مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد(2) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

تصميم وتصنيع آلة تسوية هيدروليكية وتحديد بارامترات العمل المناسبة من خلال تقييم الاجهادات الهيكلية وانضغاطية التربة

د.سليمان سلامة *

د.فادي علي **

د. محمد منهل الزعبي ***

م. محمد علي ميوس ****

(تاريخ الإيداع 2023/11/28 . قُبِل للنشر في 2024/2/21)

□ ملخّص□

تم في هذه الدراسة تصميم آلة تسوية محمولة على عجلات ويتم تحريكها بجرار زراعي لتسوية التربة بعد الحراثة وتقوم هذه الآلة بتفتيت وتسوية التربة في عملية تكنولوجية واحدة. ركزت هذه الدراسة على تصميم المجرفة باعتبارها مكون رئيسي للآلة, وبينت الدراسة تأثير مؤشرات العمل (السرعة، العمق، نوع التربة) على انضغاطية التربة, وأظهرت نتائج المحاكاة الحاسوبية أن هيكل المجرفة يتحمل قوة سحب أعظمية قدرها 13087N وأن منطقة تركيز الاجهادات في هيكل المجرفة تكون في جوار نقاط تثبيت المكابس الهيدروليكية. قد يتسبب ضغط التربة عن طريق عملية التسوية الزراعية في إلحاق ضرر كبير بهيكل التربة المحروثة وباطن التربة، وبالتالي في إنتاج المحاصيل. تؤثر كذلك عمليات الضغط على الخصائص الهيدروليكية للتربة وتسرب المياه ضمنها. بينت الدراسة أن الاجهادات في التربة وبالتالي الانضغاطية تزداد بشكل ملحوظ مع زيادة كل من سرعة آلة التسوية وعمق التسوية والكثافة الظاهرية للتربة بنسبة 30%. من جهة أخرى، بينت الدراسة أن زيادة زاوية أداة التسوية من 30° الى 60° يؤدي لزيادة الاجهادات (25 Mpa −170 Mpa) والانضغاطية في التربة ويكون هذا التأثير أكثر وضوحا مع زيادة السرعة حيث يتم تفتيت التربة بشكل أسرع.

كلمات مفتاحية: آلة تسوية التربة ، إجهادات هيكلية على التربة ، مجرفة، انضغاطية التربة

* أستاذ دكتور – قسم هندسة المكننة الزراعية–كلية الهندسة التقنية –جامعة طرطوس.

** أستاذ مساعد دكتور – قسم تقانات الطاقات المتجددة –كلية الهندسة التقنية –جامعة طرطوس.

***دكتور باحث – الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية – دمشق .

****طالب دكتوراه– قسم هندسة المكننة الزراعية– كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس .

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (8) العدد(2) 2024
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (2) 2024

Determination of appropriate operating parameters for the hydraulic leveling machine by evaluating the structural stresses and soil compaction

(Received 28/11/2023 . Accepted 21/2/2024)

□ ABSTRACT □

In this study, a wheeled grader is designed and is driven by an agricultural tractor. The grader crushes and levels the soil in a one-time operation. This study focused on the design and analysis of the shovel as the main components of the machine. The study also showed the effect of working parameters (speed, depth, soil type) on soil compressibility. Computer simulation results showed that the shovel body can withstand a maximum pulling force of 13087N and that the stress concentration area in the shovel body is in the vicinity of the hydraulic piston fixing points. Soil compaction by agricultural grading process may cause significant damage to the tilled soil structure and subsoil, and thus to crop production. Compaction processes also affect the hydraulic properties of the soil and the flow of water within it. The study showed that the stresses in the soil, and thus the compressibility, increase significantly with the increase of the speed of the grading machine, the depth of grading, and the bulk density of the soil 30%. On the other hand, the study showed that increasing the angle of the leveling tool from 30° to 60° leads to an increase in stress(25Mpa−170 Mpa)and compressibility in the soil, and this effect is more pronounced with increasing speed.

Keywords: leveling machine, structural stresses, shovel, soil compaction

1-مقدمة

نقوم بعملية تسوية الأرض لضمان أن تكون اختلافات الأعماق في سطح الحقل موحدة نسبيًا، ونتيجة لذلك، فإن توزيع المياه في منطقة الجذر يكون متماثل مما يساعد على زيادة نسبة الإنبات والنمو بشكل متماثل لمجمل المحصول و بالتالي زيادة الإنتاج بالإضافة إلى خفض الزمن اللازم لري الحقول وزيادة في كفاءة استخدام الآلات الزراعية بسهولة وانتظام حركتها في الأراضي المستوية. عملية تسوية الأرض مطلوبة تقريبًا في كل موسم زراعة، خاصة بعد عمليات الحصاد و الحراثة التي تؤدي إلى خلل و فوضى في سطح الحقل. وتعد تسوية الأراضي أمرًا ضروريًا لتطوير أنظمة الري السطحي.

