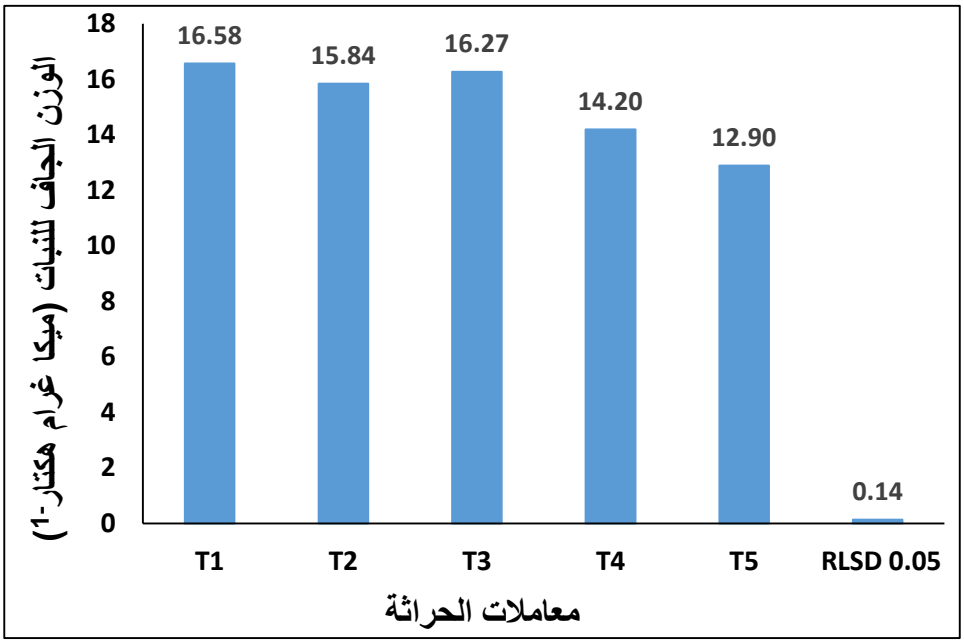


شكل (61) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في ارتفاع النبات (سم).

4-3- 2- الوزن الجاف للنبات Dry weight of plant

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثيراً عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في الوزن الجاف للنبات، إذ يلاحظ من الشكل 62 أنَّ معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 تفوقت في تحقيقها أعلى معدل وزن الجاف للنبات إذ بلغ 16.58 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ ، تليها معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T3 التي سجلت وزن جاف للنبات كان بواقع 16.27 ميكا غرام هكتار$^{-1}$، كما سجلت معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T2 وT4 قيم وسطية للوزن الجاف للنبات التي بلغت 15.84 و14.20 14.20 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ على التوالي. في حين سجلت معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T5 أقل وزن جاف إذ بلغ 12.90 ميكا غرام هكتار$^{-1}$. ويعود سبب تفوق معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 في تحقيقها أعلى وزن جاف للنبات مقارنة مع معاملات الحراثة الأخرى إلى دورها في تحسين معظم خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) وانخفاض الكثافة الظاهرية (شكل 35) وزيادة والمسامية (شكل 39) والايصالية المائية المشبعة (شكل 47) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (شكل 55) مما ينعكس إيجاباً في وتهيئة الظروف

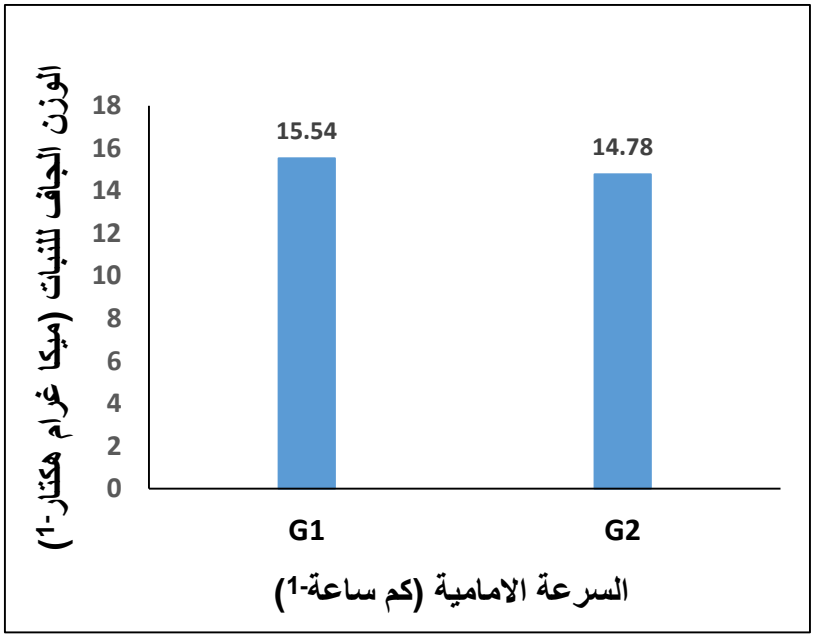
الملائمة لنمو وانتشار جذور النبات وزيادة قابليته على امتصاص المياه والعناصر الغذائية المخزونة في التربة الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة نمو النبات الخضري ومن ثَّمَّ زيادة كمية المادة الجافة (Wasaya واخرون، 2012). وهذه النتائج مع تتفق مع عداي وآخرون (2016) الذين توصلوا إلى أنَّ الحراثة العميقة أدت إلى زيادة الوزن الجاف للنبات بنسبة 19.15% مقارنة مع الحراثة التقليدية، وعزوا السبب إلى زيادة تفكيك التربة في العمق مما حسن من صفات التربة الأمر الذي اسهم في انتشار جذور نبات الذرة الصفراء والاستفادة أكثر من العناصر الغذائية المتوفرة في التربة.



شكل (62) تأثير معاملات الحراثة في الوزن الجاف للنبات (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (25) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في الوزن الجاف، إذ يلاحظ من الشكل 63 أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 3 إلى 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة الوزن الجاف لمحصول الذرة الصفراء من 14.78 إلى 15.54 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ أي بنسبة زيادة بلغت 5.14%. ويعود سبب تفوق السرعة الأمامية البطيئة (1.5 كم ساعة$^{-1}$) إلى دورها في تحسن خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية الأمر الذي يساعد على انتشار وتغلغل جذور النبات في طبقة التربة ومن ثَّمَّ زيادة قابليتها على امتصاص العناصر الغذائية المتوافرة في التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نمو النبات ووزنه الجاف (Zhang واخرون، 2015). وتتفق

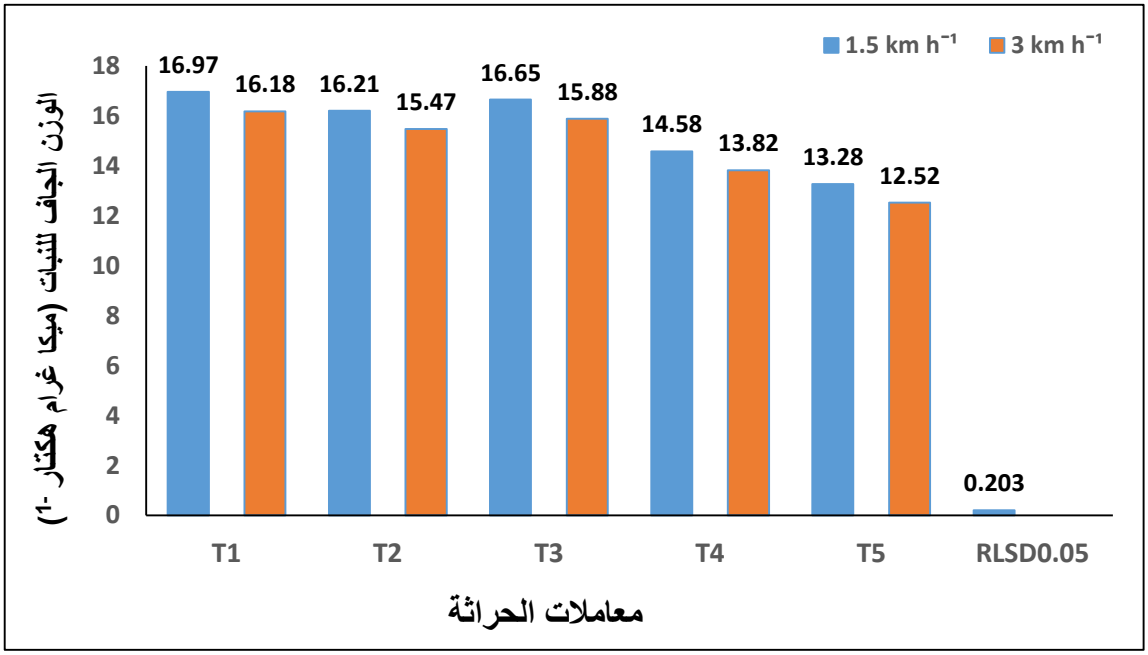
هذه النتائج مع ما توصل إليه ياغي (2015) إذ وجد أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 7.5 إلى 5 كم ساعة$^{-1}$ أدىٰ إلى زيادة الوزن الجاف لنبات الشعير بنسبة 31.50%.



شكل (63) تأثير السرعة الأمامية في الوزن الجاف للنبات (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير معنوي للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في الوزن الجاف للنبات. إذ يلاحظ من الشكل 64 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1) تفوقت بتحققها أعلى وزن جاف للنبات الذي بلغ 16.97 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ وتليها معاملة التداخل (T3 X G1) بتسجيلها ثاني أعلى وزن جاف للنبات الذي بلغ 16.65 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ ، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل وزن جاف للنبات الذي بلغ 12.52 ميكا غرام هكتار$^{-1}$. كما سجلت معاملتي التداخل (T2 X G1) و(T4 X G1) قيم وسطية للوزن الجاف للنبات إذ كانت بواقع 169.56 و162.46 سم على التوالي. أنَّ سبب زيادة الوزن الجاف للنبات لمعاملتي التداخل (T1 X G1) و(T3 X G1) يعود إلى وجود المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 60 سم في المعاملتين T1 وT3 وتأثير السرعة الأمامية البطيئة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ إذ أدى التداخل بين هذين العاملين دوراً ايجابياً في تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (جدول 4) وانخفاض كثافة التربة الظاهرية (جدول 7) وزيادة مساميتها (جدول 11) وزيادة الايصالية المائية المشبعة (جدول 17) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (جدول 24) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة نمو وارتفاع النبات (شكل 56) ومن ثَمَّ زيادة

الوزن الجاف للنبات. تتفق هذة النتائج مع الساعدي (2013) إذ توصل إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة باستعمال المحراث الحفار من 4.75 إلى 2.34 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة الوزن الجاف بنسبة 11.76% . وعزا السبب إلى أنَّ استعمال المحراث الحفار وانخفاض سرعة الحراثة أدى إلى تحسن خصائص التربة الفيزيائية من تفكيك التربة وزيادة مساميتها وانخفاض كثافتها الظاهرية وهذا ساعد على تحسن ظروف نمو النبات ومن ثَّمَّ زيادة الوزون الجاف للنبات. كما يلاحظ من النتائج عدم وجود فرق معنوي بين معاملتي حراثة (T1 X G1) و(T2 X G2) .

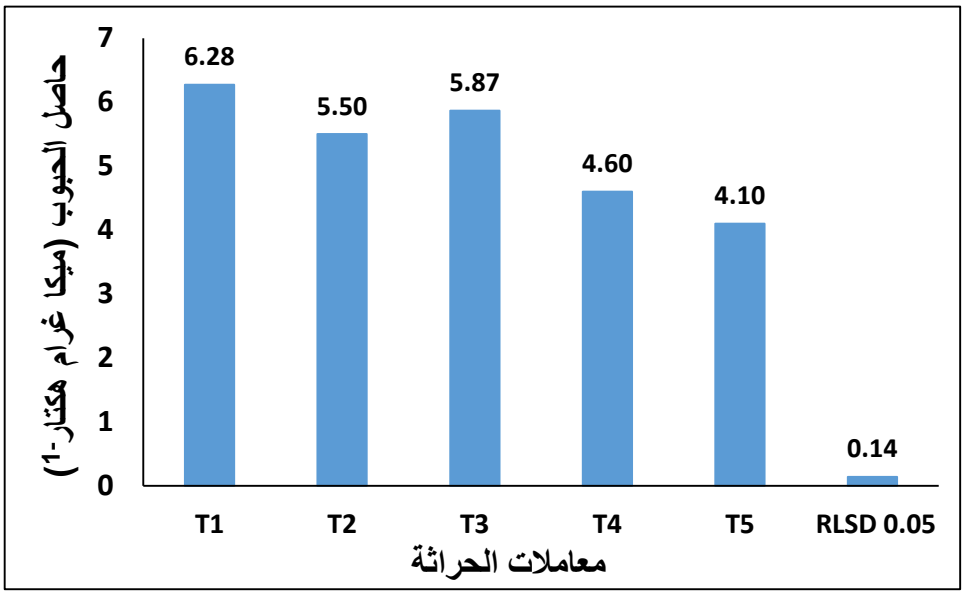


شكل (64) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في الوزون الجاف للنبات

4-3-3- حاصل الحبوب Grain yield

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير عالي المعنوية لمعاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في حاصل الحبوب، إذ يلاحظ من الشكل 65 أنَّ معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 تفوقت في تحقيقها أعلى حاصل الحبوب إذ بلغ 6.2 ميكا غرام هكتار$^{-1}$، تليها معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T3 إذ سجلت حاصل حبوب مقدارة 5.87 ميكا غرام هكتار$^{-1}$، كما سجلت معاملتي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T2 وT4 قيم وسطية لحاصل الحبوب وكانت بواقع 5.50 و4.60 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ على التوالي، في حين سجلت معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T5 أقل حاصل إذ بلغ 4.10 ميكاغرام هكتار$^{-1}$.

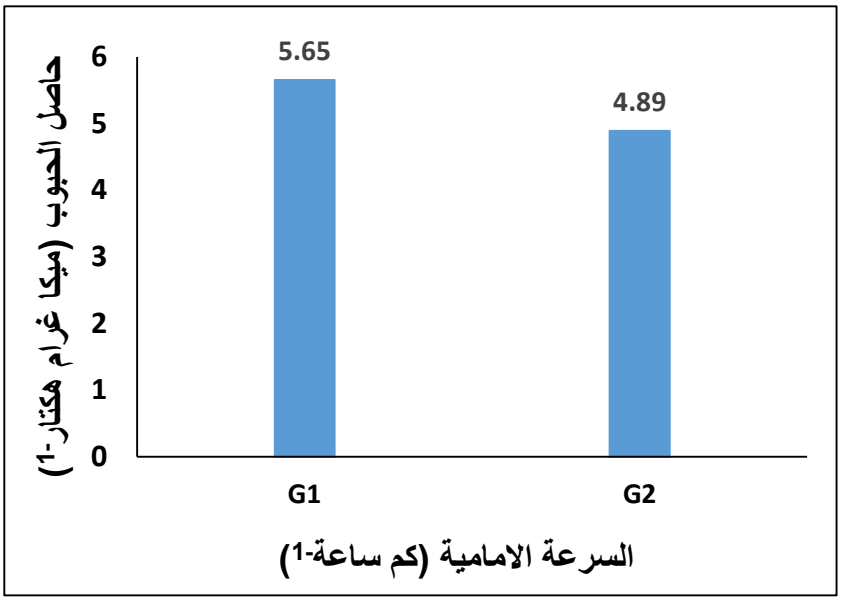
كما بينت النتائج أنَّ معاملة الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 أدت إلى زيادة حاصل الحبوب بنسبة 14.18 و7.02 و36.52 و53.17% ميكا غرام هكتار$^{-1}$ قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى T2 وT3 وT4 وT5 ، كما سجلت معاملة الحراثة T3 زيادة في حاصل الحبوب قياساً بمعاملات الحراثة الأخرى T2 وT4 وT5 بنسبة 6.73 و27.27 و43.17%. أنَّ زيادة حاصل حبوب مع استخدام اله الحراثة المركبة T1 هي نتيجة نهائية لتحسن نمو النبات نتيجة دور الاله المركبة T1 في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة مقارنه مع معاملات الحراثة الأخرى، إذ يلاحظ من النتائج السابقة أنَّ التغيرات في حاصل الحبوب جاءت مماثله مع التغييرات في ارتفاع النبات (شكل 57) والوزن الجاف للنبات (شكل 62) تحت تأثير معامله الحراثة T1 ليعزز ذلك تفوقها في زيادة حاصل الحبوب، وتتفق هذه النتائج مع Suliman وElamin (2021) إذ وتوصلا إلى أنَّ استعمال المحراث المركب أدى إلى زيادة حاصل حبوب الذرة الصفراء بنسبة 21.43% مقارنة مع استعمال المحراث الحفار.



شكل (65) تأثير معاملات الحراثة في حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (25) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في حاصل الحبوب، إذ يبين الشكل 66 أنَّ انخفاض السرعة الأمامية من 3 إلى 1.5 كم ساعة$^{-1}$ أدى إلى زيادة حاصل الحبوب من 4.89 إلى 5.65 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ أي بنسبة زيادة بلغت 15.61%. ويعود السبب في ذلك إلى إلى تحسن خواص التربة الفيزيائية والكيميائية مع السرعة

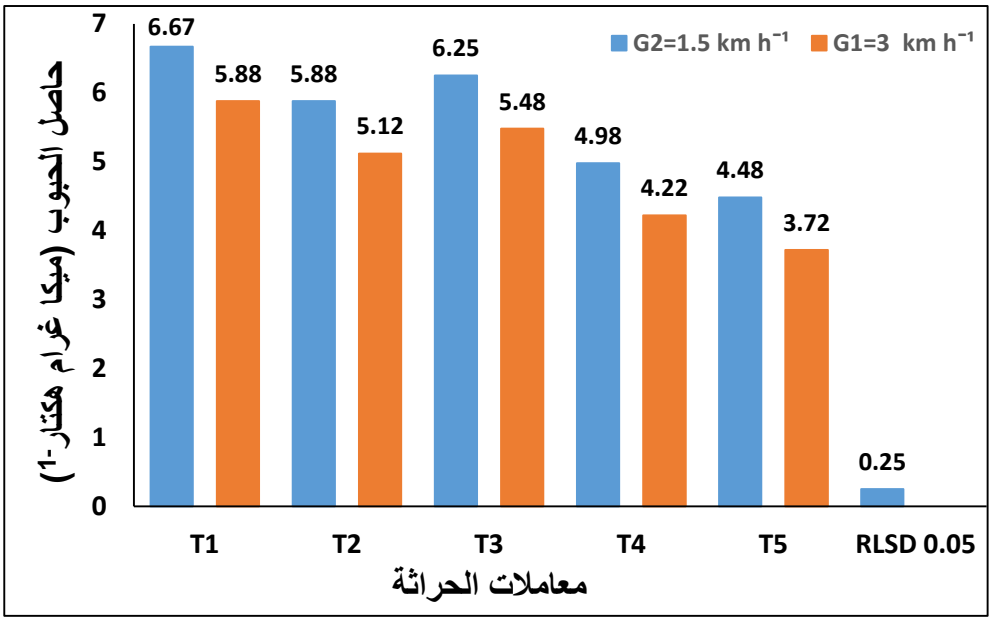
الأمامية البطيئة ومن ثَمَّ زيادة ارتفاع النبات (شكل 58) ووزنه الجاف (شكل 60) الأمر الذي ينعكس في زيادة حاصل الحبوب. وتتفق هذه النتائج مع ما توصل Abagandura وآخرون (2017) إذ توصلوا إلى أنَّ نظام الحراثة التقليدية بالمحراث الحفار بسرعة أمامية 3.6 كم ساعة$^{-1}$ تفوق على نظام الحراثة الدنيا بالمشط الحفار بسرعة 4 كم ساعة$^{-1}$ في زيادة حاصل حبوب الذرة الصفراء بنسبة 51.21%، وارجعوا السبب إلى أنَّ انخفاض سرعة عملية الحراثة ساعدت في تحسن خواص التربة الفيزيائية من تفكيك التربة وزيادة مساميتها وانخفاض كثافتها الظاهرية وهذا ساعد على تحسن ظروف نمو النبات وزيادة حاصل الحبوب.



شكل (66) تأثير السرعة الأمامية في حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (30) وجود تأثير معنوي للتداخل بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في حاصل الحبوب، إذ يلاحظ من الشكل 67 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1) تفوقت بتحققها أعلى حاصل حبوب الذي بلغ 6.76 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ وتليها معاملة التداخل (T3 X G1) بتسجيلها ثاني أعلى حاصل للحبوب الذي بلغ 6.25 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ ، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل حاصل حبوب إذ بلغ 3.72 ميكا غرام هكتار$^{-1}$. كما يلاحظ من النتائج أنَّ معاملات التداخل المتضمنة المحراث تحت سطح التربة تفوقت بزيادة حاصل الحبوب قياساً بمعاملات التداخل التي لا تتضمن المحراث تحت سطح التربة، فعلى سبيل المثال تفوقت معاملات التداخل (T1 X G1) و(T2 X G1) و(T3

X G1) و(T4 X G1) على معاملة التداخل (T5 X G1) بزيادة حاصل الحبوب بنسبة 48.88 و31.25 و39.51 و11.16% على التوالي. أنَّ سبب زيادة حاصل الحبوب لمعاملات الحراثة يعود إلى وجود المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم او 60 سم وتأثير السرعة الأمامية البطيئة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ إذ أدى التداخل بين هذين العاملين دوراً ايجابياً في تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (جدول 4) وانخفاض كثافة التربة الظاهرية (جدول 7) وزيادة مساميتها (جدول 11) وزيادة الايصالية المائية المشبعة (جدول 20) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (جدول 24) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة نمو وارتفاع النبات (شكل 61) وزيادة الوزن الجاف للنبات (شكل 64) ومن ثَمَّ زيادة حاصل الحبوب. Amer و Jebur (2021) إذ توصلا عند استعمال ألة حراثة مركبة بثلاثة سرعات امامية 2.06 و2.85 و3.14 كم ساعة$^{-1}$، إلى أنَّ انخفاض سرعة الحراثة من 3.14 إلى 2.06 كم ساعة$^{-1}$ أدت إلى زيادة حاصل الحبوب لمحصول الحنطة بنسبة 51.84%.