تصنف آلات تسوية الأرض ضمن فئة آلات كشط ونثر التربة. يتمثل مبدأ العمل العام لهذه الآلات في تسوية سطح الأرض الذي تتحرك فوقه الآلة من خلال جرف المواضع ذات التربة المرتفعة على سطح الأرض ثم دفع الحجم الزائد من التربة للأمام حتى الوصول إلى ارتفاع متجانس لسطح التربة. لذلك، فإن آلة تسوية الأرض لديها مجرفة صلبة قادرة على تفتيت وجرف التربة السطحية والذي يسمى بالمجرفة. يتم تحديد قيمة الحمل القصوى المطبقة على آلة تسوية الأرض عند سرعة التشغيل العادية (1–5 km/h) بالاعتماد على أقصى قوة سحب تتحملها آلة التسوية [1]. عند تطبيق حمولات عالية على مجرفة آلة التسوية قد يتغير حجم الضرر حسب الجزء المعرض للحمل. مثلا، قد ترتفع احتمالية التشوه اللدن في هيكل المجرفة عندما يتم تطبيق الحمل بالكامل على الجزء الجانبي للمجرفة أو على قسم معين من المجرفة. تقلل مثل هذه التشوهات اللدنة من الأداء أو تؤدي إلى فشل الاداء من خلال التسبب في تسوية خاطئة للأرض في أي وقت أثناء عملية التسوية. تستلزم الأسباب المذكورة أعلاه استخدام التصميم بمساعدة الحاسب (CAD) من أجل تصميم وتحليل هيكل المجرفة. بهذه الطريقة، سيكون من الممكن تطوير تصميم ناجح عن طريق منع الفشل المحتمل أو عن طريق الإشارة إلى أماكن الفشل المحتمل من خلال تقييم الاجهادات الهيكلية [2]. في هذه الدراسة الحالية، تم تصميم الهيكل الحالي لمجرفة آلة تسوية الأرض التي يتم سحبها بواسطة جرار وفقًا لظروف عمل الجرافة ونوع المعدن المستخدم بحيث تتحمل المجرفة الاجهادات المطبقة دون الوصول لمرحلة الانهيار.

تؤثر عملية التسوية على انضغاط التربة مما يؤثر بشكل كبير على الخواص الفيزيائية [3] والكيميائية [4] للتربة. بينت العديد من الدراسات أن ضغط التربة يزيد المقاومة الميكانيكية ويقلل نفاذية الماء والهواء عبر التربة، ويخلق ظروف نمو غير مناسبة للجذور، ويحد من إمداد الأكسجين والماء والمغذيات ويؤثر بشكل سلبي على محتوى النتروجين في التربة [5، 6].

تم وضع العديد من النماذج والموديلات الحاسوبية التي تهدف إلى توقع انضغاطية التربة نتيجة المعاملات المختلفة للتربة. جميع نماذج وموديلات انضغاط التربة تعتمد على وصف منطقة التلامس وتوزيع الحمولة على تلك المنطقة ونمذجة انتشار الإجهاد في التربة. تم استخدام معادلة مناسبة لوصف العلاقة بين تغيرات الإجهاد والحجم في قطاع التربة، وبفرض أن جميع النماذج أن التربة متجانسة ومستمرة [7،8،9،10،11]. بالإضافة لذلك، أحد التأثيرات البيئية الرئيسية لضغط التربة تتعلق بدورة النيتروجين لأنه يوجد ميل واضح لنزع النتروجين مع الزيادة في انضغاط التربة وهذا يؤدي إلى زيادة انبعاث (N_2O)، وهو أحد غازات الدفيئة [12]. كذلك تميل كفاءة استخدام المحاصيل للنيتروجين إلى الانخفاض بسبب زيادة انضغاط التربة وبالتالي زيادة متطلبات الأسمدة [13].

يقدم هذا البحث نتائج محاكاة حاسوبية باستخدام برنامج (ANSYS15) لتأثير عملية التسوية على انضغاطية التربة من خلال تحليل الاجهادات في التربة عند ظروف تشغيل مختلفة.