شكل (67) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في حاصل الحبوب

4-4- المؤشرات الاقتصادية EConomic indicators

حسبت الجدوى الاقتصادية لاستعمال آلة الحراثة المركبة لكل تركيب من حساب التكاليف الكلية لإنتاج محصول الذرة الصفراء للهكتار الواحد وطرحها من العائد الإجمالي الذي حسب على أساس سعر الطن

الواحد من حبوب الذرة الصفراء (550000 دينار ميكا غرام$^{-1}$) وسعر الطن الواحد من السيقان (45000 دينار ميكا غرام $^{-1}$) (وزراه الزراعة شركة ما بين النهرين العامة للبذور احدى شركات وزارة الزراعة في 11 تشرين الثاني 2021). حسبت التكاليف الكلية للوحدة الميكنية من جمع التكاليف الثابتة والمتغيرة للجرار (ملحق 26) مع التكاليف الثابت والمتغيرة لكل تركيب من آلة الحراثة المركبة (ملحق 27) ومن ثَمَّ جمعت التكاليف الكلية للوحدة الميكنية مع التكاليف المتغيرة للإنتاج (جدول 27) وهي ثابتة المقدار لكل معاملات الحراثة عند حساب التكاليف الكلية لإنتاج هكتار واحد من محصول الذرة الصفراء، فضلاً عن حساب نسبة الفائدة (Benefit–cost ratio) كمؤشر اقتصادي التي تعتمد على نسبة الأرباح التي تم تحقيقها إلى التكاليف الكلية (معادلة 40).

جدول (27) تكاليف الإنتاج المتغيرة لمعاملة آلة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$) .

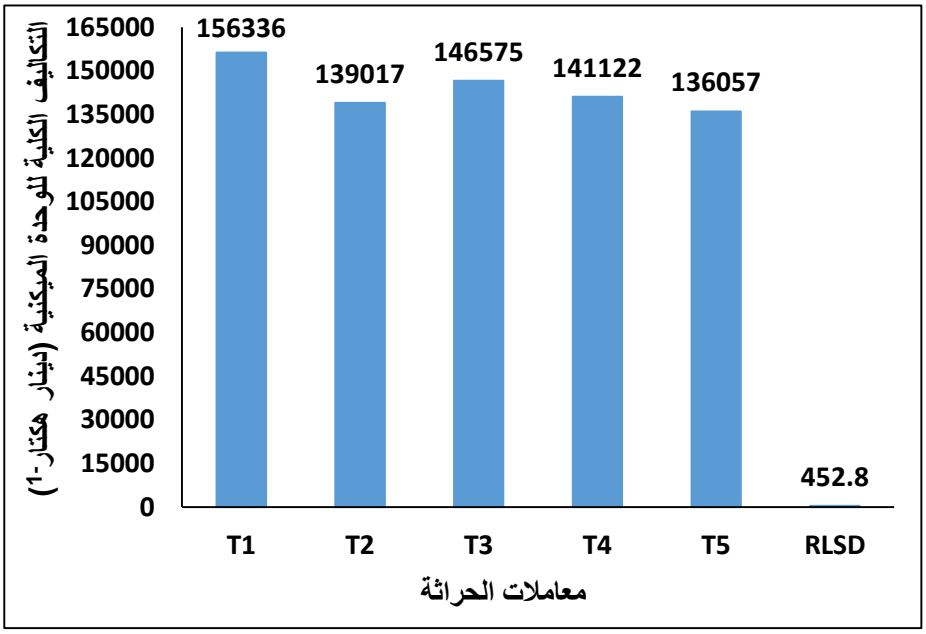
مفردات الإنتاج المتغيرة	التكلفة (دينار هكتار$^{-1}$)
بذور	150000
اسمدة	620000
ري	250000
حصاد	90000
مبيدات	40000
متفرقة	100000
مجموع تكاليف الإنتاج المتغيرة	1250000

4-4-1- التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج

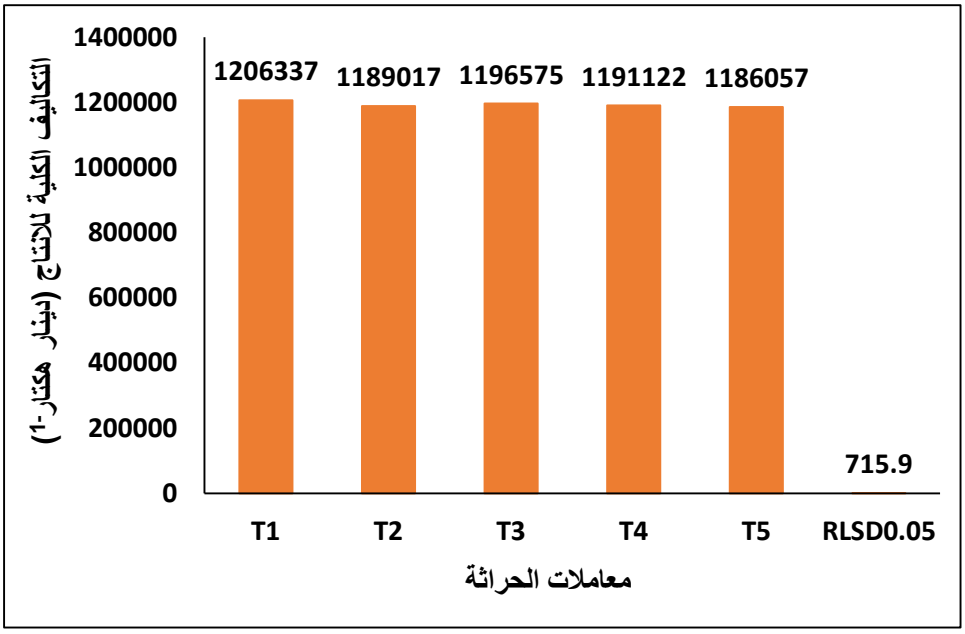
Total costs per unit of machinery and total costs of production

أظهرت نتائج التحليل الاحصـــائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باســـتعمال آلة الحراثة المركبة في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج. إذ يلاحظ من الشـكلين 68 و69 تفوق معاملة T5 في تسـجيل أقل التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج التي بلغت 136057 و1186057 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، في حين ســـجلت معاملات الحراثة الأخرى T4 و T3 و T2 و T1 تكاليف كلية للوحدة الميكنية أعلى إذ بلغت 141122 و 146575 و 139017 و 156336 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، كما

ســـجلت أعلى تكـاليف اجمـاليـة للإنتـاج وكـانـت بواقع 1191122 و1196575 و1189017 و1206337 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي. ويعود السـبب إلى اختلاف تراكيب آلة الحراثة المركبة إذ كلما زاد عدد الأجزاء المضافة إلى آلة الحراثة المركبة زادت متطلبات الطاقة ومعدل استهلاك الوقود (شـكل 24) والزيوت اللازمة لتشـغيل الجرار مما زاد من التكاليف المتغيرة، فضـلاً عن قيمة الالة السوقية واندثارها السنوي سيزداد مع زيادة الأجزاء المضـافة لآلة الحراثة المركبة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة التكاليف الثابتة للألة ومن ثَمَّ زيادة تكاليف الإنتاج الكلية حسب معادلة 37 (Afshar و Dekamin 2022). فعلى سـبيل المثال T1 التي تتكون من المحراث تحت سـطح التربة ومحراث حفار ومشط قرصي وحادلة زادت من التكاليف الكلية للإنتاج بمقدار 20280 دينار هكتار$^{-1}$ مقارنة مع T5 التي تتكون من محراث حفار ومشـط قرصـي فقط، وعلى الرغم من وجود اختلافات معنوية بين معاملات الحراثة إلا أنَّ الفرق كان طفيفاً في التكاليف الكلية للإنتاج، إذ زادت التكاليف الكلية للإنتاج بمقدار طفيف لمعاملات الحراثة T4 و T3 و T2 قياســاً مع T5 بلغ 2960 و10518 و5065 دينار هكتار$^{-1}$ ، هذه النتائج تجعل من الممكن اسـتعمال أي تركيب من تراكيب ألة الحراثة المركبة نظراً للفروق الطفيفة في التكـاليف الكليـة للإنتـاج بين معـاملات الحراثـة المركبـة بمـا يلائم ظروف التربة وطريقة اعداد مهد البذرة للزراعة. كما أنَّ زيادة الأجزاء للألة المركبة كما هو الحال لتراكيب الة الحراثة المركبة T1 وT2 التي لها نفس التركيب الا انها تختلف بالعمق الذي يعمل عنده المحراث تحت سـطح التربة أي زيادة عمق الحراثة بالمحراث تحت سـطح التربة من 40 إلى 60 ســـم وهذا يؤدي إلى زيادة التكاليف الكلية للإنتاج بمقدار 17320 دينار هكتار$^{-1}$ بنســـبة 1.46% والشـيء نفسـه يحدث عند معاملتي الحراثة T3 ويتضـح من ذلك أنَّ زيادة عمق الحراثة له تأثير في التكاليف الكلية للإنتاج نتيجة زيادة معدل اسـتهلاك الوقود (شـكل 24) ومتطلبات الطاقة عند زيادة عمق الحراثة وتتفق هذه النتائج مع Sarauskis وآخرون (2012) إذ وجدو أنَّ استعمال معدات الحراثة المركبة مقارنة مع الحراثة العميقة التقليدية خفض من تكاليف التشـغيل الكلية بنسـبة 48.64%.



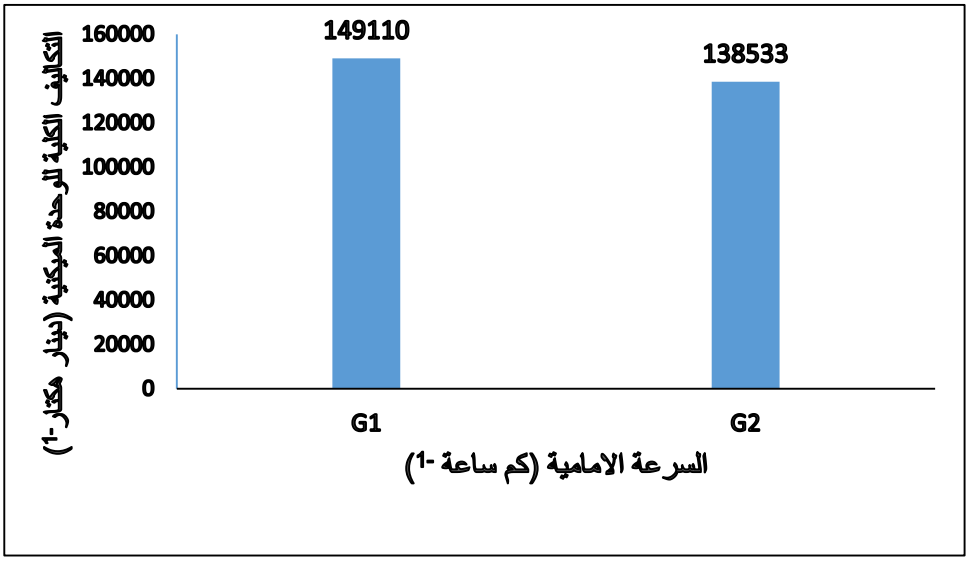
شكل (68) تأثير معاملات الحراثة في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار$^{-1}$).



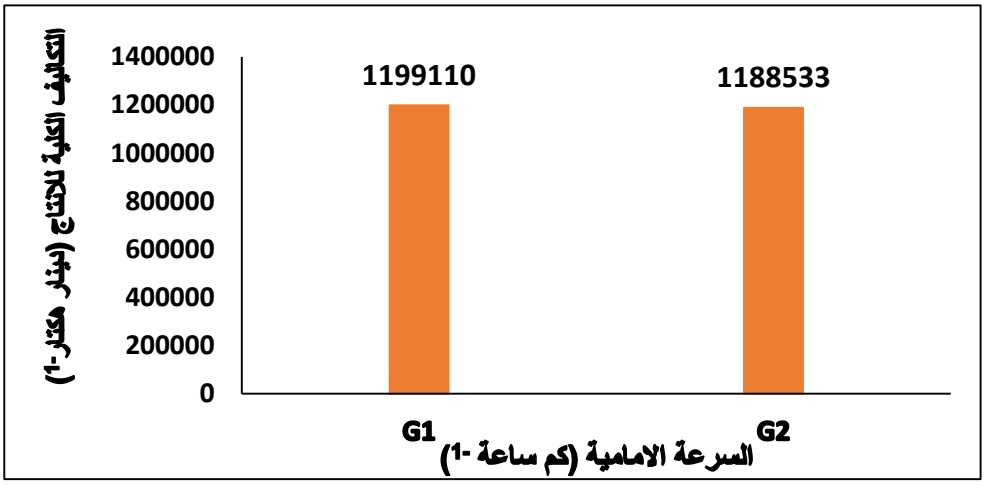
شكل (69) تأثير معاملات الحراثة في التكاليف الكلية للإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصـــائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الســـرعة الأمامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج، إذ يلاحظ من الشـكلين 70 و71 أنَّ السـرعة الأمامية 3 كم سـاعة$^{-1}$ تفوقت بتحقيقها أقل تكاليف اجمالية للوحدة

الميكنية التي بلغت 138533 دينار هكتار$^{-1}$ وأقل تكاليف كلية للإنتاج إذ بلغت 1188533 دينار هكتار$^{-1}$ قياساً مع السرع الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ التي سجلت تكاليف اجمالية للوحدة الميكنية أعلى إذ بلغت 149110 دينار هكتار$^{-1}$ وتكاليف اجمالية للإنتاج أعلى إذ بلغت 1199110 دينار هكتار$^{-1}$ إذ انخفضت التكاليف الكلية للوحدة الميكنية بنسبة 7.10%، كما انخفضت التكاليف الكلية للإنتاج بنسبة طفيفة بلغت 0.088%. ويعود السبب إلى زيادة الكفاءة الحقلية (شكل 21) وانخفاض معدل استهلاك الوقود (شكل 24) وانخفاض زمن انجاز عمليات تحضير التربة (شكل 17) وهذا بدوره يقلل من التكاليف المتغيرة ومن ثَمَّ خفض التكاليف الكلية للإنتاج مع زيادة السرعة الأمامية. وتتفق هذه النتائج مع جاسم والهاشمي (2015).

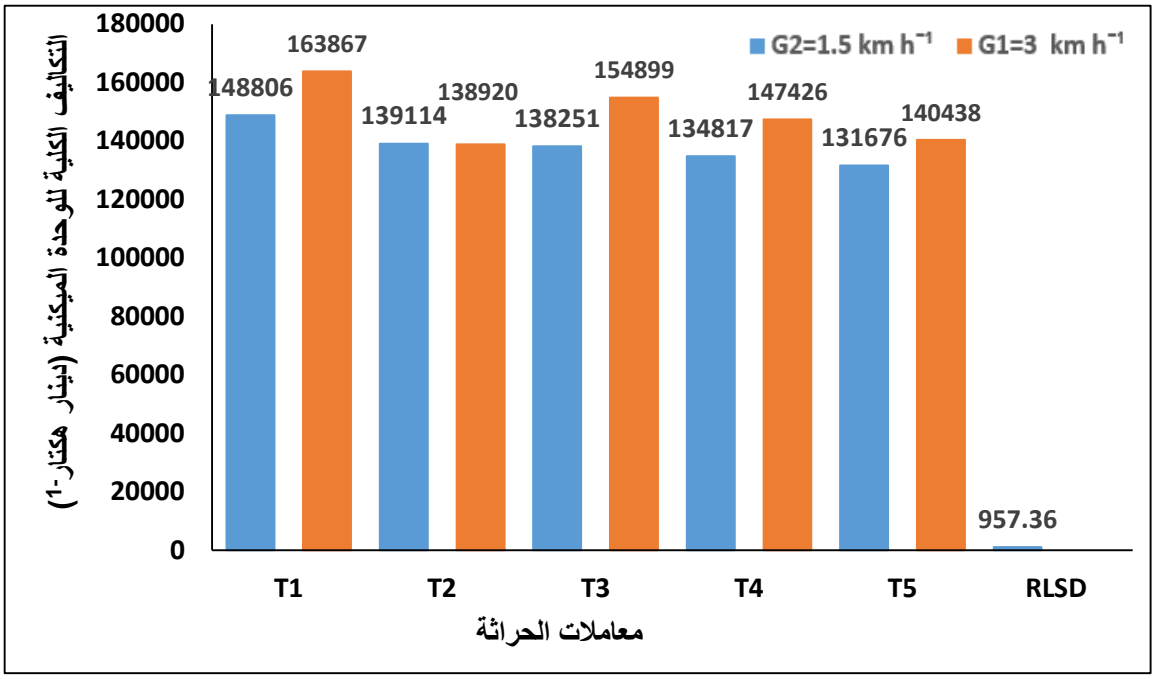


شكل (70) تأثير السرعة الأمامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار$^{-1}$).

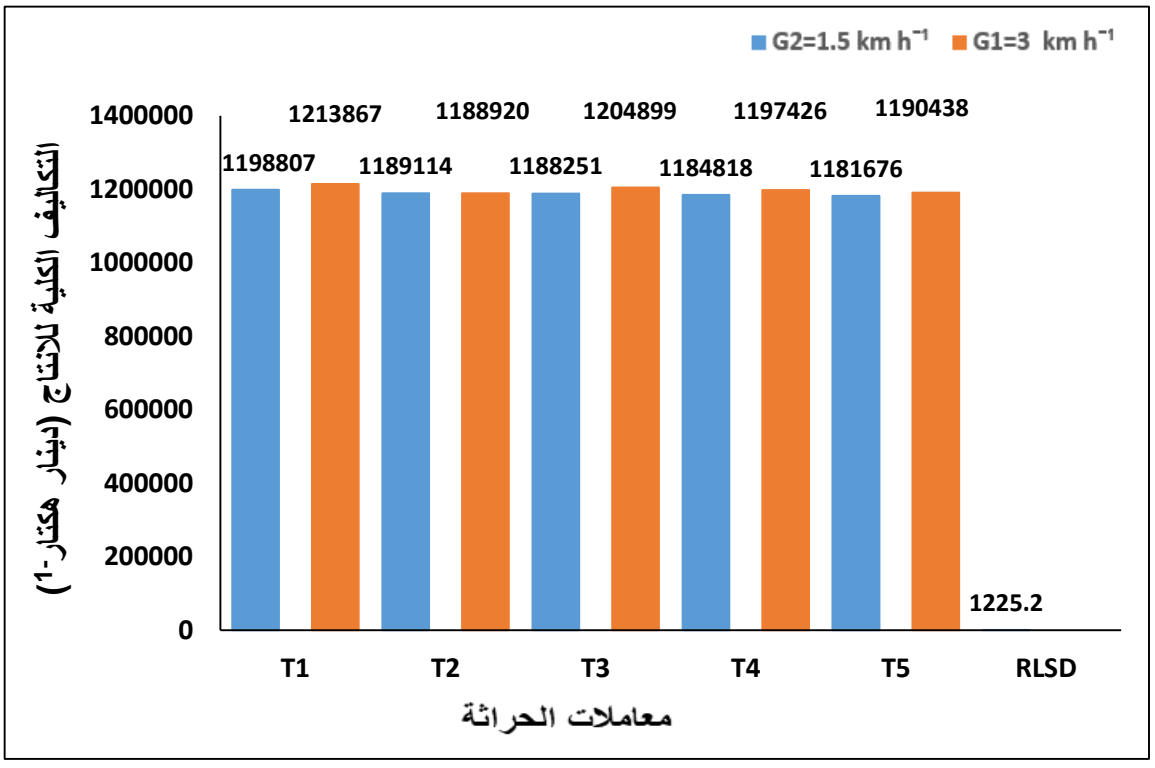


شكل (71) تأثير السرعة الأمامية في التكاليف الكلية للإنتاج (دينار هكتار$^{-1}$).

توضح نتائج التحليل الاحصائي لاختبار F المبينة في ملحق (34) وجود تأثير عالي المعنوية لعاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية والتكاليف الكلية للإنتاج، توضح النتائج المبينة في الشكلين 72 و73 تفوق معاملة التداخل (T5 X G1) في تحقيقها أقل تكاليف اجمالية للوحدة الميكنية بلغت 140438 دينار هكتار$^{-1}$ وأقل تكاليف كلية للإنتاج بلغت 1181676 دينار هكتار$^{-1}$ في حين سجلت معاملة T1 والسرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ تكاليف اجمالية للوحدة الميكنية بواقع 163867 دينار هكتار$^{-1}$ وأعلى تكاليف اجمالية للإنتاج بلغت 1213867 دينار هكتار$^{-1}$ أي أنَّ التكاليف الكلية للوحدة الميكنية وللإنتاج زادت بنسبة24.45 و 2.72% على التوالي، ويرجع سبب انخفاض التكاليف الكلية للإنتاج للتأثير للمعاملة (T5 X G1) المشترك لكل من السرعة الأمامية العالية ومعاملة الحراثة T5 التي تعمل عند عمق حراثة 20 و10 سم للمحراث الحفار والمشط القرصي على التوالي، إذ تؤدي السرعة العالية إلى زيادة الكفاءة الحقلية (شكل 17) وتقليل معدل الزمن لإنجاز عمليات تحضير التربة (شكل 21)، فضلاً عن أنَّ معاملة T5 كانت أقل معاملات الحراثة استهلاكاً للوقود (شكل 24) وهذا بدوره يؤدي إلى خفض التكاليف المتغيرة (الوقود والزيوت والعمالة والصيانة والإصلاح) وحسب المعادلة 32 التي مفرداتها التكاليف المتغيرة والتكاليف الثابتة الأمر الذي ينعكس في انخفاض التكاليف الكلية للإنتاج. وتتفق هذه النتائج مع Juraev وآخرون (2021) إذ وجدوا أنَّ استعمال ألة الحراثة المركبة متعددة المهام المكونة من مشط قرصي مزدوج ومحراث حفار وسكين تسوية أدىٰ إلى تقليل تكاليف معدل استهلاك الوقود والعمالة بنسبة 30.37 و 51.74% على التوالي، أما التكاليف الكلية فقد انخفضت بنسبة 40.48%، وعزوا السبب إلى أنَّ ألة الحراثة المركبة قللت من عدد مرات المرور بالحقل إلى ثلاث مرات مما أدىٰ إلى تقليل معدل استهلاك الوقود وتكاليف التشغيل الأخرى الأمر الذي أدىٰ إلى انخفاض تكاليف التشغيل الكلية مع استعمال ألة الحراثة المركبة. ويتضح من النتائج انه كلما قلت الأجزاء المضافة لآلة الحراثة المركبة وزادت السرعة الأمامية كلما قلت التكاليف الكلية للإنتاج لتراكيب آلة الحراثة المـــــــــركبة (Jasim و Jwer ،2018). كما أنَّ زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة من 40 إلى 60 سم لتراكيب الة الحراثة المركبة المتماثلة بالتركيب مثل T1 وT2 او T3 وT4 يؤدي إلى زيادة التكاليف الكلية للإنتاج.



شكل (72) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في التكاليف الكلية للوحدة الميكنية (دينار هكتار-1).