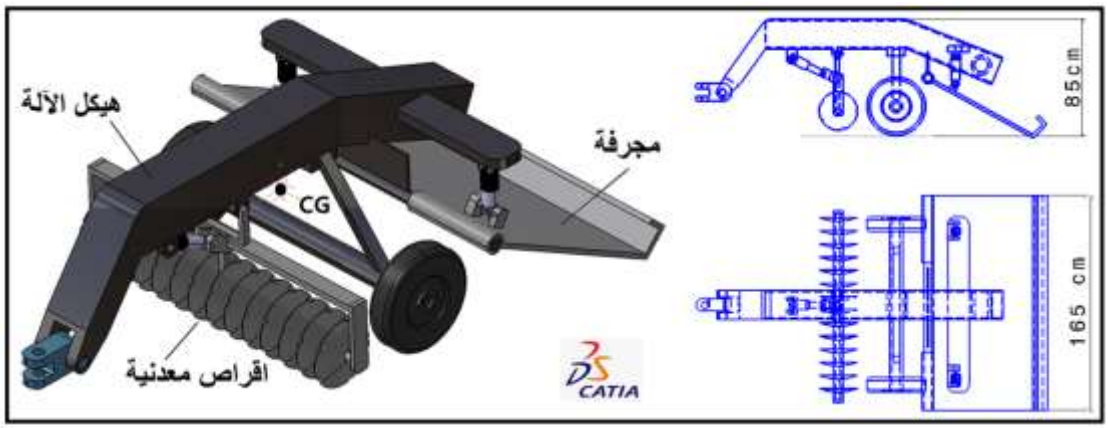
2-أهمية البحث وهدفه

إن وجود تفاوت في ارتفاع الأراضي الزراعية الناتج عن عمليات الحراثة الجافة أو الرطبة أو بسبب إجراء عمليات البذر بعد حراثة أساسية يؤدي إلى توزع غير متجانس لمياه الري ،وبالتالي نمو غير متجانس للنباتات واستهلاك كمية أكبر من مياه الري. لذلك أتت أهمية هذا البحث من الحاجة الملحة لتطوير تقنيات التسوية وتخفيف تكلفتها بهدف تلبية متطلبات المزارعين و المحافظة على التربة، وبالتالي كفاءة المحصول ومردود اقتصادي جيد. في الواقع، إن تسوية الأرض ضرورية لتعزيز كفاءة استخدام المياه والأسمدة والمواد المغذية وتحسين المحاصيل والانتاج الزراعي.

يهدف البحث الى استخدام تقنيات الحاسب للحصول على تصميم لآلة تسوية هيدروليكية يمكن تصنيعها محلياً وبتكلفة منخفضة. تستخدم هذه الآلة لتنعيم وتسوية التربة (مرحلة تفتيت التربة + مرحلة الضغط) بهدف الحصول على دقة تسوية وموثوقية في العمل. كذلك يهدف البحث لدراسة تأثير مؤشرات العمل (سرعة الجرار – عمق التسوية–زاوية المجرفة–كثافة التربة) على الأداء.

3- مواد البحث وطرائقه:

تم القيام بوضع تصميم النموذج ومكوناته بشكل ثلاثي البعد باستخدام برنامج (CATIA) كما هومبين بالشكل (1). من خلال النموذج الحاسوبي تم تحديد مركز الثقل للنموذج لمعرفة مكان التوضع المناسب للعجلات. ثم القيام بتصميم وتصنيع ألة تنعيم وتسوية هيدروليكية مبين بالشكل (2) حيث أن الآلة مقطورة بالجرار ومكونة من الهيكل المعدني المصنوع من الحديد بسماكة (10mm) وأقراص معدنية قطرها (30 cm) وسماكتها(8mm) وعددها (14) قرص مثبتة على محور قطره (50mm) تدور عند ملامستها للتربة مع حركة الجرار حيث تقوم هذه الأقراص بتفتيت الكتل الترابية ويتم رفعها وخفضها عن طريق اسطوانة هيدروليكية تعمل بضغط الزيت.



الشكل رقم (1) نموذج حاسوبي ثلاثي البعد باستخدام برنامج (CATIA)

كما تم صنع مجرفة التسوية من معدن الحديد بسماكة (10mm)وطول المجرفة يساوي عرض عمل الجرار وهي مائلة يتم التحكم بحركتها عن طريق اسطوانات هيدروليكية عدد اثنتان تعمل على رفع وخفض مجرفة التسوية عن طريق ضغط الزيت والمجرفة من الأسفل تلامس الأرض لتقوم بعد التسوية بكبس التربة الزراعية.

تعمل الاسطوانات الهيدروليكية عن طريق ضغط الزيت من خلال مضخة الزيت للجرار التي تقوم بضخ الزيت عبر أنابيب مطاطية تتحمل ضغط bar300 هذه الآلة مقطورة بالجرار ومحمولة على عجلات مطاطية عريضة لزيادة سطح التماس مع الأرض ويبلغ وزنها التقريبي حوالي kg1500.

الشكل (2) آلة التنعيم والتسوية الهيدروليكية

تم استخدام صفائح الفولاذ (ASTM A514) من أجل تصنيع المجرفة في آلة التسوية. من المعروف أن الصفائح الفولاذية (ASTM A514) تُستخدم عادةً للتطبيقات التي تتطلب مقاومة عالية للتآكل وقوة كبيرة دون خسارة قابلية اللحام والقابلية للقص والقطع، مثل معدات البناء والرافعات وفي أغرض التصنيع الميكانيكي، بما في ذلك الآلات الثقيلة والآلات الزراعية.

الجدول التالي يوضح أهم الخواص الميكانيكية للصفائح الفولاذية (ASTM A514) التي تتمتع بحد خضوع لايقل عن (620MPa) ومتانة شد أعظمية(800MPa).

الجدول 1: الخواص الميكانيكية للصفائح الفولاذية (ASTM A514)

ASTM A514 خواص الفولاذ

PROPERTIES OF ASTM A514 STEEL

Physical Properties	Unit	Value
Density, ρ	kg/mm^3	7.9E-6
Elasticity constant, E	N/mm^2	210000
Tensile strength, Ultimate	N/mm^2	800
Tensile strength, Yield	N/mm^2	620
Poisson Ratio, v		0.3
Shear modulus	N/mm^2	80769