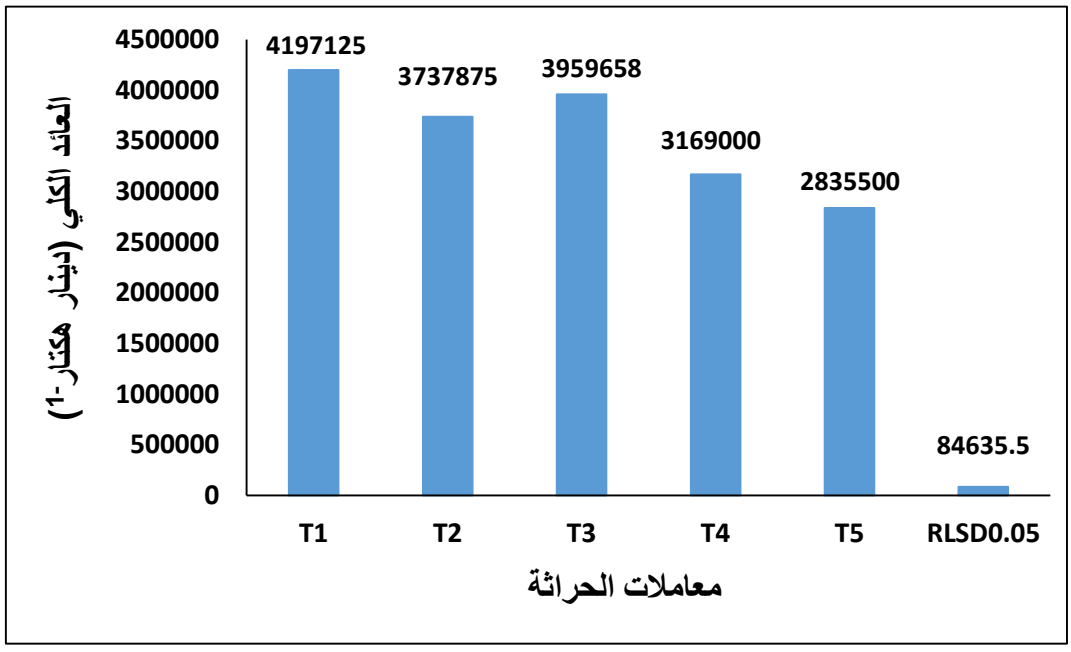


شكل (73) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في التكاليف الكلية للإنتاج (التكاليف الكلية للانتاج (دينار هكتار-1).

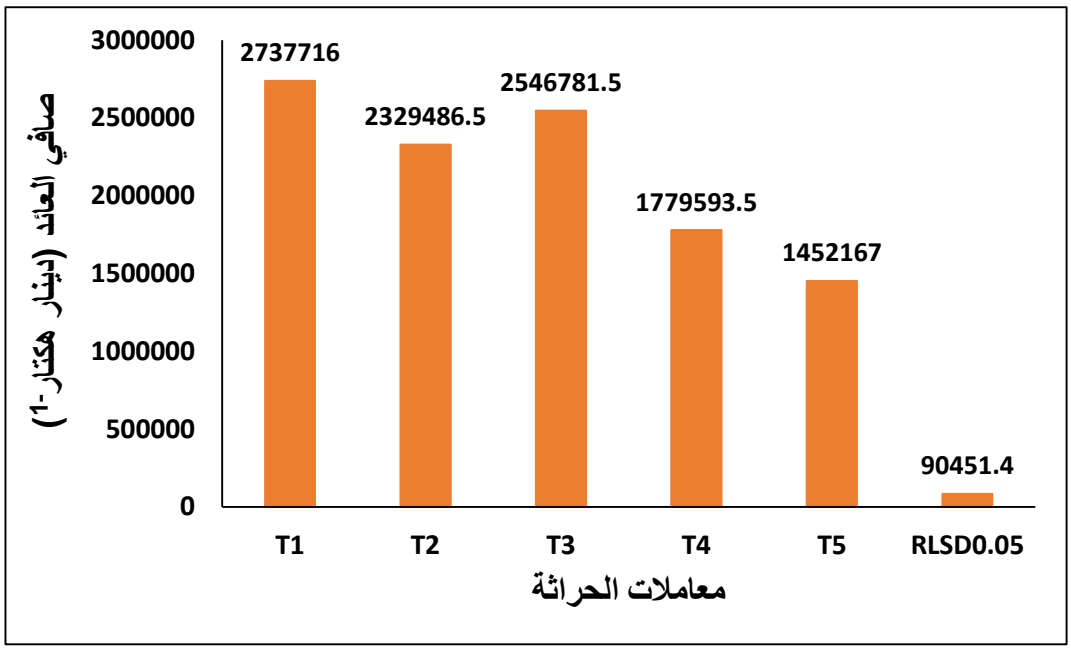
4-4-2- العائد الكلي والعائد الصافي Total return and net return

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في العائد الكلي والعائد الصافي، إذ يلاحظ من الشكلين 74 و75 تفوق معاملة T1 في تحقيقها أعلى عائد كلي وصافي عائد إذ بلغ 4197125 و2737716 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، في حين سجلت معاملات الحراثة T5 أقل عائد كلي وعائد صافي إذ كانت بواقع 2835500 و1452167 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، فعلى الرغم من أنَّ معاملة الحراثة T5 سجلت أقل تكاليف كلية (شكل 68) الا انها سجلت أقل عائد كلي وعائد صافي، في على عكس من معاملة الحراثة T1 التي سجلت أعلى تكاليف كلية (شكل 68) الا انها حققت أعلى عائد كلي. ويرجع سبب ذلك إلى زيادة الحاصل لمحصول الذرة الصفراء (شكل 65) بصورة أكبر من الزيادة في التكاليف الكلية (شكل 68) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة العائد الكلي والعائد الصافي لمعاملة T1، ومن الجدير بالذكر أنَّ زيادة الحاصل لمحصول الذرة الصفراء مرتبط ارتباطاً وثيقاً مع تحسن خصائص التربة (Nascimento وآخرون ،2021) إذ تحسنت ظروف التربة عند تحضير التربة باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) وانخفاض الكثافة الظاهرية (شكل 35) وزيادة والمسامية (شكل 39) والايصالية المائية المشبعة (شكل 51) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (شكل 55) مما ينعكس إيجاباً في تهيئة الظروف الملائمة لنمو النبات الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حاصل الحبوب والسيقان لمحصول الذرة الصفراء وحسب معادلة 38 التي احد مركباتها حاصل الحبوب والسيقان الأمر الذي يؤدي إلى زيادة العائد الكلي ومن ثَمَّ العائد الصافي. وتظهر النتائج ايضاً أنَّ معاملة الحراثة T3 حققت ثاني أعلى عائد اجمالي وصافي عائد إذ بلغ 3959658 و2546781.5 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، وتليها آلة الحراثة المركبة T4 بتسجيلها عائد اجمالي وصافي عائد مقدارهما 3169000 و1779593.5 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي. وعلى الرغم من تماثل آلتي الحراثة المركبة T3 و T4 من حيث التركيب إذ تتكونان من محراث حفار والمحراث تحت سطح التربة الا أنَّ زيادة عمق المحراث تحت التربة من 40 إلى 60 سم كان لهُ دور مهم في تحسن معظم خصائص التربة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة العائد الكلي والعائد الصافي بنسبة 24.94 و 43.11% على التوالي، وعلى الرغم من زيادة التكاليف الكلية عند زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة إلى 60 سم. ويرجع السبب إلى زيادة العائد الكلي

بنسبة كبيرة مقارنة مع زيادة التكاليف الكلية (Afshar وآخرون ،2022). كما يلاحظ من النتائج أنَّ إضافة المحراث تحت سطح التربة له أهمية كبيرة في زيادة الحاصل والعائد المالي فعند مقارنة معاملات الحراثة باستعمال آلات الحراثة المركبة التي تحتوي في تركيبها على المحراث تحت سطح التربة T1 و T2 وT3 و T4 مع معاملة الحراثة T5 التي لا تحتوي على المحراث تحت سطح التربة فأن العائد الإجمالي زاد بنسبة 48.02 و31.82 و39.65 و11.76% على التوالي، كما زاد العائد الصافي بنسبة 88.52 و60.41 و75.37 و22.54% على التوالي. ويرجع السبب إلى تحسن خصائص التربة مع استعمال المحراث تحت التربة وزيادة الحاصل لمحصول الذرة الصفراء ومن ثَمَّ زيادة العوائد المادية بالنسب المذكورة. وهذا يتفق مع Wang وآخرون (2020) إذ توصلوا إلى أنَّ زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة من 30 إلى 40 سم أدت إلى زيادة العائد الصافي بنسبة 7.6%، وعزوا السبب إلى تحسن خصائص التربة مع الحراثة العميقة الأمر الذي انعكس في زيادة الحاصل ومن ثَمَّ زيادة العائد.

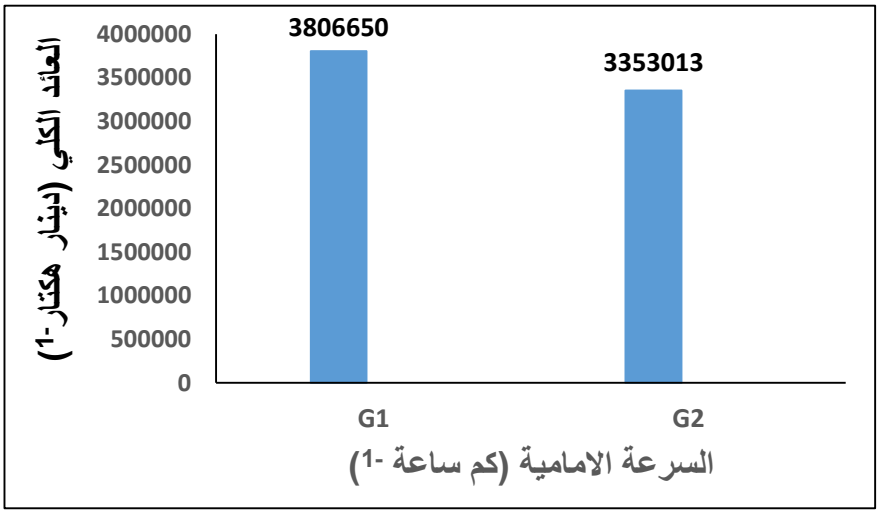


شكل (74) تأثير معاملات الحراثة في العائد الكلي (دينار هكتار-1).

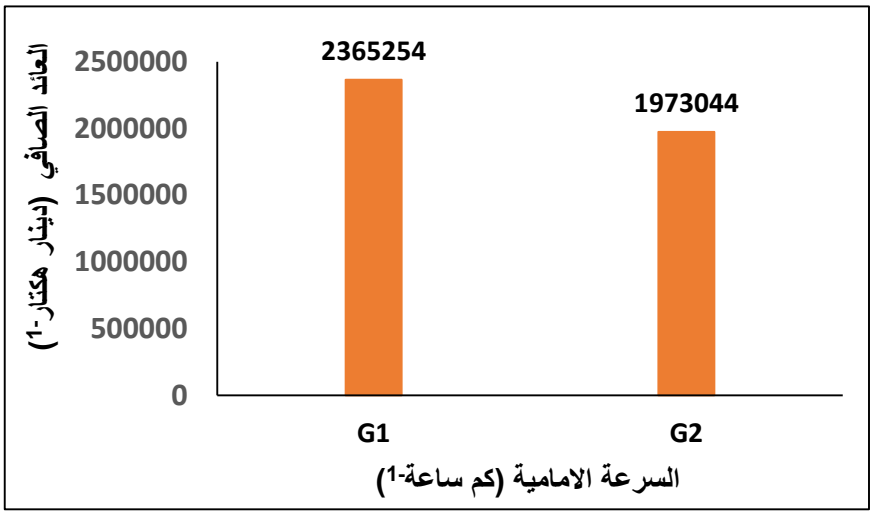


شكل (75) تأثير معاملات الحراثة في العائد الصافي (دينار هكتار$^{-1}$).

أظهرت نتائج التحليل الاحصـــائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السـرعة الأمامية في العائد الكلي والعائد الصـافي، إذ يلاحظ من الشـكلين 76 و77 تفوقت السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ بتحقيقها أعلى عائد اجمالي وصـافي عائد إذ بلغ 3806650.20 و 2365253.8 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، في حين سجلت السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ أقل عائد كلي و عائد صـــافي إذ بلغ 3353013 و 1973044 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، إذ زاد العائد الكلي والعائد الصـــافي بنســبة 13.53 و19.88% على التوالي. ويعزى الســبب إلى زيادة الحاصـل الحيوي وحاصـل الحبوب (الشـكلان 63 و66) مع انخفاض السـرعة الأمامية نتيجة إلى تحسن خصـائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (شـكل 32) وانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (شـكل 36) ومقاومتها للاختراق (شـكل 50) وايصـاليتها الكهربائية (شـكل 54) ، الأمر الذي أدى إلى زيادة العائد الإجمالي والعائد الصـافي على الرغم من انخفاض التكاليف الكلية (شـكل 70) عند السـرعة 3 كم ســاعة$^{-1}$. ويرجع هذا إلى زيادة العائد الكلي بشـكل أكبر من الزيادة في التكاليف الكلية ومن المعادلة 40 يزاد العائد الصـــافي مع زيادة العائد الكلي المتأتي من حاصـــل الحبوب والحاصل الحيوي لنبات الذرة الصفراء . وتتفق هذه النتائج مع وبين Celik و Altikat (2020) إذ وجدا أنَّ السرعة الأمامية البطيئة 1.80 كم ساعة$^{-1}$ تفوقت على السرعة الأمامية العالية 5.40 كم ساعة$^{-1}$ في زيادة العائد الصافي لمحصول الذرة الصفراء بنسبة 18.27%.



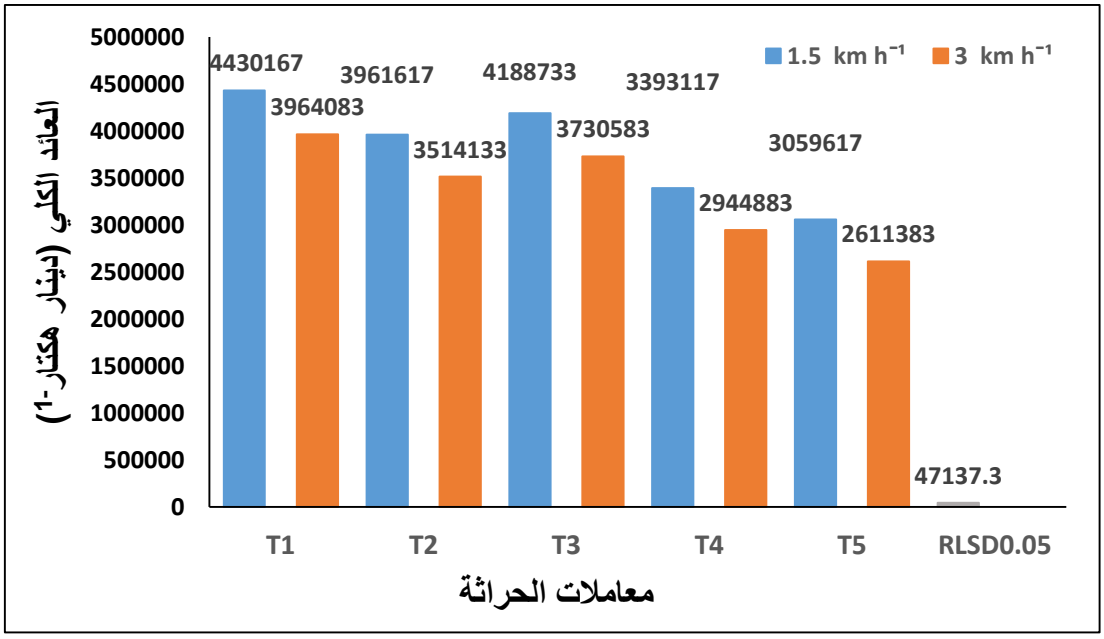
شكل (76) تأثير السرعة الأمامية في العائد الكلي (دينار هكتار-1).



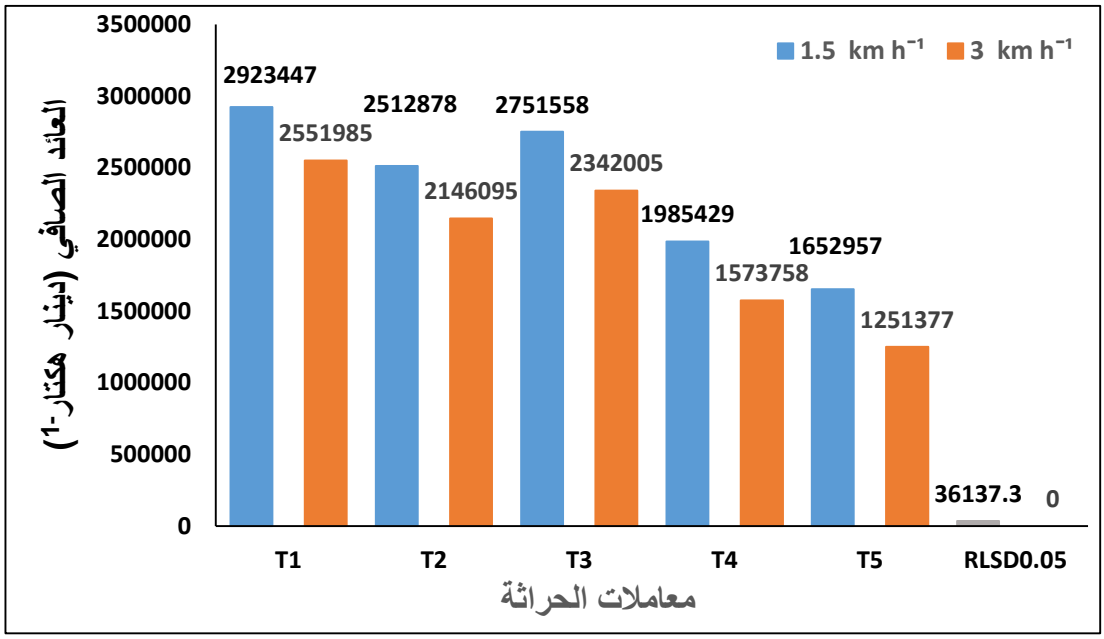
شكل (77) تأثير السرعة الامامية في صافي العائد (دينار هكتار-1).

أظهرت نتائج التحليل الاحصـــائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باســـتعمال آلة الحراثة المركبة والســـرعة الأمامية في العائد الاجمالي والعائد الصـافي. إذ يلاحظ من الشـكلين 78 و79 تفوق معاملة التداخل (T1 X G1) في تحقيقها أعلى عائد كلي وعائد صـافي إذ بلغ 4430167 و 2923447 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، وتليها معاملة التداخل (T3 X G1) التي ســـجلت عائد كلي وعائد صـــافي إذ بلغ 4188733 و 2751558 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي، في حين سـجلت معاملة (T5 X G) أقل عائد كلي وعائد صافي الذي بلغ 2611383 و 1251377 دينار هكتار$^{-1}$ على التوالي. ويعزى سبب تفوق معاملة

التداخل (T1 X G1) في زيادة العائد الكلي وصافي إلى الدور معاملة الحراثة T1 في تحسين خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 31) وانخفاض الكثافة الظاهرية (شكل 35) وزيادة والمسامية (شكل 39) والايصالية المائية المشبعة (شكل 51) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (شكل 55) مما ينعكس إيجاباً في تهيئة الظروف الملائمة لنمو النبات الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حاصل الحبوب والسيقان لمحصول الذرة الصفراء، فضلاً عن دور السرعة الأمامية البطيئة في زيادة الحاصل الحيوي وحاصل الحبوب (الشكلان 63 و66) الأمر الذي أدى إلى زيادة العائد الإجمالي والعائد الصافي على الرغم من انخفاض التكاليف الكلية (شكل 70) عند السرعة 3 كم ساعة$^{-1}$. ويرجع هذا إلى زيادة العائد الكلي بشكل أكبر من الزيادة في التكاليف الكلية ومن المعادلة 39 يزاد العائد الصافي مع زيادة العائد الكلي المتأتي من حاصل الحبوب والحاصل الحيوي لنبات الذرة الصفراء. وتتفق هذه النتائج مع Nascimento وآخرون (2021).



شكل (78) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في العائد الكلي (دينار هكتار$^{-1}$).

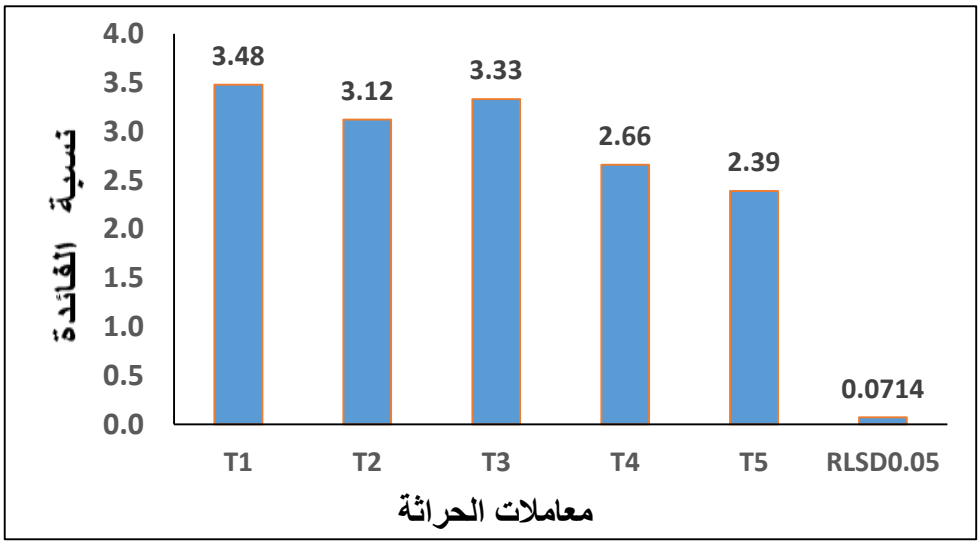


شكل (79) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في العائـــــد الصـــــافي (دينار هكتار-1).