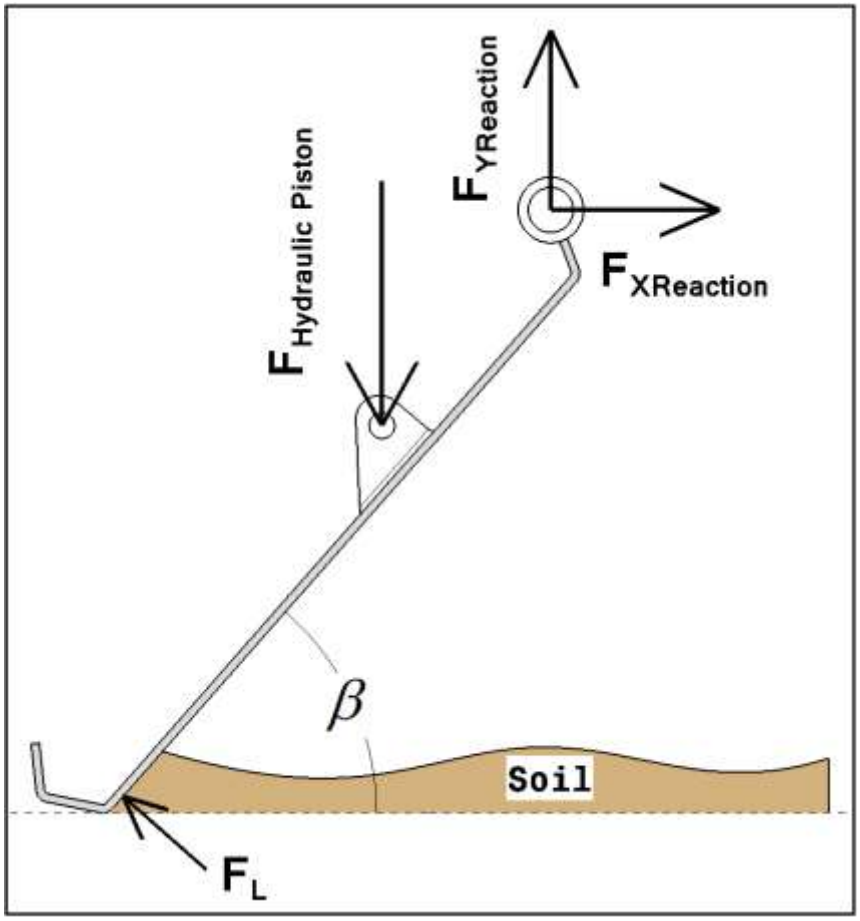
3-1الموديل الرياضي لقوة الجرف خلال عملية التسوية:

تهتم ميكانيكا التربة بالتنبؤ بالقوى المطلوبة لإحداث تحريك (تحطيم) في كتلة التربة؛ كذلك يتم وصف القوى الأعظمية من حيث مقاومة التربة مع الأخذ بعين الاعتبار لعلاقات الإجهاد والانفعال وهذا يشمل تداخل أدوات معاملة التربة مع الأنواع المختلفة للتربة. توجد عدة نماذج قادرة على التنبؤ بسلوك أدوات معاملة التربة والمستمدة عمومًا من المعادلة العامة لحركة التربة من خلال افتراض أشكال هندسية بسيطة وتقريبية للأدوات لنمذجة أنماط تحريك التربة [14,15,16,17,18]. على عكس الإجراءات التجريبية المكلفة، فإن توفر مثل هذه النماذج من شأنه أن يسمح للمصممين وكذلك الباحثين بتطوير فهم واضح للتفاعل بين الأدوات والتربة من خلال الدراسات البارامترية بأقل جهد ممكن. على الرغم من أن مسألة التداخل بين التربة والأدوات هي مسألة ثلاثية الأبعاد بطبيعتها، فإن غالبية النماذج المتاحة تعتمد على اعتبارها مسألة ثنائية الأبعاد لتبسيط المعادلات.

الشكل (3) يبين توازن القوى على مجرفة آلة التسوية عند توضعها بزاوية (β). من الشكل (3) نكتب مجموعة معادلات التوازن لصفيحة المجرفة كما يلي:

$$F_{XReaction}=F_L.Sin(\beta) \rightarrow F_L = F_{XReaction}/sin(\beta) \quad (1)$$

$$F_{yReaction}=F_{Hydraulic\ Piston} - F_L.Cos\ (\beta) \quad (2)$$



الشكل (3) توازن القوى على مجرفة آلة التسوية عند توضعها بزاوية β

من الجدير بالذكر أن القوة($F_{XReaction}$) تمثل قوة السحب (F_t) التي يبذلها الجرار في عملية التسوية للتربة لذلك نستطيع أن نكتب مايلي:

$$F_L = F_t/\sin(\beta) \qquad (3)$$

تعطى العلاقة بين قوة السحب للجرار واستطاعته (P) وسرعته (V) كما يلي:

$$F_t=P/V \qquad (4)$$

من العلاقتين (3) و(4) نحصل على العلاقة التالية:

$$F_L = P/(V.\sin(\beta)) \qquad (5)$$

العلاقة (5) تبين أن قوة الجرف (F_L) التي تؤثر على صفيحة المجرفة يمكن حسابها من أجل استطاعة محددة يقدمها الجرار من خلال معرفة السرعة وزاوية المجرفة β. العلاقة (5) سيتم استخدامها لتحديد السرعة الأعظمية المسموح بها للتصميم المقترح المقابلة لأعظم قوة جرف مسموح بها دون حدوث تشوهات لدنة في هيكل المجرفة.