4-4-3- نسبة الفائدة Benefit ratio cost

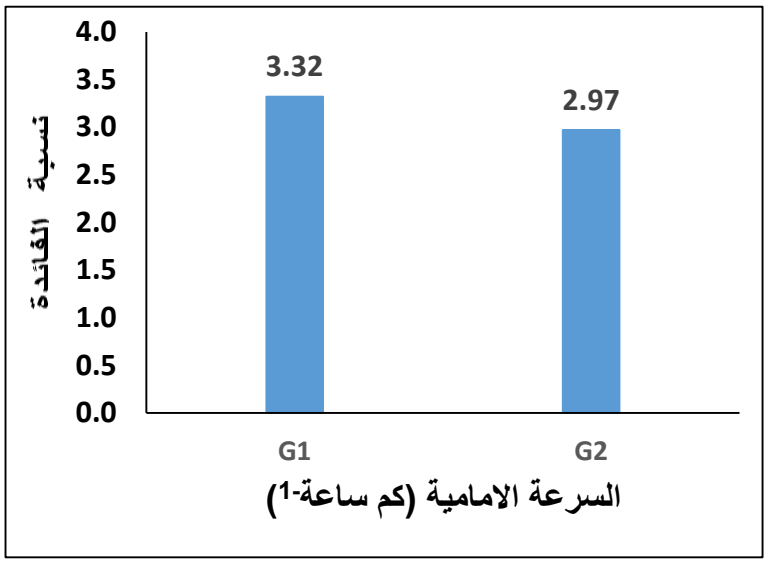
أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة في نسبة الفائدة، إذ يلاحظ من الشكل 80 أنَّ معاملة الحراثة T1 تفوقت بتحقيقها أعلى نسبة فائدة التي بلغت 3.48 وتليها معاملة الحراثة T3 التي سجلت ثاني أعلى نسبة فائدة مقدارها 3.33، ويعود سبب زيادة نسبة الفائدة لمعاملة الحراثة T1 إلى زيادة العائد الكلي (شكل 72) المتأتي من زيادة الحاصل (حاصل الحبوب + الحاصل الخضري) نتيجة إلى تحسن خصائص التربة عند الحراثة العميقة وحسب معادلة 38 أنَّ زيادة العائد الكلي تؤدي إلى زيادة نسبة الفائدة وعلى الرغم من زيادة التكاليف الكلية لمعاملتي الحراثة T1 وT3 الا أنَّ زيادة الحاصل ومن ثَمَّ زيادة العائد بشكل أكبر من التكاليف الأمر الذي ينعكس في زيادة نسبة الفائدة لمعاملتي الحراثة T1 وT3. في حين سجلت معاملة الحراثة T5 أقل نسبة فائدة إذ بلغت 2.39 على الرغم من كونها سجلت أقل تكاليف كلية، ويعزى سبب ذلك إلى انخفاض حاصل الذرة الصفراء مما ينعكس في انخفاض العائد الكلي أكثر من انخفاض التكاليف الكلية وحسب المعادلة 40 التي تمثل النسبة بين العائد الكلي والتكاليف الكلية تنخفض نسبة الفائدة (Khater، 2016). واظهرت النتائج أنَّ زيادة عمق الحراثة

بالمحراث تحت سطح التربة من 40 إلى 60 سم كما هو الحال في معاملتي الحراثة T3 و T4 لهُ دور مهم في تحسين معظم خصائص التربة ومن ثَمَّ زيادة حاصل الذرة الصفراء الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نسبة الفائدة من 2.66 إلى 3.33 على الرغم من زيادة التكاليف الكلية عند زيادة عمق المحراث تحت سطح التربة إلى 60 سم. ويرجع سبب زيادة العائد الكلي بنسبة أكبر مقارنة مع زيادة التكاليف الكلية وحسب المعادلة 40 تزداد نسبة الفائدة، كما يلاحظ من النتائج أنَّ إضافة المحراث تحت سطح التربة له أهمية كبيرة في زيادة الحاصل والعائد الاجمالي ونسبة الفائدة إذ عند مقارنة آلات الحراثة المركبة التي تحتوي في تركيبها على المحراث تحت سطح التربة T1 و T2 وT3 و T4 مع آلة الحراثة المركبة T5 التي لا تحتوي على المحراث تحت سطح التربة فأن نسبة الفائدة زادت بنسبة 45.54 و30.65 و39.33 و11.30% على التوالي. ويرجع السبب إلى تحسن خصائص التربة مع استعمال المحراث تحت التربة ومن ثَمَّ زيادة الحاصل لمحصول الذرة الصفراء الأمر الذي يؤدي إلى زيادة العائد الكلي المتأتي من حاصل جمع عائد حاصل الحبوب مع عائد الحاصل الحيوي حسب معادلة 38 ومن ثَمَّ زيادة نسبة الفائدة حسب معادلة 40. تتفق هذه النتائج مع Afshar وآخرون (2022) إذ وجدوا أنَّ استعمال المحراث تحت سطح التربة على عمق 45 سم حقق أعلى عائد اجمالي وأعلى نسبة فائدة إذ بلغتا 2113.9 دولار امريكي هكتار$^{-1}$ و 1.33 على التوالي، في حين سجلت الحراثة بواسطة المحراث الحفار على عمق حراثة 15 سم أقل عائد اجمالي ونسبة فائدة بلغتا 1962.5 دولار امريكي هكتار$^{-1}$ و 1.24 على التوالي.



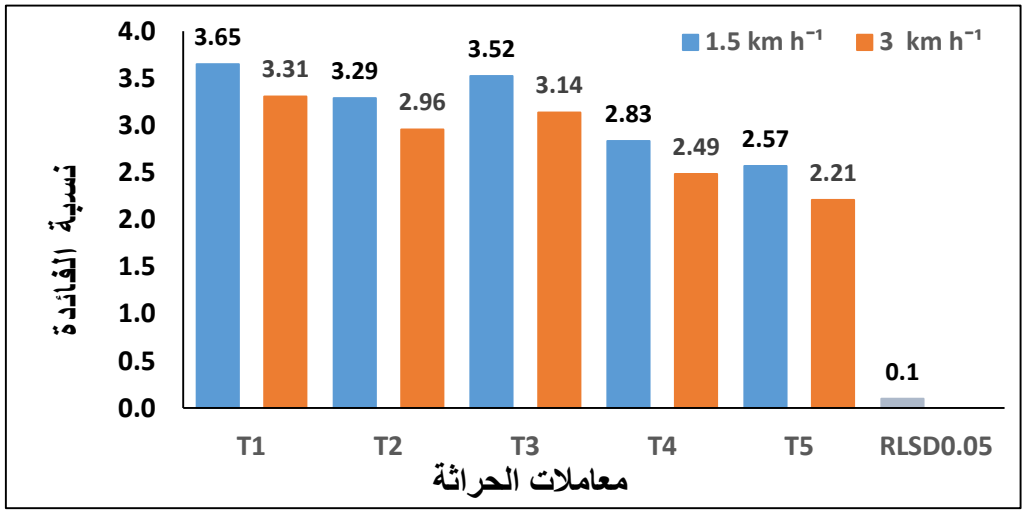
شكل (80) تأثير معاملات الحراثة في نسبة الفائدة.

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير عالي المعنوية لعامل السرعة الأمامية في نسبة الفائدة، إذ يلاحظ من الشكل 81 أنَّ السرعة الأمامية البطيئة (1.5 كم ساعة$^{-1}$) تفوقت بتحقيقها أعلى نسبة فائدة بلغت 3.32 قياساً مع السرعة الأمامية 3 كم ساعة$^{-1}$ التي سجلت نسبة فائدة أقل بلغت 2.97، إذ زادت نسبة الفائدة بنسبة 11.78%. ويعزى السبب إلى زيادة الحاصل الحيوي (شكل 63) وحاصل الحبوب (شكل 66) مع انخفاض السرعة الأمامية نتيجة إلى تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (شكل 32) وانخفاض الكثافة الظاهرية للتربة (شكل 36) ومقاومتها للاختراق (شكل 47) وايصاليتها الكهربائية (شكل 55)، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة العائد الكلي حسب معادلة 38 ومن ثَمَّ زيادة نسبة الفائدة حسب المعادلة 40 على الرغم من زيادة التكاليف الكلية للإنتاج الا أنَّ الزيادة في العائد الكلي (شكل 78) أكبر من الزيادة في التكاليف الكلية للإنتاج (شكل 69) الأمر الذي يؤدي إلى زيادة نسبة الفائدة مع السرعة الأمامية البطيئة (1.5 كم ساعة$^{-1}$). وتتفق هذه النتائج مع Nascimento وآخرون (2021) إذ توصلوا إلى أنَّ السرعة الأمامية البطيئة (5.5 كم ساعة$^{-1}$) حققت أعلى نسبة فائدة بعضها ببعض مع السرعة الأمامية العالية (7.5 كم ساعة$^{-1}$) بنسبة 6.21% . وارجعوا السبب إلى زيادة حاصل الذرة الصفراء نتيجة تحسن خصائص التربة مع انخفاض السرعة الأمامية الأمر الذي أدى إلى زيادة العائد الكلي ومن ثَمَّ زيادة نسبة الفائدة.



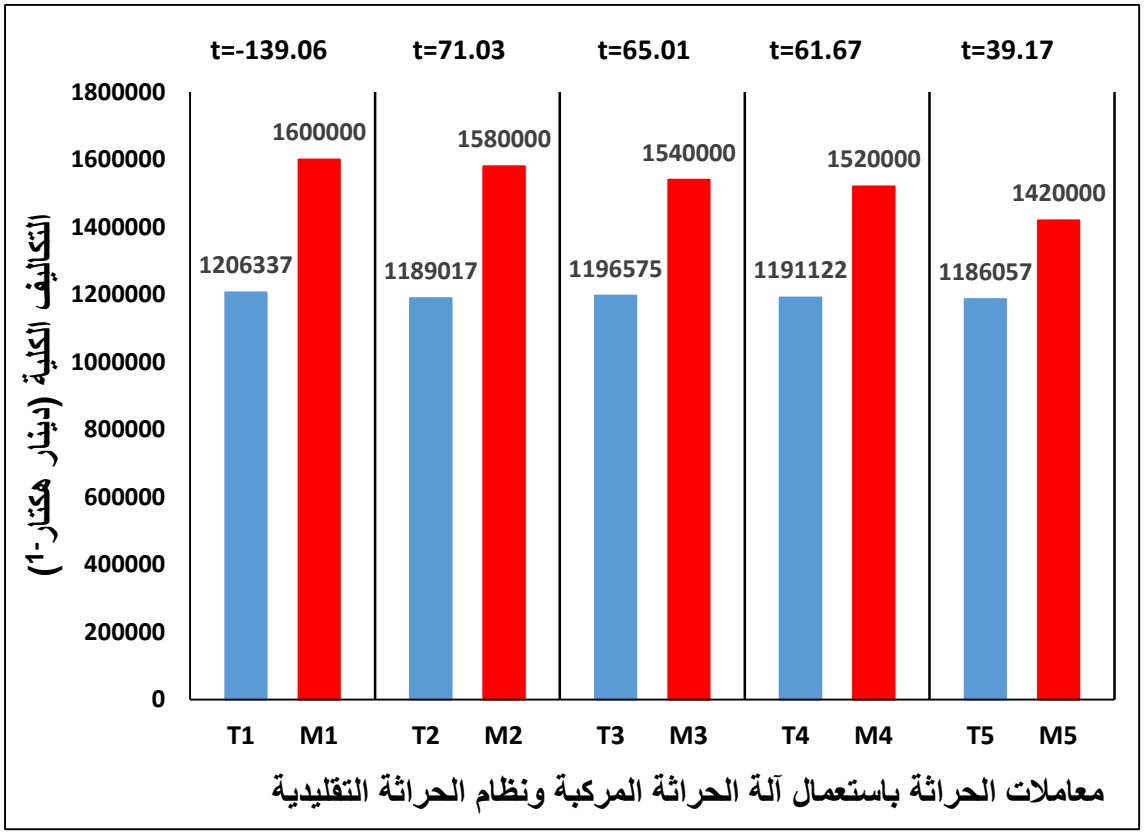
شكل (81) تأثير السرعة الأمامية في نسبة الفائدة.

أظهرت نتائج التحليل الاحصائي اختبار F المبينة في الملحق (33) وجود تأثير معنوي للتداخل الثنائي بين عاملي الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة والسرعة الأمامية في نسبة الفائدة. إذ يلاحظ من الشكل 82 أنَّ معاملة التداخل (T1 X G1) تفوقت بتحققها أعلى نسبة فائدة التي بلغت 3.65 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ وتليها معاملة التداخل (T3 X G1) بتسجيلها ثاني أعلى نسبة فائدة التي بلغت 3.52 ميكا غرام هكتار$^{-1}$ ، في حين سجلت معاملة التداخل (T5 X G2) أقل نسبة فائدة إذ بلغت 2.21 ميكا غرام هكتار$^{-1}$. كما يلاحظ من النتائج أنَّ معاملات التداخل المتضمنة المحراث تحت سطح التربة تفوقت بزيادة نسبة الفائدة قياساً بمعاملات التداخل التي لا تتضمن المحراث تحت سطح التربة، فعلى سبيل المثال تفوقت معاملات التداخل (T1 X G1) و(T2 X G1) و(T3 X G1) و(T4 X G1) على معاملة التداخل (T5 X G1) بزيادة نسبة الفائدة بنسبة 42.02 و27.94 و37.94 و37.08 و10.27% على التوالي. أنَّ سبب زيادة نسبة الفائدة لمعاملات الحراثة يعود إلى وجود المحراث تحت سطح التربة الذي يعمل على عمق 40 سم او 60 سم وتأثير السرعة الأمامية البطيئة 1.5 كم ساعة$^{-1}$ إذ أدى التداخل بين هذين العاملين دوراً ايجابياً في تحسن خصائص التربة كزيادة معدل القطر الموزون (جدول 2) وانخفاض كثافة التربة الظاهرية (جدول 5) وزيادة مساميتها (جدول 9) وزيادة الايصالية المائية المشبعة (جدول 18) وانخفاض الإيصالية الكهربائية للتربة (جدول 22) الأمر الذي ينعكس إيجاباً في زيادة الحاصل لمحصول الذرة الصفراء الأمر الذي يؤدي إلى زيادة العائد الكلي المتأتي من حاصل جمع عائد حاصل الحبوب مع عائد الحاصل الحيوي حسب معادلة 38 ومن ثَمَّ زيادة نسبة الفائدة حسب معادلة 40. تتفق هذه النتائج مع Afshar وآخرون (2022).



شكل (82) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الأمامية في نسبة الفائدة.

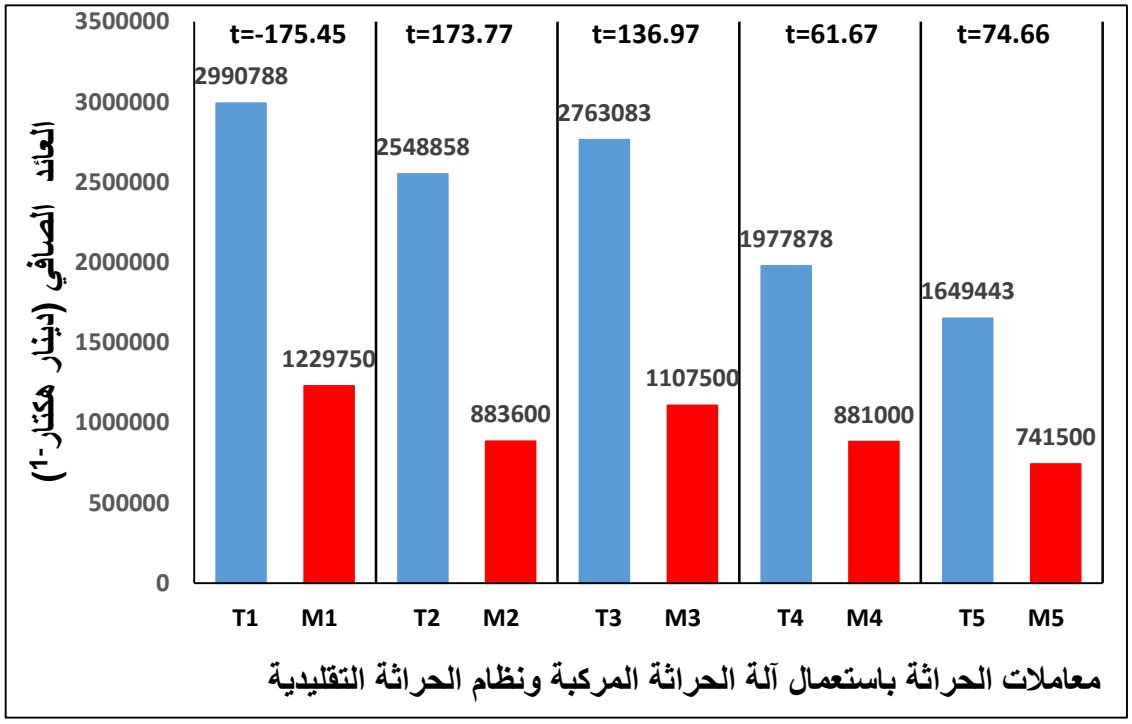
أظهرت نتائج اختبار t المبينة في ملحق (34) وجود فروق عالية المعنوية بين معاملات الحراثة باســـتعمال آلة الحراثة المركبة ونظم الحراثة التقليدية المقابلة لكل تركيب في التكاليف الكلية. إذ يلاحظ من الشـــكل 83 تفوق معاملة الحراثة T1 على نظام الحراثة التقليدية M1 في خفض التكاليف الكلية بنسـبة 24.62% ويعزى السـبب إلى أنَّ معاملة الحراثة T1 اختصـرت عدد مرات المرور في الحقل بمرور واحد في الحقل، في حين نظام الحراثة التقليدية M1 تطلب أربع مرورات في الحقل تضـمنت مرور أول للمحراث تحت سـطح التربة ثَمَّ مرور ثاني للمحراث الحفار ثَمَّ مرور ثالث بالأمشاط القرصية ثَمَّ المرور الرابع بالحادلة وهذا يؤدي إلى زيادة معدل الزمن الحـــــــــراثة (شـكل 20) ومن ثَمَّ زيادة معدل اسـتهلاك الوقود (شـكل 27)، فضـلاً عن أنَّ زيادة عدد سـاعات العمل عند تهيئة التربة بالطرق التقليدية يمكن أنَّ يزيد من تكاليف الصـيانة والإصـلاح للجرار وآلة الحراثـة الأمر الـذي يؤدي إلى زيـادة التكـاليف الكليـة. وتتفق هـذه النتـائج مع Prem وآخرون (2016) إذ وجدوا أنَّ الحراثة بآلات الحراثة المركبة بعضـها ببعض مع الاسـتعمال المنفرد لآلات الحراثة لتهيئة مرقد البذرة قد خفضـت التكاليف الكلية بحدود 20 إلى 50%. كما يلاحظ من النتائج أنَّ معاملات الحراثة باسـتعمال آلة الحراثة المركبة T1، T2، T3، T4، T5 قد خفضـت التكاليف الكلية بنسبه 24.70 و28.70 و27.61 و16.50% مقارنه مع ما يقابلها من معاملات نظم الحراثة التقليدية المتضـمنة M1، M2، M3، M4، M5 على التوالي ويرجع السبب إلى ما ذكر سـابقاً من اختلاف عدد مرات المرور بين معاملات الحراثة وأنظمة الحراثة التقليدية الأمر الذي ينعكس في زمن الحراثة واستهلاك الوقود وهذا بدوره ينعكس في التكاليف الكلية لعملية الحراثة. تتفق النتائج مع Bovas وآخرون (2022) إذ وجدوا أنَّ اســتعمال ألة الحراثة المركبة المكونة من مشـــط حفار + مشـط قرصـي قللت من التكاليف الكلية بنسـبة 21.38% مقارنة مع الاسـتعمال المنفرد لوحداتها. وارجعوا السـبب في زيادة التكاليف الكلية مع نظام الحراثة التقليدية إلى زيادة عدد مرات المرور في الحقل الأمر الذي أدى إلى زيادة معدل اســتهلاك الوقود ومعدل زمن الحراثة وهذا بدوره انعكس في زيادة التكاليف الكلية.



شكل (83) مقارنة التكاليف الكلية (دينار هكتار-1) لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية.

يبين شكل 84 وجود فروق عالية المعنوية بين بين معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة (T1، T2، T3، T4، T5) ونظم الحراثة التقليدية (M1، M2، M3، M4، M5) المقابلة لكل تركيب في العائد الصافي تبعاً لاختبار t (ملحق 34). إذ تفوق تركيب آلة الحراثة T1 على نظام الحراثة التقليدية M1 في زيادة العائد الصافي بنسبة 122.45%، كما زاد العائد الصافي بنسبة 124.50% لمعاملة الحراثة T2 بعضها ببعض مع على نظام الحراثة التقليدية M2. ويعود السبب إلى انخفاض التكاليف الكلية لآلات الحراثة المركبة قياساً بنظام الحراثة التقليدية (شكل 82)، فضلاً عن زيادة حاصل الذرة الصفراء (حاصل الحبوب والسيقان) مقارنة مع الحراثة التقليدية (ملحق 35) بسبب تحسين خصائص التربة نتيجةً إلى تقليل مرات المرور على حقل التربة الأمر الذي يسهم في خفض رص التربة عند استعمال آلة الحراثة المركبة (Ten Damme واخرون، 2021)، وهذا يؤدي إلى زيادة العائد الصافي. كما تفوقت معاملة الحراثة T3 في زيادة العائد الصافي بنسبة 149.50% مقارنة مع نظام الحراثة التقليدية M3 ويلاحظ أنَّ نسبة الزياد في العائد الصافي ارتفعت عند مقارنة T3 وM3

وذلك بسب أنَّ مرات المرور قد تقلصت إلى مرورين فقط في نظام الحراثة M3، إذ تضمنت مرور أول للمحراث تحت سطح التربة ثم المحراث الحفار كمرور ثانٍ وهذا أدى انخفاض التكاليف الكلية لنظام لحراثة التقليدية M3 ولتركيب آلة الحراثة المركبة T3 بدرجة أعلى الذي تطلب مروراً واحد في الحقل مما يجعل العائد الصافي يزداد بنسبة عالية لـ T3 قياساً بـ M3، أما عند مقارنة T4 بـ M4 زاد العائد الصافي بنسبة 188.46%. كما أنَّ تركيب الة الحراثة المركبة T5 تفوق في زيادة صافي العائد قياساً بنظام الحراثة التقليدي M5 بنسبة 143.20% ويعود السبب للاسباب السابقة نفسها. تتفق هذه النتائج مع Wang وآخرون (2020) و Foster و Rosenzweig (2022). إذ لاحظوا أنَّ تهيئة التربة باستعمال آلات الحراثة المركبة زادت من العائد الكلي قياساً بتهيئة التربة بالطرق التقليدية



شكل (84) مقارنة العائد الصافي (دينار هكتار-1) لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية

5- الاستنتاجات والتوصيات Conclusions and Recommendations

5-1- الاستنتاجات Conclusions

من خلال نتائج التجارب التي أجريت نستنتج ما يأتي:

1- تتفوق معامله آلة الحراثة المركبة T1 في تحقيقها أقل دليل تفتيت للتربة (أعلى تفتيت) قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5)، في حين تفوقت معامله الحراثة T5 في خفض معظم متطلباتها من المؤشرات الميكنية، إذ حققت أقل قوه سحب واستهلاك وقود ونسبه مئوية للانزلاق وقدره مفقودة ومعدل زمن الحراثة وأعلى كفاءه حقليه مقارنه مع معاملات الحراثة الأخرى (T2, T1، T3، T4).

2- تتفوق معامله آلة الحراثة المركبة T1 في تحسين معظم خصائص التربة، إذ حققت أعلى معدل قطر موزون ومساميه كليه للتربة ومحتوى رطوبي وايصالية مائية مشبعة وأقل كثافه ظاهرية ومقاومة التربة للاختراق وايصالية كهربائية مقارنةً مع معاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5).