Swick وآخرون [15] قدموا تبسيط تقريبي بالاعتماد على خواص التربة والأبعاد الهندسية لآلة التسوية لحساب قوة الجرف (F_L) التي تؤثر بشكل عمودي على سطح مجرفة آلة التسوية كما في المعادلة التالية:

$$F_L=(\gamma/g)BDV^2\ \sin\beta/\sin(\beta+\rho) \qquad (6)$$

حيث:

γ= الكثافة الظاهرية للتربة (kg/m^3)

g= تسارع الجاذبية الأرضية (m/s^2)

B= عرض الأداة (m)

D= عمق الأداة (m)

V= سرعة الأداة (m/s)

β=زاوية الأداة بالنسبة للخط الأفقي (درجة)

ρ=زاوية تحطم سطح التربة بالنسبة للخط الأفقي (درجة)، زاوية تحطم سطح التربة بالنسبة للخط الأفقي ρ تؤخذ عادة $64°$ بالنسبة للتربة العادية [19,20].

سيتم استخدام العلاقة (6) لمحاكاة تأثير بارامترات العمل على الإجهادات في التربة (أي الانضغاطية) من خلال حساب قوة الجرف من أجل قيم مختلفة للسرعة وعمق التسوية والكثافة الظاهرية للتربة وزاوية المجرفة.

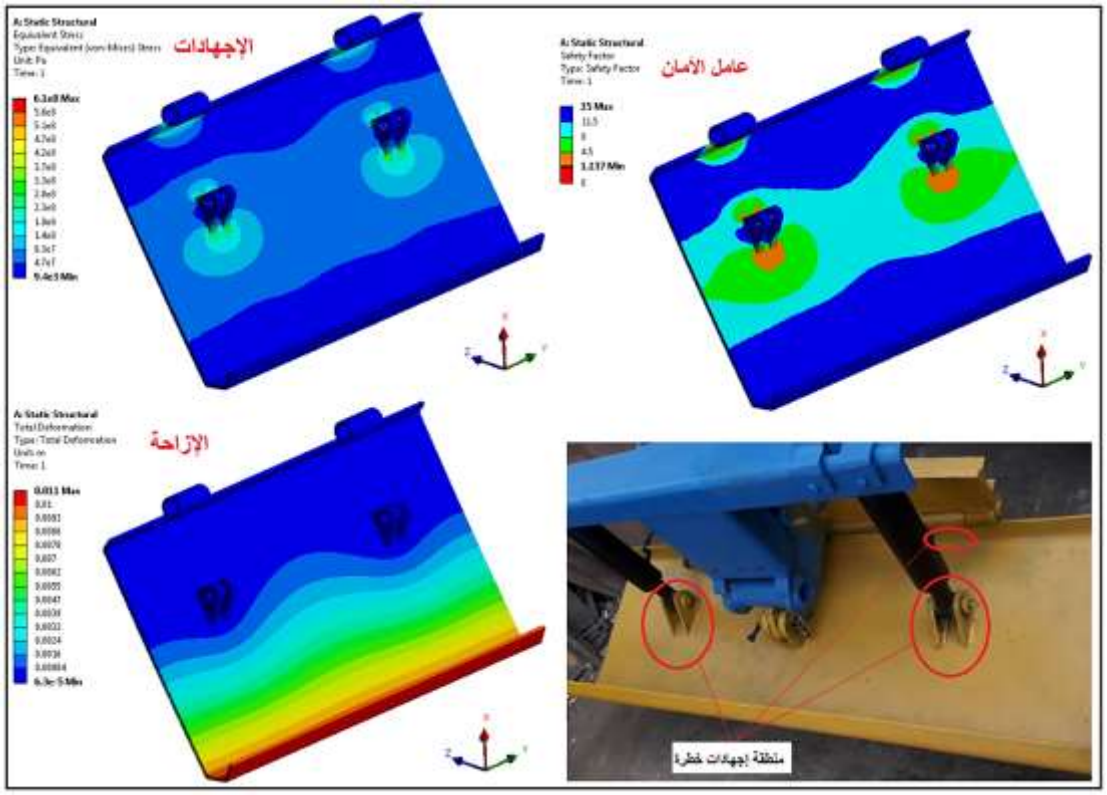
4-النتائج ومناقشتها

4-1تحديد القيم الأعظمية المسموح بها لقوة الجرف (F_{L_max}) وسرعة الأداة (V_{max}) من خلال محاكاة الاجهادات الهيكلية في صفيحة المجرفة:

يمكن تقسيم تشوه مادة الصفائح المعدنية إلى آليتين، التشوه المرن والتشوه اللدن. بشكل عام، عند الضغوط المنخفضة، يكون تشوه المعادن مرنًا ويعود إلى الشكل الأصلي بعد إزالة الحمل. عند تحميل المادة فوق حد خضوعها، يحدث تشوه لدن. التشوه اللدن هو التشوه الذي لا رجعة فيه والذي يبقى بعد إزالة الحمل. عند حدوث تشوه لدن في عنصر ميكانيكي (في هذه الحالة المجرفة) يعني فشل العنصر وعدم مقدرته على أداء وظيفته بشكل مناسب. التصميم القائم على المحاكاة هو منهجية لتطوير المنتجات تهدف إلى تقليل الاختبار المادي للنماذج الأولية لتقييم أداء التصميم. يعد التحليل باستخدام العناصر المحدودة (FEA) أداة لا غنى عنها تستخدم للتنبؤ بأداء المنتج وسلوكه. بفضل التصميم القائم على المحاكاة كذلك يمكن تقييم خيارات التصميم المختلفة ومقارنتها، ويمكن دراسة تأثير بارامترات العملية المختلفة.