3- تتفوق معامله آله الحراثة المركبة T1 في تحسين نمو وحاصل الذرة الصفراء (ارتفاع النبات والوزن الجاف للنبات وحاصل الحبوب) قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5)، في حين تسجل معامله إله الحراثة T5 أقل معدلات نمو وحاصل النبات.

4- تحقق معامله آلة الحراثة المركبة T1 أعلى اجمالي عائد وصافي العائد ونسبه الفائدة قياساً مع معاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5)، في حين تفوقت معامله إله الحراثة T5 في تحقيقها أقل تكاليف كلية تحت ظروف الدراسة.

5- تتفوق معاملات آلة الحراثة المركبة (T2, T1، T3، T4، T5) في تحقيقها أقل معدل لمعدل استهلاك الوقود ومعدل الزمن اللازم لإنجاز عملية تحضير التربة، فضلاً عن تفوقها في تحقيق أقل التكاليف الكلية للوحدة الميكنية وأعلى اجمالي عائد وصافي عائد ونسبه فائدة مقارنةً مع أنظمة الحراثة التقليدية (M1، M2، M3، M4، M5) المقابلة لكل تركيب من تراكيب إله الحراثة المركبة على التوالي.

6- تفوق السرعة الأمامية 3 كم الساعه$^{-1}$ في تحقيقها أعلى كفاءه حقلية وأقل معدل لمعدل استهلاك الوقود ودليل تفتيت للتربة (زيادة التفتيت) وأقل زمن لازم لإنجاز عملية تهيئة التربة، في حين تحقق

السرعة المنخفضة (1.5 كم الساعه$^{-1}$) أقل قيم لقوه السحب والنسبة المئوية للانزلاق والقدرة المفقودة.

7- تفوقت السرعة الأمامية المنخفضة (1.5 كم الساعه$^{-1}$) في تحسين خصائص التربة (معدل القطر الموزون والمسامية الكلية الكثافة الظاهرية والمحتوى الرطوبي ومقاومه التربة للاختراق والإيصالية الكهربائية والإيصالية المائية المشبعة) مما انعكس ذلك في تحسين نمو وحاصل النبات (ارتفاع النبات الوزن الجاف للنبات وحاصل الحبوب) مقارنه مع السرعة الأمامية العالية (3 كم الساعه$^{-1}$) تحت ظروف الدراسة.

8- تحقق السرعة الأمامية المنخفضة (1.5 كم الساعه$^{-1}$) أعلى تكاليف كليه واجمالي العائد ووصافي العائد ونسبه الفائدة بالمقارنة مع السرعة الأمامية العالية (3 كم الساعه$^{-1}$).

9- تتحسن معظم خواص التربة مع انخفاض عمق التربة في بدايه موسم نمو النبات في حين تنخفض المسامية الكلية والإيصالية المائية المشبعة بزيادة عمق التربة وتقدم مراحل نمو النبات تحت ظروف الدراسة.

10- أنَّ استعمال آلة الحراثة المركب T1 عند السرعة الأمامية 1.5 كم الساعه$^{-1}$ تحسن معظم خصائص التربة، فضلاً عن زيادة وحاصل النبات، بالإضافة إلى تحسين تكاليف عملية تهيئة التربة مقارنةً مع معاملات الحراثة الأخرى (T2، T3، T4، T5).

5-2- التوصيات Recommendations

1- نوصي باستعمال آلة الحراثة المركبة T1 تحت ظروف الدراسة في حراثة التربة نتيجة امكانيتها في انجاز جميع متطلبات تهيئة التربة اثناء مرور واحد بالحقل وتحسينها خصائص التربة المختلفة وزيادة نمو وحاصل الذرة الصفراء، فضلاً عن صافي العائد.

2- نوصي بالعمل عند السرعة الأمامية 1.5 كم ساعة$^{-1}$ لكونها حققت أفضل النتائج للمؤشرات الميكنية المدروسة للوحدة الميكنية (الجرار + المحراث) وأفضل خصائص للتربة "تحت ظروف الدراسة، فضلاً عن تحقيقها افضل عائد صافي.

3- يفضل استخدام تركيب آلة الحراثة T5 في حراثة التربة الخفيفة النسجة او التي لا تحتاج إلى حراثة عميقه ولا تحتوي على طبقات تربه مرصوصة عند العمق او ذات محتوى ملحي عالي.

4- يمكن زيادة عمق المحراث الحفار الحفار لآلة الحراثة المركبة الى 30 سم ودراسة تأثير في بعض خصائص التربة والمؤشرات الميكنية

5- تعزيزا لنتائج الدراسة يفضل اجراء تجارب حقليه اخرى لآله الحراثة المركبة تحت ظروف تشغيلية مختلفة او اضافه آلة بذار وتسميد لتدمج مع الآله لغرض انجاز أكثر من عملية زراعية في مرور واحد بالحقل.

6-المصادر References

6-1- المصادر العربية

جاسم، عبد الرزاق عبد اللطيف وليث عقيل الدين زين الدين الهاشمي (2015). تأثير نوع المعدة في تكاليف تشغيل الجرار New Holland (TD-80). مجلة العلوم الزراعية العراقية 46 (5): 863-869.

جاسم، عبد الرزاق عبد اللطيف وعبد الحسين غانم صخي وعبد العزيز عباس عزيز (2017).. موسوعة المكائن والمعدات والآلات الزراعية، الدار الجامعية للطباعة والنشر والترجمة، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة بغداد، جمهورية العراق.

جاسم، عبد الرزاق عبد اللطيف وآلاء صالح عاتي وشيماء سامي داود وأسامة حسين جوير (2018). تأثير السرعة واعماق الحراثة في بعض مؤشرات اداء الوحدة المكنية ونمو وانتاج الذرة الصـــفراء باستعمال الة مركبة خماسية الغرض. المجلة العراقية لعلوم التربة. 1(18): 28 - 35.

الحلفي، انتصار هادي حميدي واثير هشام مهدي التميمي. (2017). استجابة بعض مزارع الذرة الصناعية للأسمدة المعدنية والعضوية والحيوية 1 - المحصول ومكوناته. المجلة العراقية للعلوم الزراعية ، 48 (6). 1455-1447.

الراوي , خاشع محمود وعبد العزيز خلف الله (1980). تصميم وتحليل التجارب الزراعية . مؤسسة دار الكتب للطباعة والنشر , جامعة الموصل , العراق .

الرجبو، سعد عبد الجبار ومحمود إلياس احمد الطائي (2013). تأثير أعماق الحراثة وشكل السلاح للمحراث الحفار في أداء الجراروبعض الصفات الفيزيائية للتربة. مجلة جامعة كركوك للعلوم الزراعية، 4(2): 65-80.

الزبيدي، عبد الرزاق جاسم عبد اللطيف ومحمد عبد منخي (2012). سرعة الجرار وعمق الحراثة وتقييم أداء متطلبات القدرة وكفاءة السحب لمحراث محور محليا. مجلة العلوم الزراعية العراقية. 43 (5): 122-126.

الطحان، ياسين هاشم واركان محمد امين صديق وصالح صبر الهسنياني (2012). دراسة بعض مؤشرات استغلال الطاقة وتأثير في أداء الجراروالآلات المستعملة في عمليات تهيئة التربة وزراعة محصول البطاطا في محافظة نينوى. مجلة جامع كركوك للعلوم الزراعية. 1(4).

الطحان، ياسين هاشم، مدحت عبد الله حميدة ومحمد قدري عبد الوهاب (1991) . اقتصاديات وادارة المكائن والآلات الزراعية، دار الحكمة للطباعة والنشر، كلية الزراعة والغابات، جامعة الموصل، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، العراق.

الساعدي، فراس جمعة طه (2013) دراسة تأثير اعماق الحراثة والسرعة العملية للوحدة الميكنية في بعض صفات التربة الفيزيائية وصفات النمو لحاصل الذرة الصفراء. مجلة الفرات للعلوم الزراعية . (5)3: 282 – 287.

عبدالله، عدل احمد ويوسف يعقوب هلال (2014). تأثير المسافات وزوايا اللاختراق لسلاحي المحراث تحت التربة الثنائي وسرعة الجرار على الاهتزاز وبعض المؤشرات الحقلية والصفات الفيزيائية والميكانيكية للتربة. المجلة الاردنية في العلوم الزراعية (10) 3: 647-659 .

عبد علي، قاسم محمد (2013). تأثير نوع المحراث بأعماق حراثة وسرع مختلفة في بعض المؤشرات الفنية للوحدة الميكنية وصفات النمو وحاصل زهرة الشمس. مجلة الفرات للعلوم الزراعية 5 (3): 288-302.

عداي، شاكر حنتوش ووليد عبد الرضا جبيل ونور صالح عبد الجليل (2016). دراسة تأثير نظم الحراثة وطرق الزراعة في نمو وحاصل الذرة الصفراء (*Zea Mayz L.*). مجلة المثنى للعلوم الزراعية. 4 (1).

العطب، صلاح مهدي (2008). التغاير في خصائص التربة وتصنيفها لبعض مناطق محافظة البصرة . اطروحة دكتوراه –كلية الزراعة، جامعة البصرة.

القزاز، كمال محسن وحيدر فوزي محمود (2010). تأثير المخلفات النباتية والسرع العملية لأنواع مختلفة من المعدات في بعض الصفات الفيزيائية للتربة. مجلة الكوفة للعلوم الزراعية، 2 (2):89-98 .

الموسوي، كوثر عزيز وبهاء عبد الجليل عبد الكريم (2016a). تأثير المحراث تحت التربة الاعتيادي والمطور وعمق الحراثة في المحتوى الرطوبي للتربة الطينية في اثناء مراحل نمو محصول زهرة الشمس (*Helianthus annus* .L). مجلة واسط للعلوم والطب، 9(3):38-50.

الموسوي، كوثر عزيز وبهاء عبد الجليل عبد الكريم (2016b). تأثير المحراث تحت التربة الاعتيادي والمطور وعمق الحراثة في التوزيع الملحي الرطوبي للتربة الطينية في اثناء مراحل نمو محصول زهرة الشمس (*Helianthus annus* .L). مجلة البصرة للعلوم الزراعية، 29(2):619-632.

الموسوي، كوثر عزيز وبهاء عبد الجليل عبد الكريم (2017 a). تاثير المحراث تحت سطح التربة الاعتيادي والمطور وعمق الحراثة في الايصالية المائية المشبعة للتربة الطينية خلال فترات مختلفة ونمو وانتاج محصول زهرة الشمس.مجلة المثنى للعلوم الزراعية. 5 (2): 1-13.

الموسوي، كوثر عزيز وبهاء عبد الجليل عبد الكريم (2017b). تأثير المحراث تحت سطح التربة الاعتيادي والمطور وعمق الحراثة على دليل التفتيت والتوزيع الحجمي لتجمعات التربة. مجلة الكوفة للعلوم الزراعية. 4 (9) 310-320.

الموسوي، كوثر عزيز وبهاء عبد الجليل عبد الكريم (2017c). تأثير المحراث تحت سطح التربة الاعتيادي والمطور وعمق الحراثة على الكثافة الظاهرية والمسامية الكلية للتربة خلال مراحل نمو محصول زهرة الشمس (*Helianthus annus* .L). مجلة البصرة للعلوم الزراعية، مجلة أبحاث البصرة (العلميات). 43(1B) ، 1-17.

ناصر، عقيل جوني وأكرم عبد الدائم احمد وعباس عبد الحسين مشعل (2017). اقتراح السرعة الأمامية وعمق الحراثة والتنعيم المناسبين لأفضل كفاءة تفتيت تربه عند استعمال المحراث الحفار والمشط القرصي. المؤتمر الأول للبحوث الزراعية. العدد خاص (459 - 474).

نديوي، داخل ارضي وعبد الكريم فاضل حميد المعروف (2002). تأثير عمق الحارثة وطول اللوح الشريطي على بعض الخصائص الفيزيائية للترب الطينية وانتاجية محصول الشعير. مجلة البصرة للعلوم الزراعية، 15(3):261-283.

ياغي، منى خضر (2015). أثر تطبيق نظامي الحراثة الدنيا والحراثة الصفرية على إنتاجية الشعير. رسالة ماجستير، قسم الهندسة الريفية. كلية الهندسة الزراعية في جامعة حلب.

6-2- المصادر الاجنبية

Abagandura, G. O., Nasr, G. E. D. M., and Moumen, N. M. (2017). Influence of tillage practices on soil physical properties and growth and yield of maize in jabal al akhdar, Libya. Open Journal of Soil Science, 7(7), 118-132.

Abbaspour-Gilandeh, Y., Alimardani, R., Khalilian, A., Keyhani, A., and Sadati, S. H. (2016). Energy requirement of site-spECific and conventional tillage as affected by tractor speed and soil parameters. Int. J. A gric. Biol, 8(4), 499-503.

Abdalla, O. A., Elmahi, A. E. M., and Abbouda, S. K. (2019). Performance of disc and chisel ploughs and their effECts on some Soil physical properties. University of Khartoum Journal of Agricultural Sciences, 23(1).

Abo-Habaga, M., Khadr, K., Ghazy, M., and Helal, H. (2017). Energy requirements for combine machine to strip tillage and planting. Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 8(11), 583-586.

Abou Hussien, E. H. A., Nada, W. M., and Mahrous, H. (2020). Subsoiling Tillage and Compost Applications in Relation to Saline Soil Properties and its Productivity of Wheat. Environment, Biodiversity and Soil SECurity, 4(2020), 253-266.

Aday, S. A., Hameed, K. A., and Al-faris, M. A. (2019, September). Effect of a combined machine parts depths, soil depths and manure application on soil saturated hydraulic conductivity. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1294, No. 9, p. 092009). IOP Publishing.

Aday, S. A., Hameed, K. A., and Al-Faris, M. A. (2018). Studying the Effect of implement of two plowing depths and manure mixing with soil on the elECtrical conductivity. Thi-Qar Univ. J. for Agric. Res., 7 (2), 1-18

Aday, S.H., El-edan, H. and Al-maliky, J.C (2010). Further development of a modified chisel plow and studying. (A): The draft force and power requirements and the ability of soil pulverization (MWD) (part 1). Basrah J. Agric. Sci. 23 (2).

Afshar, R. K., and Dekamin, M. (2022). Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. Journal of Cleaner Production, 351, 131508.

Afshar, R. K., Cabot, P., Ippolito, J. A., Dekamin, M., Reed, B., Doyle, H., and Fry, J. (2022). Corn productivity and soil characteristic alterations following transition from conventional to conservation tillage. Soil and Tillage Research, 220, 105351.

Ahmed, M. A. A., and Al-Sayed, A. B. (2022). Effect of Forward Speed and Soil Type in Tractor Massey Ferguson Tractor (Model 290) Performance. Diyala Agricultural Sciences Journal, 14(2), 33-42.

Ajit K. Srivastava, Carroll E. Goering, Roger P. Rohrbach, and Dennis R. Buckmaster. (2006). Engineering Principles of Agricultural Machines, SECond Edition. In Engineering Principles of Agricultural Machines, SECond Edition. https://doi.org/10.13031/epam.2013

Alamouti, M. Y., and Mohammadi, P. (2015). Field evaluation of tillage practices in rainfed wheat planting. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 17(2).

Alamooti, Y. and Hedayatipoor A. (2019). Effect of conservative tillage on physical properties of soil in irrigated wheat production. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 21(4), 90-95.

Al-Azzawi, G., and Akbolat, D. (2018). Chisel plow tillage depth Effect on soil carbon dioxide emission. Scientific Papers-Series A-Agronomy, 61(1), 27-33.

Aldaoseri, M. J., and Muhsin, S. J. (2022). The Influence of Some SECondary Tillage Implement and Mixing Organic Residues on Some Physical Properties of Soil at the Beginning and End of the Oat (Triticum aestivum L.) Growing Season. In IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science (Vol. 1060, No. 1, p. 012139). IOP Publishing.

Aldoshin, N., Mamatov, F., Ismailov, I., and Ergashov, G. (2020). Development of combined tillage tool for melon cultivation. Engineering for Rural Development, 19, 767–772.

Alfaris, M. A. A., Almaliki, S., and Muhsin, S. J. (2020). Effect of adding wings to the shallow tines on the performance of subsoiler plow in the soil disturbed area, soil pulverization index and equivalent energy of pulverization. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 33(2), 196–206.

Alfaris, M. A., and Almaliki, S. (2022). Effect of Tillage Depth and Lateral Distance of Shallow Plows on the Mean Weight Diameter and the Energy of Soil Fragmentation by Using Locally Manufactured Subsoiler Plow. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1060, No. 1, p. 012129). IOP Publishing.

Alkhafaji, A. J. (2020). Designing and testing of triple combination tillage implement. Plant Archives, 20, 2363–2366.

ALkhafaji, A. J., Almosawi, A. A., and Alqazzaz, K. M. (2018). Performance of combined tillage equipment and it's Effect on soil properties. International Journal of Environment, Agriculture and BiotEChnology, 3(3), 799–805.

Al-Suhaibani, A. A., and Ghaly, A. E. (2013). Comparative study of the kinetic parameters of three chisel plows operating at different depths and forward speed in a Sandy Soil. The International Journal of Engineering and Sciences, 2(7), 42–59.

Amer, K. Z., Jebur, H. A., and Kasem, A. H. (2021). Evaluating Performance Indicators of MEChanized Unit and Maize Production. Indian Journal of ECology 48 SpECial Issue (17): 297-300

Archer, D. W., and Reicosky, D. C. (2009). EConomic performance of alternative tillage systems in the northern corn belt. Agronomy Journal, 101(2), 296–304. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0090x

Argyrokastritis, I. G., and Natsis, A. E. (2011). The Effect of Working Speed on Indices Used for the Evaluation of Seedbed Conditions. Journal of Agricultural Science and TEChnology, 1, 385–391.

ASABE Standards, (2006). ASAE D497.5, Agricultural machinery management data. Available at www.asabe.org.

Ashour, D. (2016). Effect Forward Speed of Tractor-Implement, Its Number of Traffic and Soil Compaction Depth in Some Soil Physical Properties. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 29(2), 74-83.

Ashour, D., and Safi, H. (2015). The Effect of Chesil Plow Type , Operating Depth and Forward Speed on The Energy Requirement and Some Filed Performance Indicators in Silty Clay Soil. Journal of Basrah Researches (Sciences), 41(3).

Askari, M., Shahgholi, G., and Abbaspour-Gilandeh, Y. (2017). The Effect of tine, wing, operating depth and speed on the draft requirement of subsoil tillage tines. Research in Agricultural Engineering, 63(4), 160–167.

Black CA (1965). Methods of Soil Analysis. Part I. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, p 1572

Bochtis, D., Sorensen, C. A. G., and Kateris, D. (2018). Operations Management in Agriculture. 1st Edition. Academic Press. USA.

Botta, Guido F., Antille, D. L., Bienvenido, F., Rivero, D., and Contessotto, E. E. (2019). Energy requirements for alleviation of subsoil compaction and the Effect of deep tillage on sunflower (Helianthus annus L.) yield in the western region of Argentina's rolling pampa. Engineering for Rural Development, 18(May), 174–178.

Bovas, J. J. L., Udhayakumar, R., James, P. S., Muthiah, A., Khatawkar, D. S., and James, A. (2022). Combined and Multifunctional Implements: A Promising Approach for Modern Farm MEChanization. Biological Forum – An International Journal 14(1): 1376-1383

Baek, S. Y., Baek, S. M., Jeon, H. H., Kim, W. S., Kim, Y. S., Sim, T. Y., and Kim, Y. J. (2022). Traction performance evaluation of the elECtric all-wheel-drive tractor. Sensors, 22(3), 785.

Burtan, L., Ţopa, D., Jităreanu, G., Calistru, A. E., Răus, L., Cara, I. G., and Cioroianu, T. (2020). The influence of conservative tillage systems on physico-chemical properties and yield under a cambic chernozem from northeastern part of Romania. Romanian agricultural research, (37), P141-149.

Celik A. and Altikat.S. (2020). Effect ts of various strip widths and tractor forward speeds in strip tillage on soil physical properties and yield of silage corn. Journal of Agricultural Sciences. 16, 169-179

Choudhary, S., Upadhyay, G., Patel, B., and Jain, M. (2021). Energy Requirements and Tillage Performance Under Different Active Tillage Treatments in Sandy Loam Soil. Journal of Biosystems Engineering, 46(4), 353-364.

Croitoru, S., Vladut, V., Marin, E., Matache, M., and Dumitru, I. (2016). Determination of subsoiler traction force influenced by different working depth and velocity. Engineering for rural development, Jelgava, 25, 817-825.

Dahab, M. H., Numan, M. H., and Abdalla, O. A. (2021). Field Performance Evaluation of a Combined Cultivator Developed at Kenana Sugar Company- Sudan. International Journal Of Scientific Advances, 2(3), 241–245.

Damanauskas, V., and Janulevicius, A. (2022). Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed, and tillage depth on fuel consumption. Journal of Agricultural Engineering, 53(3).

Eltoum, F. (2016). The Effect of tillage system on soil physical properties in Eddammer Locality of Northern Sudan. Annals of Agricultural and Environmental Sciences, 1(2). 27-34.

Fanigliulo, R., Biocca, M., and Pochi, D. (2016). EffECts of six primary tillage implements on energy inputs and residue cover in Central Italy. Journal of agricultural engineering, 47(3), 177-180.

Fanigliulo, R., Biocca, M., and Pochi, D. (2017). Evaluation of traditional and conservation tillage methods for cereal cultivation in central Italy. Chemical Engineering Transactions, 58, 211-216.

Foster, A. D., and Rosenzweig, M. R. (2022). Are there too many farms in the world? labor market transaction costs, machine capacities, and optimal farm size. Journal of Political EConomy, 130(3), 636-680.

Gathala, M. K., Timsina, J., Islam, M. S., Rahman, M. M., Hossain, M. I., Harun-Ar-Rashid, M., ... and McDonald, A. (2015). Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain

farmers' yields and increase profits in South Asia's rice–maize systems: Evidence from Bangladesh. Field Crops Research, 172, 85-98.

Gicheru, P. T., Gachene, C. K. K., and Mbuvi, J. P. (2005). EffECts of soil management practices and tillage systems on soil moisture conservation and maize yield on a sandy loam in semiarid Kenya. Journal of Sustainable Agriculture, 27(3), 77–92.

Gilandeh, M. R. A., Shahgholi, G., and Gilandeh, Y. A. (2022). Paraplough and Mouldboard Plow Performance Evaluation for Seedbed Preparation and Supporting Conservation Tillage. Acta TEChnologica Agriculturae, 25(3), 105-112.

Gill, W.R. and Vandenberg G.E. (1968). Soil dynamics in tillage and traction. Agriculturl research service United state Department of Agriculture.

Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., and Adiguzel, M. C. (2014). Tillage effECts on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. CATENA, 118, 195–205.

Grote, U., Fasse, A., Nguyen, T. T., and Erenstein, O. (2021). Food sECurity and the dynamics of wheat and maize value chains in Africa and Asia. Frontiers in Sustainable Food Systems, 4, 617009.

Hegazy, R., Abd-Rabou, A., Elsergany, A. M., and Abdelmouteleb, I. (2021). Development and testing mounted multi-use agricultural seedbed preparation machine for Egyptian soils. Journal of Sustainable Agricultural Sciences, 47(3), 13-26.

Hillel, D. (1980). Fundamentals of Soil Physics. Academic Press Inc. New York, U.K.

Inthiyaz, M., Tejaswini, C., Sivakumar, P., and Srigiri, D. (2020). Development of Mini Tractor Operated Combination Tillage Implement. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(9), 1894–1903.

Ivanov, A. B., Fedorenko, V. F., Tarkivsky, V. E., and Petukhov, D. A. (2021). Rational use of energy potential and reduction of the negative impact on the soil of agricultural tractor propellers using instrumental control of slipping. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 808, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.

Jabro, J. D., Stevens, W. B., Iversen, W. M., and Evans, R. G. (2010). Tillage effECts on bulk density and hydraulic properties of a sandy loam soil in the Mon-Dak Region, USA. In 19th world congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia (pp. 113-116).

Jackson, M.L. (1958). Soil Chemical Analysis. hall, Inc. Engle Wood Cliffs, N. J. USA.

Jalali, A., Navid, H. and Khalil V. B. (2015). The Effect of Tillage Method, Speed and Depth on Soil Chemical Properties in Wheat Fields in Aqqla City. 10th National conference of Agricultural Machine Engineering (Biosystem) and MEChanization of Mashhad, Iran.

Jasim, A. A., and Jwer, O. H. (2018). Evaluation the Performance Efficiency of Manufactured, Modified and Assembled Combine Implement and Studying It's Impact on Some Soil Physical Properties and Total Costs. International Journal of Environment, Agriculture and BiotEChnology, 3(2), 477–483.

Javadi, G., and Hajiahmad, A. (2006). Effect of a new combined implement for reducing sECondary tillage operation. International Journal of Agriculture and Biology, 8(6), 724-727.

Jebur, H. A. (2018). The Effect of power losses for agricultural tractor on tractive efficiency. Journal of Research in ECology, 6(1), 1481-1489.

Joseph, K.C. (1990). Machines in crop production. Cornell University, New York USA.

Juraev, F., Khamroyev, G., Khaydarova, Z., Khamroyev, I., and Ibodov, I. (2021). The usage of a combined machine in the process of preparing the land for planting. In E3S Web of Conferences (Vol. 264, p. 04092). EDP Sciences.

Kakahy, A. N. N., Alshamary, W. F. A., and Kakei, A. A. (2021). The Impact of Forward Tractor Speed and Depth of Ploughing in Some Soil Physical Properties. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 761, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

Khater, M. M. (2016). Using the mEChanization index to estimate the level of energy consumption in some newly rECognized agricultural farms. Egypt Journal of Agricultural Engineering, 33(4), 1223-1238.

Khemis, C., Abrougui, K., Mohammadi, A., Gabsi, K., Dorbolo, S., Mercatoris, B., and Chehaibi, S. (2022). Application of Artificial Neural Networks for Predicting the Impactof Tractor Speed on Soil Compaction by Penetrologger Test Results. Processes, 10(6), 1109.

Khurshid, K. A., Iqbal, M., Arif, M. S., and Nawaz, A. (2006). Effect of tillage and mulch on soil physical properties and growth of maize. International journal of agriculture and biology, 8(5), 593-596.

Kichler, C. M., Fulton, J. P., Raper, R. L., McDonald, T. P., and ZECh, W. C. (2011). EffECts of transmission gear selECtion on tractor performance and fuel costs during deep tillage operations. Soil and Tillage Research, 113(2), 105–111.

Li, L., Guan, J., Chen, S., and Zhang, X. (2022). Intermittent Deep Tillage on Improving Soil Physical Properties and Crop Performance in an Intensive Cropping System. Agronomy, 12(3), 688-694.

Liu, S., Zhang, X. Y., Kravchenko, Y., and Iqbal, M. A. (2015). Maize (Zea mays L.) yield and soil properties as affected by no tillage in the black soils of China. Acta Agriculturae Scandinavica, SECtion B—Soil and Plant Science, 65(6), 554-565.

Machado, T. D. A., Mendes, Í. N., de Moraes, E. R., and dos S Sousa, E. D. T. (2023). Modification of soil physical attributes as a function of subsoiling operations under different managements. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental-Agriambi, 27(4).

Martins, M. B., de Almeida Prado Bortolheiro, F. P., Testa, J. V. P., Sartori, M. M. P., Crusciol, C. A. C., and Lanças, K. P. (2021). Fuel consumption between two soil tillage systems for planting sugarcane. Sugar TECh, 23(1), 219-224.

Mckyes, E., (1985). Soil Cutting and Tillage. Developments in Agricultural Engineering, vol. 7, Elsevier, Amsterdam.

Medeiros, J. C., Figueiredo, G. C., Mafra, Á. L., Rosa, J. D., and Yoon, S. W. (2013). Deep subsoiling of a subsurface-compacted typical Hapludult under citrus orchard. Revista Brasileira de Ciencia Do Solo, 37(4), 911–919.

Mettke, A., Haase, E., and Schulz, H. (1981). Some results on consumption measurement of diesel fuel oil for ZT-300-C tractor. AgrartEChnik;(German Democratic Republic), 31(12).

Mohammadi, M., Karparvarfard, S. H., Kamgar, S., and Rahmatian, M. (2020). Optimization and Evaluation of Working Conditions of New Tillage Blade for Use in Tillage Tools. Journal of Agricultural Machinery, 10(2), 273-287.

Moitzi, G., Neugschwandtner, R. W., Kaul, H. P., and Wagentristl, H. (2021). Comparison of energy inputs and energy efficiency for maize in a long-term tillage experiment under Pannonian climate conditions. Plant, Soil and Environment, 67(5), 299-306.

Moitzi, G., Wagentristl, H., Refenner, K., Weingartmann, H., Piringer, G., Boxberger, J., and Gronauer, A. (2014). EffECts of working depth and wheel slip on fuel consumption of selECted tillage implements. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 16(1), 182–190.

Moitzi, G., Weingartmann, H., and Boxberger, J. (2006). EffECts of tillage systems and wheel slip on fuel consumption. The Union of Scientists-Rousse: Energy Efficiency and Agricultural Engineering, 7(9), 237-242.

Molenhuis, J. R. (2020). Budgeting Farm Machinery Costs. In Published by the Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs Canada. 1-75.

Moeinfar, A., Mousavi-Seyedi, S. R., and Kalantari, D. (2014). Influence of tillage depth, penetration angle and forward speed on the soil/thin-blade interaction force. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, *16*(1), 69-74.

Mottalib, M. A., Hossain, M. A., Hossain, M. I., Amin, M. N., Alam, M. M., and Saha, C. K. (2019). Assessment of cost-benefit parameters of conservation agricultural machinery for custom hires entrepreneurship in the southern region of Bangladesh. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 21(3), 94-103.

Muhsin, S.J. (2010). Studying the power losses of two and four wheel drive tractors (2WD and 4WD) of massy ferguson (2680). Journal of Basrah Researches (Sciences), 36(6): 59-66.

Myalo, V. V., Demshuk, E. V., Kuzmin, D. E., Soyunov, A. S., and Sabiev, U. K. (2019). Relevance for using machines appropriate to strip tillage.

In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 582, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

Myfield, W.; G. S. Hines, and L. Roberts (1981). A new method for estimating farm machinery costs. Trans of ASAE 24(5): 1446-1448.

Nascimento, E. M. S., Pereira, C. A. C. J. L., Queiroz, O. M., and Lima, A. I. O. (2021). EConomic analysis of maize production as a function of theatrical speed of the tractor-seeder set and the sowing site. Journal of EConomics and Sustainable Development, 12(8), 59-66.

Nasr, G. E., Tayel, M. Y., Abdelhay, Y. B., Sabreen, K. P., and Dina, S. S. (2016). TEChnical evaluation of a new combined implement for seedbed preparation. International Journal of Chemical TEChnology Research, 9(05), 193–199.

Nassir, A. J. (2021). Effect of subsoiler plow leg shape, tillage depth, and tractor speed on some of field Performance Indicators and yield of oats. University of Thi-Qar Journal of agricultural research 10, (2),105-112.

Negis, H., Mut, R., and Şeker, C. (2022). EffECtiveness of Conventional and Minimized Tillage Practices on Soil Quality Properties and Maize Yield Attributes. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 36(3), 438-446.

Oduma, O., C. S. Agu, B. O. Stephen, P. Ehiomogue, J. I. Eze, D. C. Nnadi, and K. N. Udensi. (2021). Effect of soil type and operational speed on performance of some selECted agricultural field machinery in South East Nigeria. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 23(1): 17-27.

Olaoye, J. O., and Adekanye, T. A. (2015). A survey of reliability of tillage equipment in Osun State, Nigeria. Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management, 8(1), 1-12.

Page, A.L.; R.H. Miller and D.R. Keeney (1982). Methods of soil analysis. Part (2) 2nd Agronomy 9. Petroleum Industry. Washington, D.C, American Chemical Society.

Painter, K. (2011). The costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest 2011. A Pacific Northwest Publication, 346.

Parmar, R. P., and Gupta, R. A. (2016). Development and performance evaluation of powered pulverizing with cultivator. Agricultural Engineering Today, 40(2), 3-9.

Poozesh, M., Mohtasebi, S. S., Ahmadi, H., and Asakereh, A. (2012). Determination of appropriate time for farm tractors replacement based on EConomic analysis. Elixir Control Engineering, 47(May), 8684–8688.

Prem, M., Ranjan, P., Dabhi, K. L., Baria, A. V., and T. Lepcha, P. (2017). Use of Different Tillage Tools for Minimizing Number of Passes in SECondary Tillage Operations. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 6(12), 3109–3116.

Prem, M., Swarnkar, R., Kantilal, V., Jeetsinh, P., and Chitharbhai, K. (2016). Combined Tillage Tools– A Review. Current Agriculture Research Journal, 4(2), 179–185.

Rajeshwar, J. R., and Sharma, A. K. (2022). Effect of tractor forward speed and depth on physical parameters of some tillage implements. The Pharma Innovation Journal, 11(5), 1679–1682.

Ramadhan, M.N. (2014). Development and Performance Evaluation of Double Tine Subsoilers in Silty Clay Loam Soil Part I: Draft Force, Disturbed area and SpECific Resistance. Mesopotamia J.of Agric., 42(1), 2071–2079.

Ramadhan, M. N. (2021). Yield and yield components of maize and soil physical properties as affected by tillage practices and organic mulching. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(12), 7152-7159.

Ramos, C. A. R., Souza, L. H., and Oliveira, F. G. (2020). EConomic Feasibility of Using Agricultural Tractors/Impacts for land Construction. Revista Engenharia na Agricultural-REVENG, 28, 176-184.

Ren, L., Nest, T. V., Ruysschaert, G., D'Hose, T., and Cornelis, W. M. (2019). Short-term effECts of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil. Soil and Tillage Research, 192, 76-86.

Reynolds, C. M. A., Burela, C. A., and López, L. J. A. (2022). Multipurpose tEChnology for simultaneous preparation of primary and sECondary

tillage of the soil (first phase: prototype design). Open Access J Sci, 5(1), 71-75.

Rizwan, M., Ahmed, K., Sarfraz, M., Nawaz, M. Q., Saqib, A. I., Qadir, G., and Nawaz, F. (2019). Effect of Different Tillage Implements and Gypsum for Fodder Production in Salt Affected Soils using High RSC Water. Cercetari Agronomice in Moldova, 52(2), 166–177.

Salama, D. S., Pibars, S. K., Abdelhay, Y. B., Tayel, M. Y., and Nasr, G. E. M. (2018). Development combined machine for seedbed preparation. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 20(1), 90-94.

Salar, M. R., Esehaghbeygi, A., and Hemmat, A. (2013). Soil loosening characteristics of a dual bent blade subsurface tillage implement. Soil and Tillage Research, 134, 17-24.

Sarauskis, E., Buragiene, S., Masilionyte, L., RomanECkas, K., Avižienyte, D., and Sakalauskas, A. (2014). Energy balance, costs and CO2 analysis of tillage tEChnologies in maize cultivation. Energy, 69, 227-235.

Sarauskis, E., Buragiene, S., RomanECkas, K., Sakalauskas, A., Jasinskas, A., Vaiciukevicius, E., and Karayel, D. (2012). Working time, fuel consumption and EConomic analysis of different tillage and sowing systems in Lithuania. Engineering for Rural Development, 11, 52-59.

Sessiz, A., Alp, A., and Gursoy, S. (2010). Conservation and conventional tillage methods on selECted soil physical properties and corn (Zea Mays L.) yield and quality under croppin system in Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 16(5), 597–608.

Sharma, A., Francis, A., and Tripathi, K (2019). Performance evaluation of cultivator and its influence on various soil physical properties. journal of pharmacognosy and phytochemistry, 8, 1688-1691.

Shojaee, A., Khalilimoghaddam, B., and Moradi, F. (2019). Short-Term Effect of Tillage Methods, Residue Levels, and Forward Speeds on Soil-Water Characteristic Curve (SWCC): A Case Study on the Eastern Soils of Karun River, Khuzestan Province, Iran. Desert, 24(2), 307-318.

Singh, B., and Malhi, S. S. (2006). Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. Soil and Tillage Research, 85(1–2), 143–153.

Solhjou, A., and Alavimanesh, S. M. (2022). Field evaluation of a bent leg tillage implement in dry soil conditions. Research in Agricultural Engineering, 69(2)

Suliman, K. H., and Elamin, S. M.(2021). Estimation of Cost and Net Return of Maize (Zea mays L.) Production Under Different Tillage, Irrigation and Sowing Practices in New Halfaarea, Kassala State, Sudan. Strategy and Development Review. (11):02 SpECial Issue (February 2021), p 480 – 491.

Taha, F. J., and Taha, S. Y. (2019). Effect of locally manufactured implement on energy utilization efficiency and operating costs. Journal of Physics: Conference Series, 1294(9).

Tahir, H. T., and Jeejo, N. H. (2019). Evaluation of the subsoiler tine designed and manufactured locally and its Effect on some power indicators and corn yield. Plant Archives, 19, 1241–1248.

Tayel, M. Y., Shaaban, S. M., and Mansour, H. A. (2015). Effect of plowing conditions on the tractor wheel slippage and fuel consumption in sandy soil. International Journal of ChemTECh Research, 8(12), 151–159.

Ten Damme, L., Schjønning, P., Munkholm, L. J., Green, O., Nielsen, S. K., and Lamandé, M. (2021). Soil structure response to field traffic: EffECts of traction and repeated wheeling. Soil and Tillage Research, 213, 105128.

Thuku, M. S. (2018). Effect of Chisel Ploughing on Physical and MEChanical Soil Properties: Case of a Clay Soil. Thesis PhD. Department of Environmental and Bio system Engineering, College of Agricultural Engineering and TEChnology. Nairobi University.

Tverdokhlebov, S. A., and Parkhomenko, G. G. (2017). Research of the new generation chisel plow. International scientific journal "MEChanization in Agriculture", 63(1), 33-36.

Tya, T. S. K. (2020). EffECts of tillage methods on some physical properties of sandy loam soil and seedling emergence of cowpea in girei, adamawa state, nigeria. Nigeria Journal of Engineering Science and TEChnology Research., 6(2), 45–53.

Upadhyay, G., and Raheman, H. (2018). Performance of combined offset disc harrow (front active and rear passive set configuration) in soil bin. Journal of TerramEChanics, 78, 27-37.

Upadhyay, G., and Raheman, H. (2020). Comparative assessment of energy requirement and tillage effECtiveness of combined (active-passive) and conventional offset disc harrows. Biosystems Engineering, 198, 266–279.

Usaborisut, P., and Prasertkan, K. (2018). Performance of combined tillage tool operating under four different linkage configurations. Soil and Tillage Research, 183, 109-114.

Usaborisut, P., Sukcharoenvipharat, W., and Choedkiatphon, S. (2020). Tilling tests of rotary tiller and power harrow after subsoiling. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19(6), 391-400.

Vagadia, V. R., Yadav, R., Chavda, D. B., Tomar, G., and Patel, D. (2020). Development and Performance Evaluation of Tractor Drawn Cultivator Cum Spike-Roller. Ama-agricultural mEChanization Asia, Africa and Lattin America 51(2), 72-78

Wang, S. B., Guo, L. L., Zhou, P. C., Wang, X. J., Shen, Y., Han, H. F., Ning, T. Y., and Han, K. (2019). Effect of subsoiling depth on soil physical properties and summer maize (Zea mays L.) yield. Plant, Soil and Environment, 65(3), 131–137.

Wang, Y. X., Chen, S. P., Zhang, D. X., Li, Y. A. N. G., Tao, C. U. I., Jing, H. R., and Li, Y. H. (2020). EffECts of subsoiling depth, period interval and combined tillage practice on soil properties and yield in the Huang-Huai-Hai Plain, China. Journal of Integrative Agriculture, 19(6), 1596-1608.

Wasaya, A., Tahir, M., Tanveer, A., and Yaseen, M. (2012). Response of maize to tillage and nitrogen management. The Journal of Animal and Plant Sciences, 22(2), 452-456.

Xuanbin, B., Xiangyu, Z., Jin, H., Hongwen, L., Qingjie, W., and Wenzheng, L. (2019). Design and performance test of plowing and rotary tillage combined machine. INMATEH-Agricultural Engineering, 58(2).

Youker, R. E.; and S. L. McGuines. (1958). A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soil. Soil Sci. Vol. 83: 291 –294.

Yu, Z., Jia, H., Zhang, C., Araya, K., Teramoto, C., Liu, F., Zhu, B., Meng, Q., Wang, N., Zhang, M., Wu, Z., Shi, Y., and Li, D. (2013). Three-stage subsoil interval mixing plough for improvement of planosol - Part 2: Soil improvement and crop yield. Engineering in Agriculture, Environment and Food, 6(4), 191–196.

Zhao, J., Lu, Y., Guo, M., Fu, J., and Wang, Y. (2021). Design and experiment of bionic stubble breaking loosening combined tillage machine. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 14(4), 123-134.

Zhou, H., Zhang, J., Zhu, Y., Zhang, C., Tahir, H. M., and Xia, J. (2017). Design and experiment of combined tillage machine for subsoiling and rotary burying of straw incorporated into soil. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 33(22), 17-26.

Zhang, S., Chen, X., Jia, S., Liang, A., Zhang, X., Yang, X., and Zhou, G. (2015). The potential mEChanism of long-term conservation tillage effECts on maize yield in the black soil of Northeast China. Soil and Tillage Research, 154, 84-90.

Zoz, F.M. and Grisso, R.D. (2003). Traction and Tractor Performance, ASAE Distinguished LECture Series, Tractor Design No.27 USA www.asae.org

7- الملاحق Appendixes

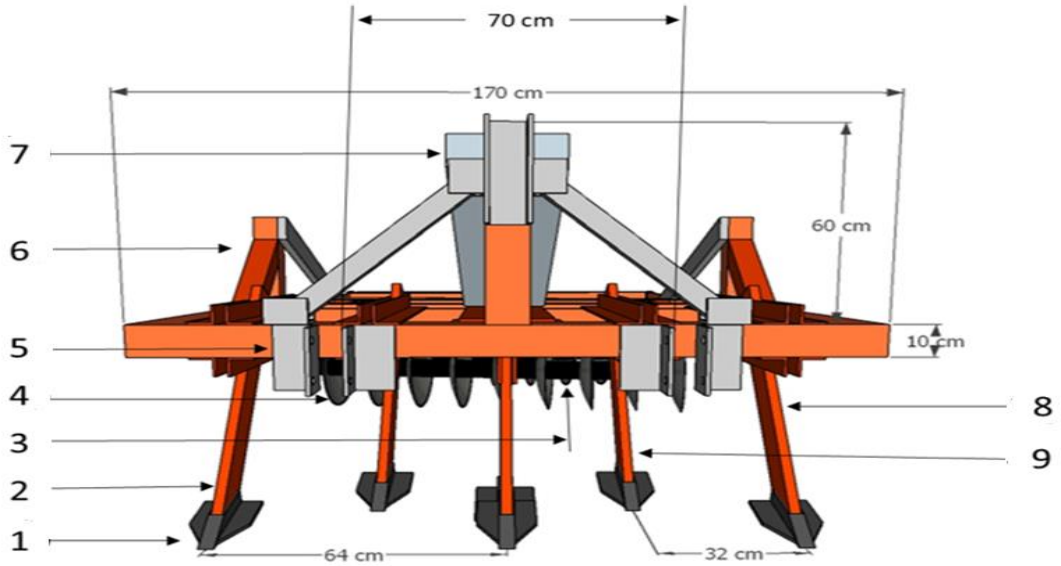
-أ-

-ب-

-ت-

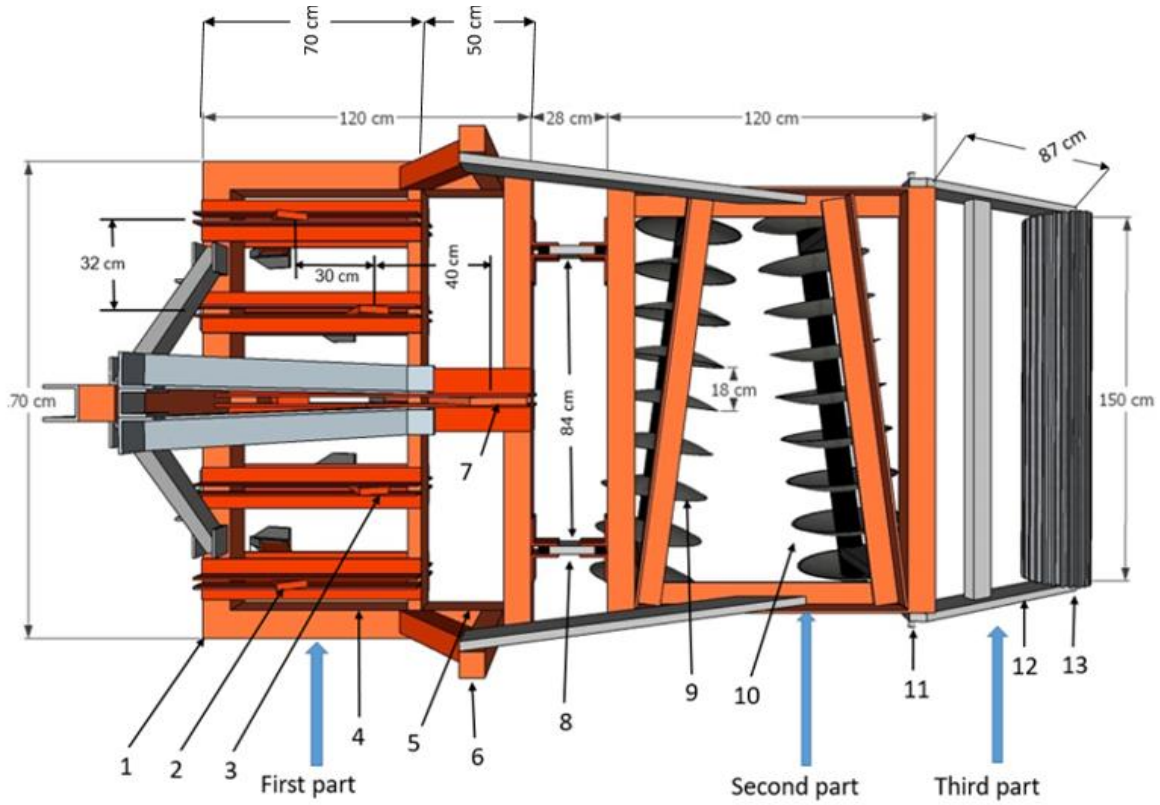
أ-منظر جانبي لآلة الحراثة المركبة. ب منظر امامي لآلة الحراثة المركبة. ت- آلة الحراثة المركبة (محراث تحت التربة + محراث حفار + مشط قرصي + حادلة).