تم استخدام برنامج ANSYS15 لتحليل الاجهادات الهيكلية في المجرفة بطريقة العناصر المحدودة (FEA). تم ادخال النموذج ثلاثي البعد الى البرنامج وتم اسناد الخصائص الميكانيكية للمادة (ASTM A514) للنموذج الحاسوبي. في هذه المحاكاة تم اعتبار قوة الجرف تؤثر بشكل عمودي على الصفيحة. تمت محاكاة الاجهادات

والازاحة وعامل الأمان لصفيحة المجرفة كماهو مبين بالشكل (4). كماتم تحديد مواضع الخطورة على الصفيحة بهدف تدعيم وتقوية هذه المناطق لاحقاً.



الشكل (4) محاكاة الاجهادات والازاحة وعامل الأمان وتحديد مواضع الخطورة لصفيحة المجرفة

نلاحظ من المحاكاة الرقمية أن منطقة تركيز الاجهادات في هيكل المجرفة تكون في جوار نقاط تثبيت المكابس الهيدروليكية. كذلك تظهر نتائج المحاكاة الرقمية أن هيكل المجرفة يخضع لإجهاد مساو تقريباً لحد الخضوع (620MPa) عند قوة جرف أعظمية تصل الى قيمة(F_{L_max}=13087N) تقابلها قيمة إزاحة في هيكل الصفيحة مقدارها (1.1mm) وعامل أمان (n=1.14).

تمثل القيم السابقة الحدود القصوى لتحمل الآلة ولا ينبغي تجاوزها لتجنب حدوث تشوهات لدنة في الهيكل. في الواقع، إن الأرض المحروثة والمفككة لاتبدي عادة قوة مقاومة عالية للجرف، أظهرت الدراسات أن العمليات المختلفة لمعاملة التربة لاتؤثر بقوة تتجاوز (3000N) من أجل عمق لا يزيد عن 22cm [14,20,21].

من أجل قوة الجرف الأعظمية (F_{L_max}=13087N) التي تبدأ عندها خطورة تشكل أجهادات تسبب تشوهات لدنة (n<1 عامل أمان)، يمكن حساب السرعة الأعظمية (V_{max}) المسموح بها للجرار عند التسوية بحسب زاوية صفيحة المجرفة (β) باستخدام العلاقة (5) من أجل استطاعة ثابتة للجرار قدرها P=75kW كما هو موضح بالجدول (2).

الجدول 2: القيم الأعظمية المسموحة لسرعة التسوية (الجرار) من أجل زوايا مختلفة للمجرفة

استطاعة الجرار P[kW]	قوة الجرف الأعظمية F_{L_max}[N]	زاوية المجرفة β [deg]	السرعة الأعظمية V_{max} [m/s]
75	13087	30	11.46
75	13087	45	8.1
75	13087	60	6.61

الجدول (2) يبين ان هيكل المجرفة يتحمل سرعات 11.46، 8.1، 6.61 m/s من أجل زاوية المجرفة 30، 45، 60 درجة على التوالي. في الواقع العملي، تكون السرعة عند عملية التسوية للتربة العادية ضمن المجال 5–7km/h أي حوالي (1.7m/s) وسطياً [23,24]. لذلك تمتلك مجرفة آلة التسوية التي تم تصميمها وتصنيعها محلياً عامل أمان كافي (مثلاً:n=4.7 عند زاوية 45 درجة) عند تشغيلها بسرعة 1.7m/s.

4–2 محاكاة تأثير عملية التسوية على انضغاطية التربة:

بينت الدراسات أن عملية التسوية تؤدي إلى تغير الخصائص الفيزيائية للتربة بسبب انضغاط التربة وتقليل المسامية الكلية في الطبقة السطحية للتربة [25,26]. يعتبر سلوك الإجهاد والانفعال (الإزاحة) للتربة معقدًا ويصعب وصفه بعلاقات بسيطة نظرًا لأن التربة، تحت الضغط، تخضع لتشوه مرن قابل للاسترداد بالإضافة إلى تشوه لدن دائم. علاوة على ذلك، عادة ما يكون سلوك الإجهاد والانفعال (الإزاحة) غير خطي أثناء التحميل. كذلك يكون الوصف الرياضي للاستجابة ثلاثية الأبعاد للتربة للقوى الخارجية أكثر تعقيدًا إذا كانت التربة شديدة التباين (غير متجانسة). لكن بشكل عام، ثبت أن النماذج التي تعتمد على طريقة العناصر المحدودة (FEM) أكثر ملاءمة لنمذجة التوزيع ثلاثي وثنائي الأبعاد للضغط داخل التربة الناجم عن الإجهاد والانفعال (الإزاحة) المعقد للتربة [27,28]. لذلك، اكتسبت طريقة النمذجة بالعناصر المحدودة (FEM) أهمية بالغة في محاكاة عمليات قطع التربة الزراعية وانضغاطها وانزياحها بسبب قدرتها على وصف هذه العمليات في ثلاثة أبعاد مع افتراضات مبسطة أقل مما تتطلبه الطرق التحليلية المتاحة[29].