ملحق (1) صور مختلفة لآلة الحراثة المركبة.



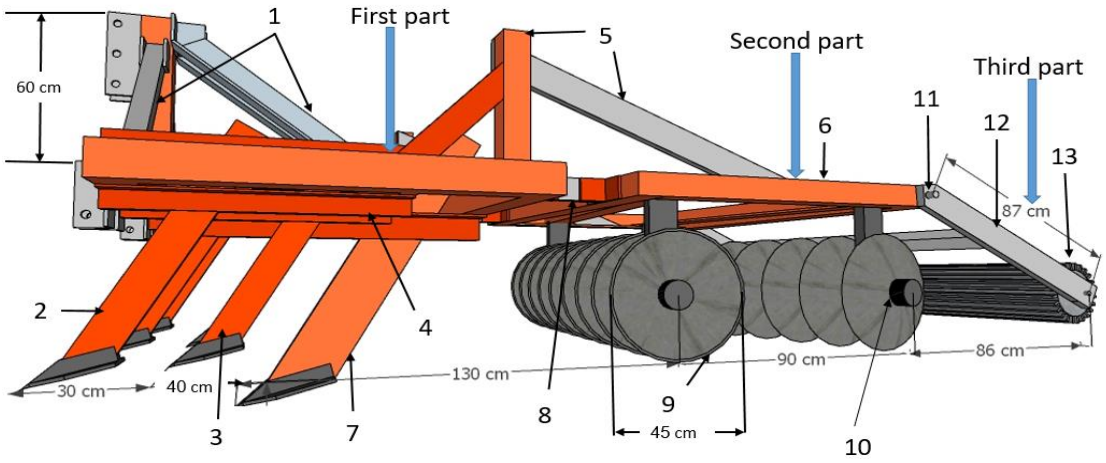
1-القدم ذو الاجنحة 2- سلاح المحراث الحفار 3- الحادله 4 – أقراص التنعيم 5- نقطتي الشبك السفلية 6- عوارض اسناد الجزء المفصلي للأقراص 7- نقطة الشبك العليا 8 – الأسلحة الحفارة في الصف الأول 9 – الأسلحة الحفارة في الصف الثاني

ملحق (2): شكل امامي لآلة الحراثة المركبة



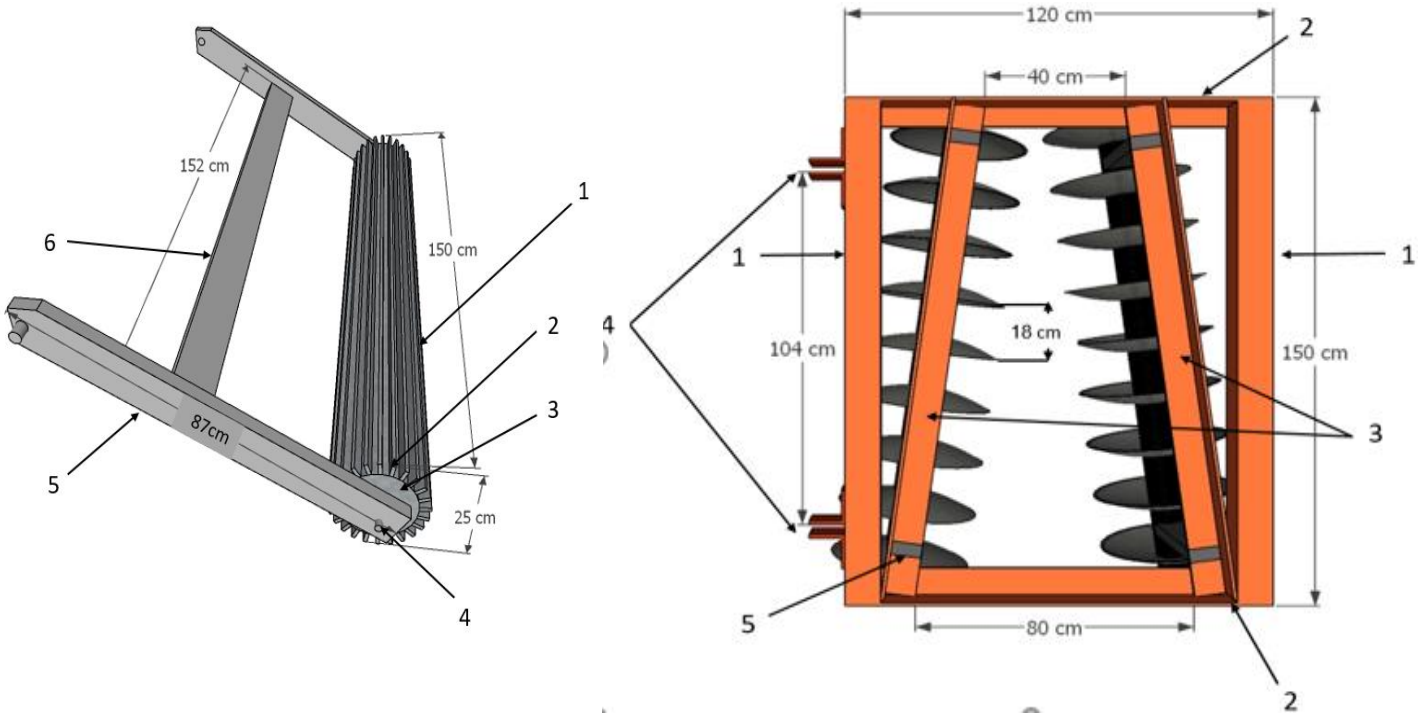
1- هيكل المحراث الحفار 2- ساق المحراث الحفار في الصف الامامي 3- ساق المحراث الحفار في الصف الخلفي 4 – قطع حديد الزاوية العليا لتثبيت الأسلحة الحفارة 5- هيكل المحراث تحت سطح التربة 6 – عوارض اسناد الجزء المفصلي للأقراص 7 - ساق المحراث تحت سطح التربة 8 - الربط المفصلي بين هيكل المحراث وهيكل الامشاط 9 – الصف الامامي للأمشاط القرصية 10 - الصف الخلفي للأمشاط القرصية 11 - نقطة الربط المفصلي للحاذلة 12- هيكل الحادله 13- الحادله

ملحق (3): شكل رأسي لآلة الحراثة المركبة



1- هيكل المحراث الحفار 2- ساق المحراث الحفار في الصف الامامي 3- ساق المحراث الحفار في الصف الخلفي 4 – قطع حديد الزاوية السفلى لتثبيت الأسلحة الحفارة 5- عوارض اسناد الجزء المفصلي للأقراص 6- هيكل الامشاط 7 - ساق المحراث تحت سطح التربة 8 - الربط المفصلي بين هيكل المحراث وهيكل الامشاط 9 – الصف الامامي للأمشاط القرصية 10 - الصف الخلفي للأمشاط القرصية 11 - نقطة الربط المفصلي للحاذلة 12- هيكل الحادله 13- الحادله.

ملحق (4): شكل جانبي لالة الحراثة المركبة



1- حديد مربع مجوف 2- حديد زاوية 3- حديد زاوية مائل بزاوية 18 درجة 4- نقاط الربط المفصـــلي مع هيكل المحراث 5- نقطة تثبيت مجموعة الأقراص المقعرة

ملحق (5): شكل رأسي للمشط القرصي

1- أســـطوانة الحادله 2- العوارض الحديه بين حلقتي أســـطوانة الحادله 3- الحلقة المزودة بها اســـطوانة الحادله 5- هيكل الحادله 6- حديد اسناد الهيكل

ملحق (6): منظور للحاذلة وهيكلها

ملحق (7) جدول يوضح كيفية حساب دليل تفتيت التربة لعينة تربة وزنها 175.8 كغم

مأخوذة من معاملة الحراثة (T1X G2)

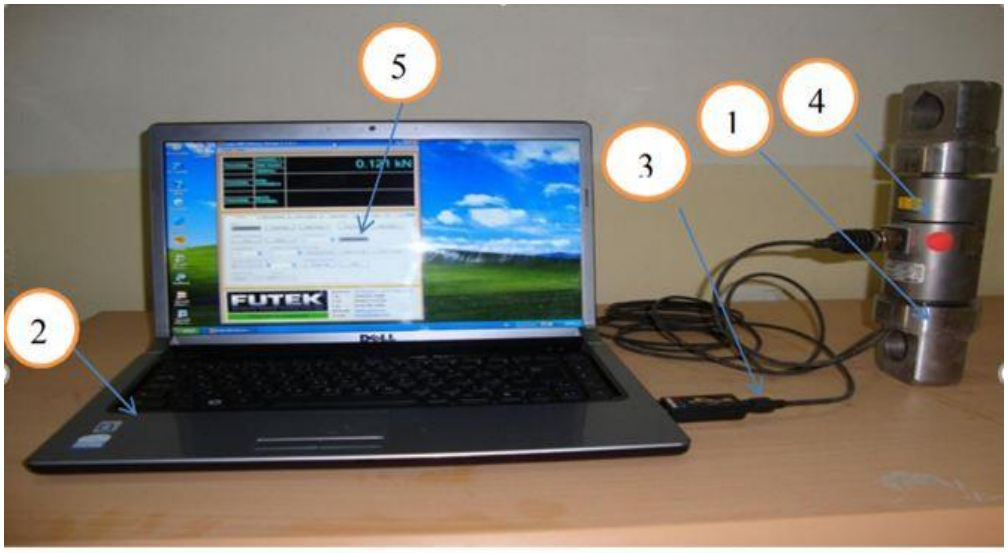
مديات المناخل	معدلات مديات المناخل m (ملم)	وزن التربة المتبقي على المنخل Wi (كغم)	متوسط نسبة الاوزان (ملم) $Xi = \frac{Wi * m}{\sum w}$
70 – 100	85	10	4.84
50 – 70	60	20	6.83
30 – 50	40	18	4.10
20 – 30	25	22.8	3.24
5 – 20	12.5	30	2.13
2 – 5	3.5	15	0.30
1.7 – 2	1.85	40	0.42
1.7 >	0.85	20	0.10
		Wi=175.8	PI= 21.95

–أ– **–ب–**

أ - الجرار CASE JX75T

ب - الجرار Massey-Ferguson 440 xtra

ملحق (8) الجرارات الزراعية المستعملة في التجربة

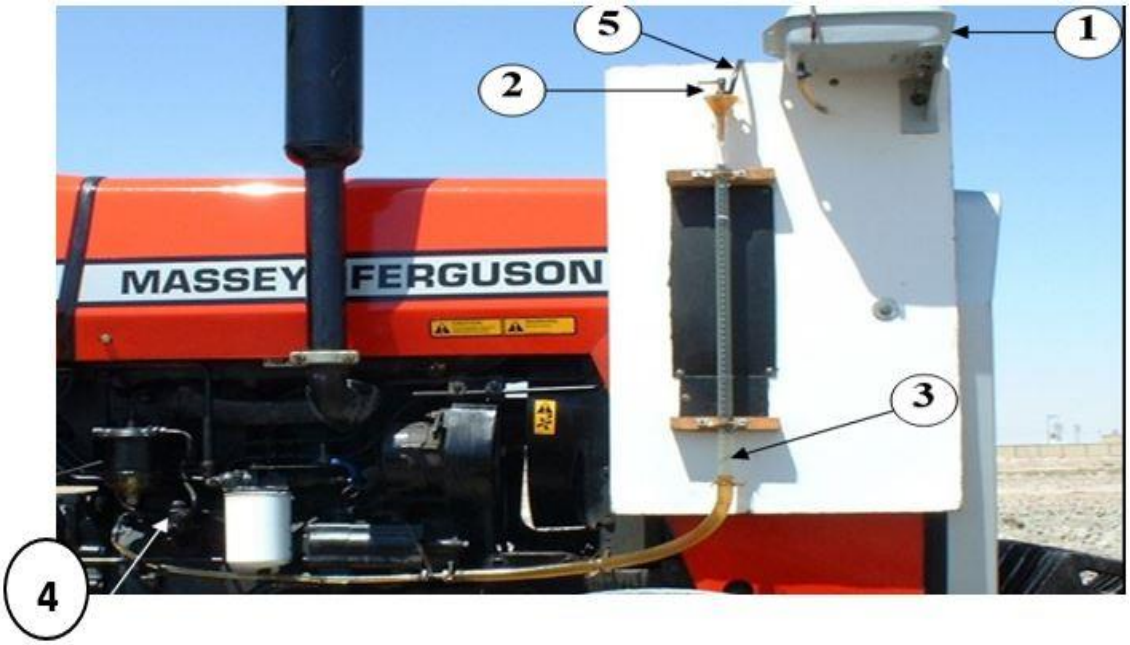


1. الخلية الوزنية 2. جهاز الكومبيوتر 3 . سلك نقل البيانات .USB

4. نقاط تثبيت الجهاز على مصدر السحب ومصدر الحمل.

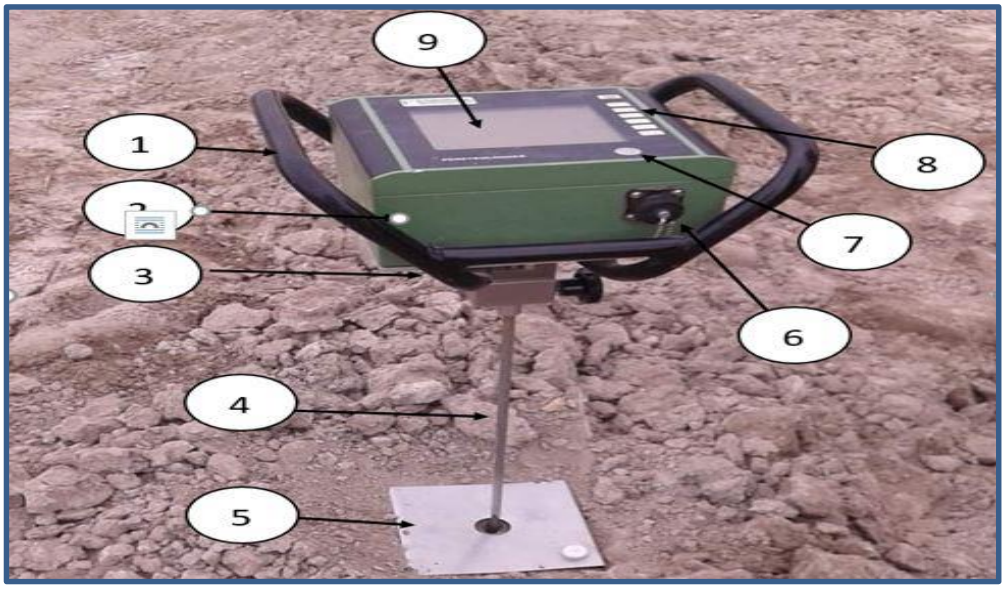
5. برنامج تسجيل وحفظ البيانات على الكمبيوتر

الملحق (9) جهاز قياس قوة السحب (خلية الحمل Load Cell)



1- خزان الوقود 2- صمام مخروطي 3- أسطوانة مدرجة 4- مضخة التغذية 5- أنبوب ارجاع الفائض من الوقود

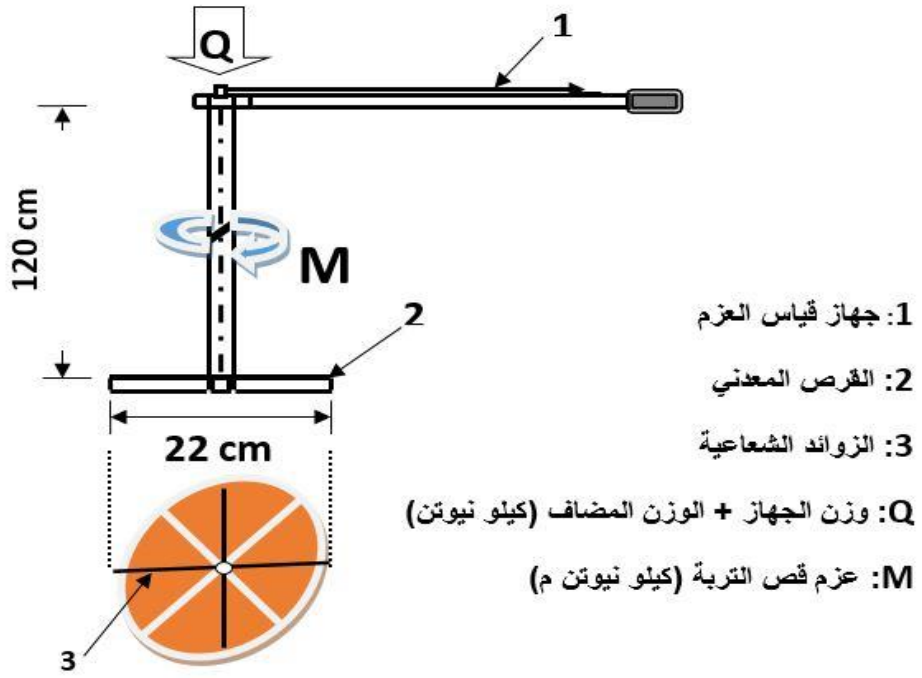
ملحق (10) جهاز قياس استهلاك الوقود وهو مثبت على الجرار



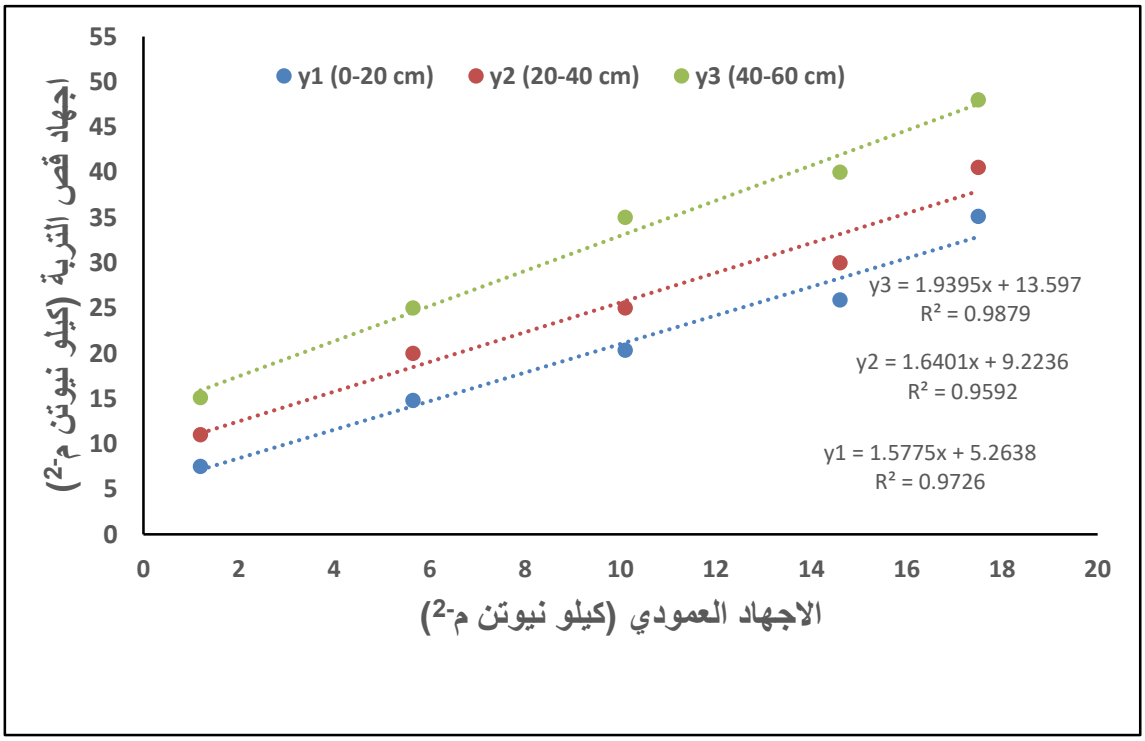
1 – مقابض معزولة كهربائياً 2–جهاز الاختراق الرقمي 3– تثبيت عمود المخراق 4– عمود المخراق 5– قطعة معدنية تحتوي على فقاعة لضبط الميزانية العمودية بين الجهاز وسطح التربة 6– نقطة اتصال 7– فقاعة ضبط الميزانية الرأسية 8– لوحة التحكم 9– شاشة عرض البيانات

ملحق (11) جهاز قياس مقاومة التربة للاختراق الرقمي

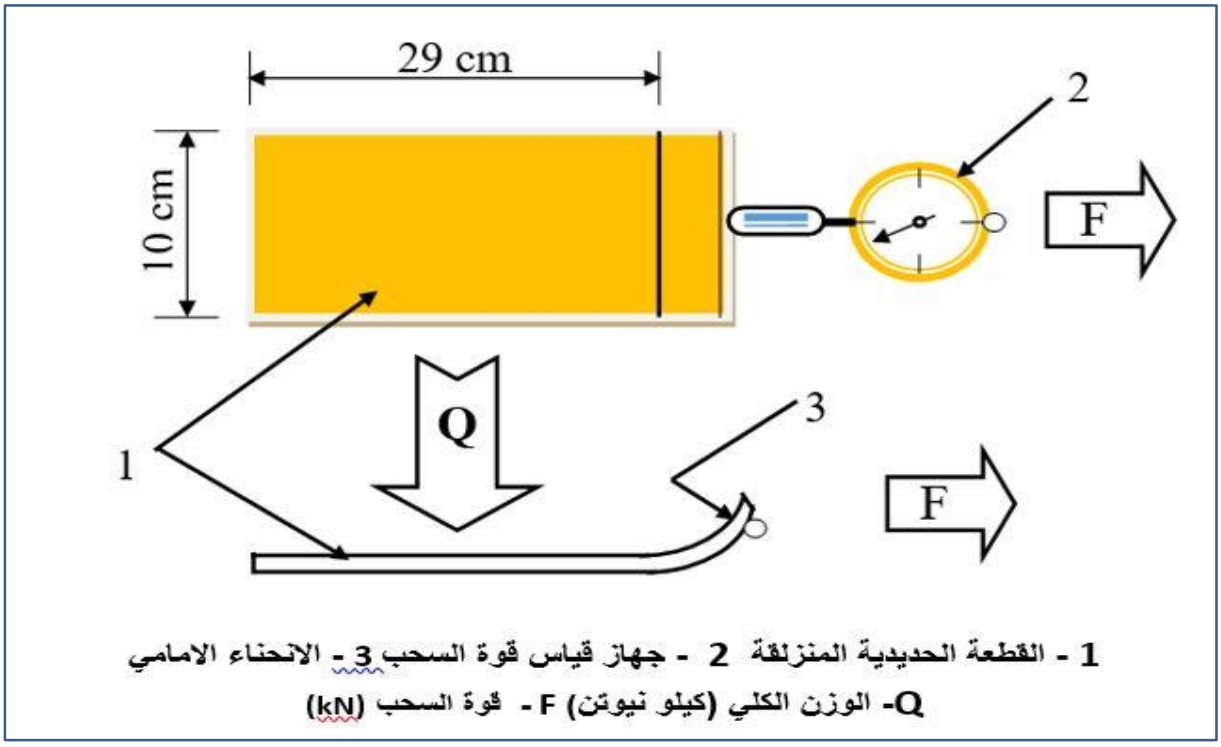
ملحق (12) جهاز النخل الكهربائي.