تقدم هذه الدراسة نمذجة الإجهادات وتوزيع الإزاحة لطبقات التربة الناتج عن قوى التحميل المطبقة على سطح التربة من آلة التسوية باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEM) بواسطة برنامج ANSYS15 كما هو مبين بالشكل (5).

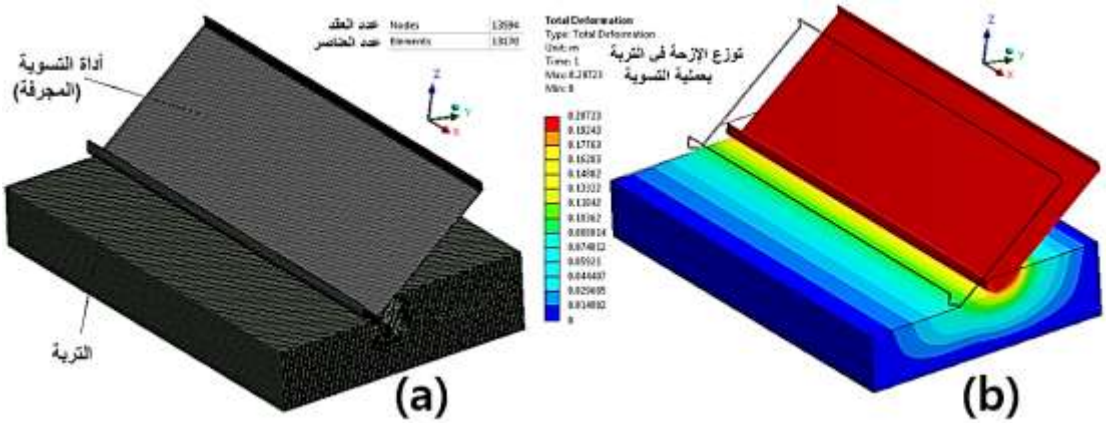
طبعا في هذه المحاكاة تم إهمال أي انضغاط إضافي قد يحدث في التربة نتيجة عوامل أخرى مثل مرور إطارات الجرار، لأن هذا الموضوع يقع خارج سياق هذا البحث كما أنه يحتاج لعملية نمذجة ومحاكاة خاصة.

الشكل (5–a) يبين تشبيك (Mesh) نموذج ثلاثي الأبعاد لتداخل مجرفة التسوية مع التربة بالأبعاد الحقيقية لنموذج المجرفة التي تم اعتبارها مصنوعة من الفولاذ ذو الخصائص المبينة بالجدول (1).

بالنسبة للتربة، تم اعتبارها وسط مسامي متجانس الخواص من حيث الكثافة ($1500\ kg/m^3$). من أجل أخذ العوامل الديناميكية بعين الاعتبار في المحاكاة تم إضافة عامل التخميد n_c لخواص التربة وهو الذي يتحكم في مقدار التخميد المعتمد على السرعة وتؤخذ قيمته وسطياً (n_c=0.05) [30,31].

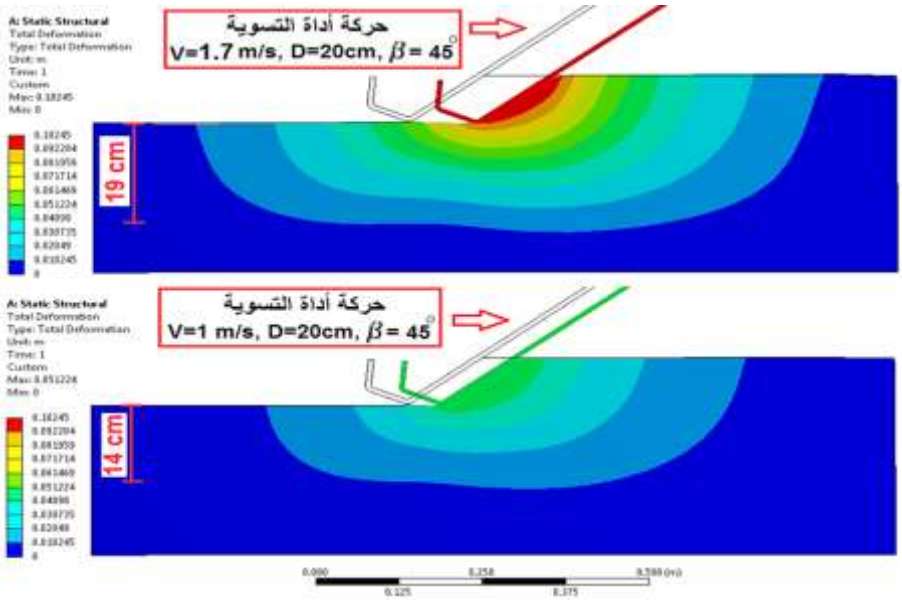
بعد إجراء عملية التشبيك (Mesh) عدد العقد 13594 وعدد العناصر 13170. الشكل (5–b) يبين توزع الانزياح في طبقات التربة عند تقدم المجرفة في التربة ضمن الشروط التالية: زاوية المجرفة β=45° ، سرعة التسوية

V=1.2m/s، عمق التسوية D=20cm، قوة الجرف F_L تحسب من العلاقة (6). الشكل (5) يبين تدرج الانفعال (الإزاحة) لطبقات التربة الناتج عن ضغط المجرفة على التربة أثناء حركتها. نلاحظ أن الطبقات السطحية تكون فيها قيمة الإزاحة عالية وتقل بالابتعاد نحو عمق التربة حيث يتلاشى تأثير عملية التسوية على انفعال (إزاحة التربة) من أجل عمق يزيد عن (15.5cm) من أجل هذه الحالة.