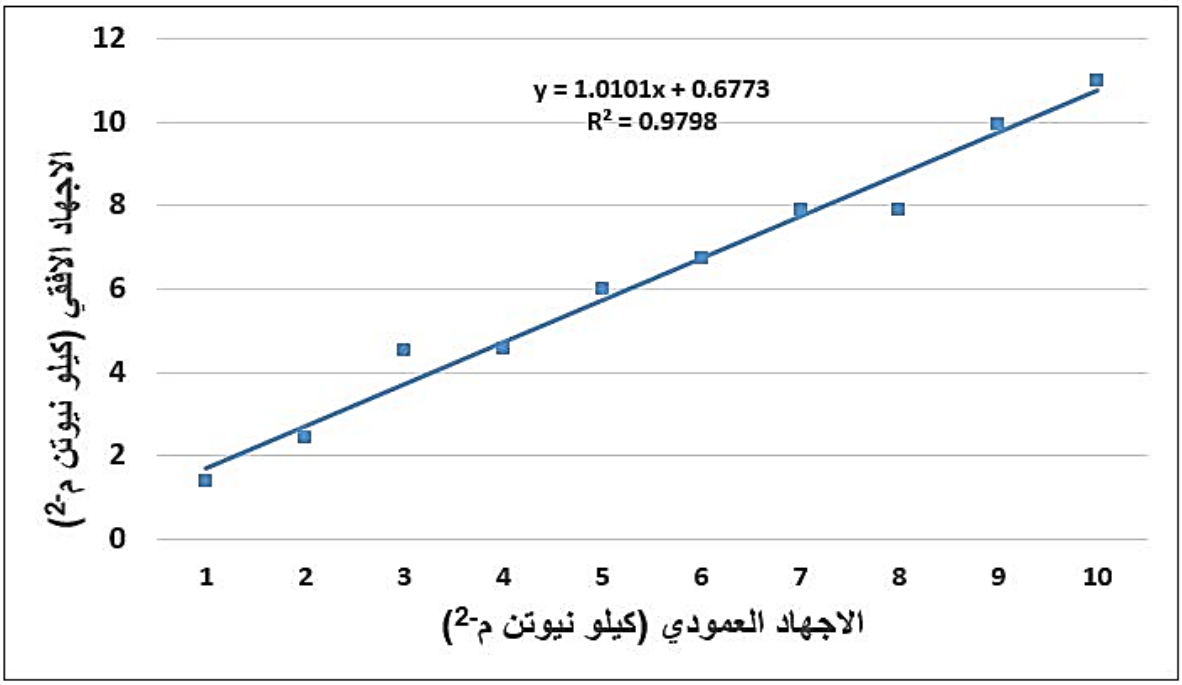
الملحق (13) مخطط لجهاز قياس قوة التماسك والاحتكاك الداخلي للتربة.



ملحق (14) العلاقة بين الإجهاد الأفقي والإجهاد العمودي لأعماق التربة.



الملحق (15) **مخطط لجهاز قياس الالتصاق والاحتكاك ما بين التربة والمعدن**



ملحق (16) العلاقة بين الإجهاد العمودي والإجهاد الأفقي لحساب الالتصاق.

الملحق (17) قيم F من جداول تحليل التباين لصفات التجربة الميكانيكية.

Source of Variation (S.O.V.)	d.f	قوة السحب	نسبة الانزلاق	القدرة المفقودة	معدل زمن الحراثة	الكفاءة القلية	معدل استهلاك الوقود	دليل تفتيت التربة
T	4	171.97**	71.65**	12.24**	1.77**	153.28**	126.31**	1816.03**
G	1	479.30**	24.78**	45.39**	21.61**	371.74**	198.09**	1527.81**
T X G	4	8.58**	0.29**	1.21**	0.69**	1.92**	36.31**	31.23**

** عالي المعنوية * معنوي ns غير معنوي

الملحق (18) قيم (t) المحسوبة لمعدل الزمن اللازم لإنجاز عملية الحراثة واستهلاك الوقود

مصادر الاختلاف		
T v.s M	زمن الحراثة	استهلاك الوقود
T1 v.s M1	7.03**	44.56**
T2 v.s M2	8.50**	49.82**
T3 v.s M3	4.16**	28.63**
T4 v.s M4	4.11**	20.37**
T5 v.s M5	2.56**	17.31**

T: معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة. M : معاملات الحراثة التقليدية باستخدام أدوات الحراثة منفردة.

** عالي المعنوية *= معنوي ns = غير معنوي

ملحق (19) التحليل الاحصائي لاختبار F لخصائص التربة في بداية موسم النمو

Source of Variation (S.O.V.)	d.f	MWD	ρb	*f*	MC	PR	Ks	EC
T	4	644.97**	11503.92**	11256.56**	260.60**	1103.63**	285.32**	470.79**
G	1	646.12**	4569.76**	4569.76**	123.196**	557.07**	117.17**	2.92**
D	2	79.88**	76.43**	76.43**	0.69 ns	48.77**	27.38**	18.42**
T X G	2	1397.16**	19397.56**	19284.99**	468.88**	11.27**	1391.78**	1761ns
T X D	8	1.55 ns	576.20**	576.20**	1.45 ns	35.54**	15.02**	59.8**
G X D	2	5.12*	3.16**	3.16**	27.69**	2.14ns	6.74**	3.67*
T X D X G	8	2.61*	139.10**	138.55**	0.54 ns	2.10 ns	4.77**	24.16**

** عالي المعنوية * معنوي ns غير معنوي

ملحق (20) التحليل الاحصائي لاختبار F لخصائص التربة في نهاية موسم النمو

Source of Variation (S.O.V.)	d.f	MWD	ρb	*f*	MC	PR	Ks	EC
T	4	645.17**	1248.24**	1214**	254.60**	1115.12**	650.33**	2783.73**
G	1	645.12**	10686.04**	35673.47**	125.86**	525.34**	364.15**	69.82**
D	2	80.88**	64.61**	129.83**	0.72 ns	370.15**	17.88**	0.39**
T X G	2	1387.16**	43642.67**	141500**	470.93**	8.04**	4775.25**	534.34 ns
T X D	8	1.55 ns	312.91**	1019.79**	1.37 ns	70.32**	39.40**	20.93**
G X D	2	5.12*	31.93**	15.88**	26.73 **	0.54 ns	49.24**	15.48**
T X D X G	8	2.61*	175.40**	665.56**	0.51 ns	8.89**	4.16**	0.94 ns

** عالي المعنوية *معنوي ns غير معنوي

ملحق (21) قيم t المحسوبة لتأثير فترة النمو في صفات التربة المدروسة

مصادر الاختلاف	MWD	ρb	*f*	pw	PR	Ks	EC
قيم t	4.01**	3.41**	4.01**	5.91**	8.11**	5.67**	14.15**

** عالي المعنوية *= معنوي ns = غير معنوي

ملحق (22) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة وعمق التربة في معدل القطر الموزون (ملم) بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم			نـــهاية الموســـم		
	عمـــــــق التربـــــــة					
	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)	D1 (20-0 سم)	D2 (40-20 سم)	D3 (60-40 سم)
T1	0.78	0.70	0.61	0.94	0.85	0.77
T2	0.73	0.61	0.54	0.83	0.76	0.69
T3	0.74	0.66	0.56	0.86	0.79	0.70
T4	0.68	0.58	0.52	0.78	0.70	0.63
T5	0.55	0.47	0.41	0.70	0.61	0.55
RLSD 0.05	ns			ns		

ملحق (23) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في المحتوى الرطوبي بداية ونهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الامـــاميـــة			
	G1 (1.5 كم ساعة-1)	G2 (3 كم ساعة-1)	G1 (1.5 كم ساعة-1)	G2 (3 كم ساعة-1)
T1	13.80	16.85	18.41	21.23
T2	18.71	21.39	22.21	25.34
T3	17.71	19.29	23.61	25.18
T4	20.33	22.69	25.33	27.69
T5	23.05	25.85	28.05	30.85
RLSD 0.05	ns		ns	

ملحق (24) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة عمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة بداية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــــداية الموسم		
		عمق التربة	
	D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)
T1	11.58	16.09	18.30
T2	17.16	20.49	22.48
T3	14.50	19.60	21.41
T4	17.66	21.75	25.12
T5	21.58	23.91	27.86
RLSD 0.05	ns		

ملحق (25) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في المحتوى الرطوبي للتربة بداية موسم النمو

معاملات الحراثة	عمق التربة	بداية الموسم – السرعة الامامية G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	بداية الموسم – السرعة الامامية G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	نهاية الموسم – السرعة الامامية G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	نهاية الموسم – السرعة الامامية G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	10.33	12.83	14.67	16.83
	D2	14.5	17.67	19	22
	D3	16.57	20.04	21.57	24.87
T2	D1	16.5	17.83	20.17	22.83
	D2	18.79	22.2	22.46	25.87
	D3	20.83	24.14	24	27.31
T3	D1	14.33	14.67	19.67	20
	D2	18.83	20.37	24.5	26.04
	D3	19.98	22.84	26.65	29.51
T4	D1	17	18.33	22	23.33
	D2	20.67	22.83	25.67	27.83
	D3	23.33	26.91	28.33	31.91
T5	D1	20.33	22.83	25.33	27.83
	D2	22.5	25.33	27.5	30.33
	D3	26.32	29.39	31.32	34.39
RLSD 0.05		ns		ns	

ملحق (26) تأثير التداخل بين السرعة الامامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختـــــــــــــــراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية ونهاية موسم النمو

السرعة الامامية	بـداية الموسـم – عمق التربة (سم) D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)	نـهاية الموسـم – عمق التربة (سم) D1 (0-20 سم)	D2 (20-40 سم)	D3 (40-60 سم)
G1	651	720	854	951	1020	1201
G2	830	891	1001	1130	1191	1361
RLSD 0.05	ns			ns		

ملحق (27) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في مقاومة التربة للاختراق (كيلو نيوتن م$^{-2}$) بداية موسم النمو

معاملات الحراثة	بداية موسم		
		السرعة الامامية	
	عمق التربة (سم)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	D1	780	980
	D2	870	1030
	D3	950	1040
T2	D1	955	1110
	D2	1000	1155
	D3	1090	1203
T3	D1	910	1017
	D2	980	1117
	D3	1025	1138
T4	D1	1000	1163
	D2	1080	1203
	D3	1153	1523
T5	D1	1110	1380
	D2	1170	1450
	D3	1787	1900
RLSD 0.05		ns	

ملحق (28) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) نهاية موسم النمو

معاملات الحراثة	بـــداية الموســـم		نـــهاية الموســـم	
	السـرعة الامـــاميـــة			
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)
T1	13.17	13.93	7.22	7.75
T2	14.46	15.64	8.12	8.95
T3	13.01	14.19	7.20	7.93
T4	15.71	16.89	9.00	9.82
T5	16.69	17.87	9.68	10.51
RLSD 0.05	ns		ns	

ملحق (29) تأثير التداخل بين معاملات الحراثة والسرعة الامامية وعمق التربة في الايصالية الكهربائية للتربة (ديسيسمنز م$^{-1}$) نهاية موسم النمو

بداية موسم			
السرعة الامامية		عمق التربة	معاملات الحراثة
G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)		
6.33	6.70	D1	T1
7.05	7.72	D2	
8.28	8.84	D3	
6.74	7.91	D1	T2
8.15	8.89	D2	
9.48	10.04	D3	
6.00	6.89	D1	T3
7.13	7.88	D2	
8.46	9.03	D3	
7.61	8.78	D1	T4
9.03	9.77	D2	
10.35	10.92	D3	
8.30	9.47	D1	T5
9.71	10.45	D2	
11.04	11.60	D3	
	ns		RLSD 0.05

ملحق (30) التحليل الاحصائي لاختبار F لصفات النبات المدروسة

Source of Variation (S.O.V.)	d.f	ارتفاع النبات	الوزن الجاف	حاصل الحبوب
T	4	152.40**	1056.07**	349.19**
G	1	66.98**	313.09**	313.57**
T X G	4	3.21*	0.03*	0.02*

** عالي المعنوية *= معنوي ns = غير معنوي

ملحق (31) تأثير معاملات الحراثة والسرعة الامامية والتداخل بينهما في التكاليف الكلية للـــــــــــجرار (دينار هكتار$^{-1}$)

معاملات الحراثة	السرعة الامامية (كم ساعة$^{-1}$)		المعدل
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	
T1	133632	127431	130531.5
T2	129940	123085	126512.5
T3	123360	123440	123400
T4	126863	121249	124056
T5	123985	119422	121703.5
المعدل	127556	122925.4	
RLSD 0.05	معاملات الحراثة : 320.2		
	السرعة الامامية : 202.5		
	التداخل: 452.8		

ملحق (32) تأثير معاملات الحراثة والسرعة الامامية والتداخل بينهما في التكاليف الكلية لتراكيب آلة الحراثة المركبة (دينار هكتار$^{-1}$)

معاملات الحراثة	السرعة الامامية (كم ساعة$^{-1}$)		المعدل
	G1 (1.5 كم ساعة$^{-1}$)	G2 (3 كم ساعة$^{-1}$)	
T1	30235	21376	25805.5
T2	24959	15166	20062.5
T3	15560	15674	15617
T4	20564	13568	17066
T5	16453	12254	14353.5
المعدل	21554.2	15607.6	
RLSD 0.05	معاملات الحراثة : 320.2		
	السرعة الامامية : 202.5		
	التداخل: 452.8		

ملحق (33) التحليل الاحصائي لاختبار F للمؤشرات الاقتصادية

Source of Variation (S.O.V.)	d.f	التكاليف الكلية للوحدة الميكنية	التكاليف الكلية للإنتاج	العائد الاجمالي	صافي العائد
T	4	1097.47**	1097.67**	388.10**	378.56**
G	1	2408.70**	2618.33**	313.66**	297.98**
T X G	4	194.19**	200.21**	0.02*	0.04 *

** عالي المعنوية *= معنوي ns = غير معنوي

ملحق (34) قيم (t) المحسوبة للتكاليف الكلية وصافي العائد عند مقارنة تراكيب آلة الحراثة المركبة مع الحراثة التقليدية باستخدام أدوات الحراثة منفردة

T5 VS M5	T4 VS M4	T3 VS M3	T2 VS M2	T1 VS M1	T V.S M
39.17**	61.67**	65.01**	71.03**	139.06**	التكاليف الكلية
74.66**	61.67**	136.97**	173.77**	175.45**	صافي العائد

T: معاملات الحراثة بآلة الحراثة المركبة.M : معاملات الحراثة التقليدية باستخدام أدوات الحراثة منفردة.

** عالي المعنوية *= معنوي ns = غير معنوي

ملحق (35) مقارنة حاصل الحبوب لمعاملات التجربة للحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة مع معاملات الحراثة التقليدية

قيم t المحسوبة	حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$)	الحراثة التقليدية	حاصل الحبوب (ميكا غرام هكتار$^{-1}$)	معاملات الحراثة باستعمال آلة الحراثة المركبة
15.57**	5.44	M1	6.28	T1
21.3**	4.00	M2	5.50	T2
30.21**	4.58	M3	5.87	T3
14.7**	4.10	M4	4.60	T4
17.75**	3.08	M5	4.10	T5

ملحق (36) صور مختلفة توضح مراحل نمو المحصول

Abstract

The combined tillage machine (soil preparation machine) was designed and construction in the workshops of the Machinery and Agricultural Machines Department at the College of Agriculture, University of Basrah. The mechanical performance of the machine and its combinations, as well as their impact on soil properties and the growth of maize (Zea mays L.), were evaluated. Additionally, economic indicators for the mechanical unit were calculated. The combined tillage machine was used with five combinations (plowing configurations), including the following: the first combination (T1) consisted of a subsoiler working at a depth of 60 cm, a chisel plow, a disc harrow, and a roller. The second combinations (T2) included a subsoiler working at a depth of 40 cm, a chisel plow, a disc harrow, and a roller. The third combinations (T3) comprised a chisel plow working at a depth of 20 cm, along with a subsoiler operating at a depth of 60 cm. The fourth setup (T4) had a chisel plow working at a depth of 20 cm and a subsoiler operating at a depth of 40 cm. The fifth combinations (T5) included a chisel plow and a disc harrow. Three experiments were conducted at the Research Station of the College of Agriculture/University of Basra in the Karama Ali location (latitude 30°30'N, longitude 47°74'E) on clay soil during the 2021 agricultural season. Mechanical performance indicators (draft force, slip percentage, power loss, plowing time rate, field efficiency, fuel consumption rate, and soil pulverization index) were calculated for the combined tillage machine and its combinations (T1, T2, T3, T4, T5) at two forward speeds (1.5 and 3 km h^{-1}). The results were analyzed using a randomized complete block design (RCBD) with split-plot design, and the means were compared using the least significant difference test (RLSD) at a 0.05 probability level. Field experiments were conducted to study the impact of combined tillage machine combinations (T1, T2, T3, T4, T5) and forward speed (1.5 and 3 km h^{-1}) on the physical and chemical properties of soil (mean diameter, bulk density, total porosity, soil penetration resistance, moisture content, saturated hydraulic conductivity, and soil electrical conductivity) and the growth of

yellow corn plants (plant height, dry of total aboveground biomass, and grain yield) at the beginning and end of the plant growth season and at three soil depths (0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm). Plant growth and grain yield indicators were measured at the end of the plant growth season, and the results were analyzed using a randomized complete block design with split-plot design. The means were compared using the RLSD test at a 5% probability level. Economic indicators for the combined tillage machine combinations (T1, T2, T3, T4, T5) at two forward speeds (1.5 and 3 km h^{-1}) were calculated and compared with those of traditional plowing systems (M1, M2, M3, M4, M5). The economic analysis included calculating the total costs of the mechanical unit, total production costs, total returns, net return, and the interest rate. The study revealed the following results:

1- Tillage treatment (T1) recorded the highest draft force, slippage percent, power loss, average tillage time, as well as the highest total costs per mechanical unit, total production costs, total yield, net yield, and interest rate compared to the other tillage treatments (T2, T3, T4, T5).

2- The low forward speed of 1.5 km h^{-1} achieved the lowest draft force, slippage, power loss, average tillage time, lowest field efficiency, soil pulverization index and the highest total return, net return, and benefit cost ratio compared to the high forward speed (3 km h^{-1}), with rates of 13.53%, 19.88%, and 12.41%, respectively, compared to the high forward speed of 3 km h^{-1}.

3- The interaction between the combination plowing machine's structures and the tractor's forward speed had a significant effect on all calculated mechanical performance indicators and economic indicators.

4- Tillage treatments (T1, T2, T3, T5, T4) were superior in reducing the average tillage time by 17%, 47.87%, 53.55%, 49.56%, and 63.72%, and reducing fuel consumption by 54.86%, 60.42%, 36.77%, 39.77%, and 42.20%, compared with the corresponding traditional tillage systems (M1, M2, M3, M4, M5), respectively. Tillage treatments (T1, T2, T3, T4, T5) also

achieved the lowest total costs per mechanical unit and total production costs, and the highest total return, net return, and benefit cost ratio compared to their corresponding traditional tillage systems (M1, M2, M3, M4, M5).

5- Tillage treatment (T1) achieved the highest average weighted diameter, total porosity, saturated water conductivity, lowest moisture content, soil electrical conductivity, and soil resistance to penetration compared to the other combination tillage machine formulations (T2, T3, T4, T5).

6- The surface soil depth (D1) recorded the highest value for the mean diameter at the beginning of the season, with an increase of 14.33% and 31.41% compared to the soil depths D2 and D3, respectively. Surface soil depth (D1) also exhibited the highest porosity and water conductivity, along with the lowest bulk density and moisture content, soil resistance to penetration, and soil electrical conductivity at the beginning and end of the growing season compared to soil depths D2 and D3.

7- The values of mean weight diameter, bulk density, moisture content, and soil resistance to penetration increased at the end of the season compared to the beginning of the growing season by 14.18%, 4.69%, 21.05%, and 43.53%, respectively, while the values of total soil porosity, soil electrical conductivity, and water conductivity decreased by 4.50%, 29.87%, and 43.60%, respectively, at the end of the season compared to the beginning of the season.

8- Tillage treatment (T1) achieved the highest plant height, dry matter of plant, and grain yield, reaching 175.21 cm, 16.58 Mg ha^{-1}, and 6.28 Mg ha^{-1}, respectively.

9- The slow forward speed (1.5 km h^{-1}) achieved the highest plant height, dry of matter of plant, and grain yield compared to the high forward speed (3 km h^{-1}), by 2.44%, 5.14%, and 15.61%, respectively.

10- The interaction between tillage treatments and forward speed had a significant effect on plant height, plant dry weight, and grain yield.

Design and construction of a Combined Soil Preparation Machine and Evaluation of Its Mechanical and Economic Performance, and Its Effect on Some Soil characteristics and the growth and yield of maize (*Zea mays* L.)

Thesis Introduction to
Council of the College of Agriculture - University of Basra
It is part of the requirements for a PhD in Soil Science
Water Resources (Soil management - soil preparation machines).

By

Aqeel Johni Nassir
M. Sc. Agricultural Sciences (Agricultural mechanization)
2004

Supervised by

Prof.
Dr. Dakhel R. Nedawe
Soil Sciences and Water Resources
1445

Prof.
Dr. Sadiq J. Muhsin
Agricultural Machines and Equipment
2023