الشكل (5) محاكاة عملية انضغاط التربة نتيجة عملية التسوية

الشكل (6) يبين مقارنة تأثير سرعة التسوية على العمق الأقصى الذي تصل إليه انفعالات التربة. تم مقارنة سرعتين هما 1m/s و1.7m/s من أجل نفس بارامترات العمل (زاوية المجرفة β=45°، عمق التسوية D=20cm).



الشكل (6) مقارنة تأثير سرعة التسوية على عمق الإزاعة في طبقات التربة

نلاحظ من الشكل (6) أن العمق الأعظمي الذي يصل إليه انفعال (إزاحة) التربة هو (19cm) من أجل السرعة (1.7m/s) بينما هذا العمق لايتجاوز قيمة (14cm) من أجل السرعة1m/s. لذلك يمكن القول بأن زيادة السرعة تؤدي لزيادة عمق انضغاط التربة لأن زيادة السرعة تؤدي لزيادة الأثر الديناميكي المطبق على التربة.

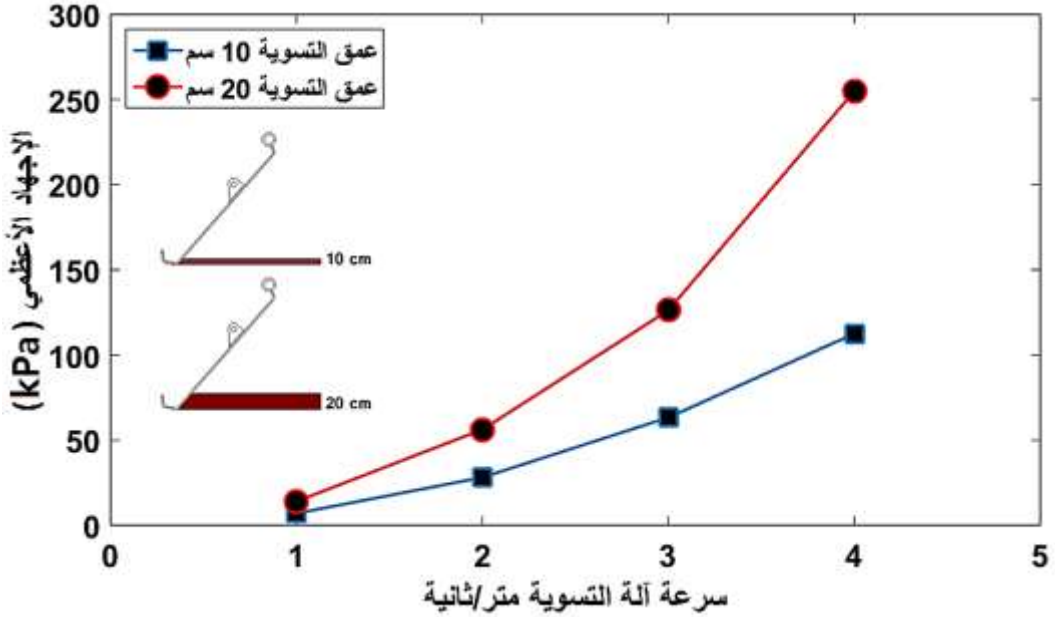
4-3 تأثير بارامترات العمل على الإجهادات في التربة

آلة التسوية هي ملحقات ميكانيكية تستخدم لتطبيق قوى على التربة لإحداث بعض التأثير المطلوب مثل سحق وتنعيم وتسوية التربة. الهدف النهائي للتسوية هو تحويل التربة من حالة معروفة إلى حالة مرغوبة مختلفة بالوسائل الميكانيكية. إن تطبيق القوى على التربة خلال عملية التسوية يؤدي لحصول الإجهاد داخل التربة وتغيير بنيتها المسامية بما يعرف بانضغاط التربة. كذلك، إن حصول الإجهاد داخل التربة بسبب الآلات الزراعية له أهمية كبيرة لأن الاجهاد يمكن أن يسبب تغيرات في وظائف التربة. هناك حاجة إلى معرفة قيمة الإجهاد لغرضين: أولاً، من أجل فهم العلاقات بين السبب (إجهاد التربة بسبب التحميل الميكانيكي) والنتيجة (التغيرات في وظيفة مسام التربة)؛ وثانيًا، تطوير النماذج التنبؤية واتخاذ القرارات المناسبة لظروف التشغيل التي يمكن أن تساعد مستخدمي الأراضي على منع ضغط التربة. كقاعدة أساسية، ضغط التربة هو نتيجة للاجهادات المؤثرة على التربة وكلما زات قيمة الاجهاد تزادا انضغاطية التربة. الجدول (3) يظهر قيم الاجهادات في التربة نتيجة عمليات زراعية مختلفة باستخدام آلات زراعية مختلفة بحسب المرجع [32].

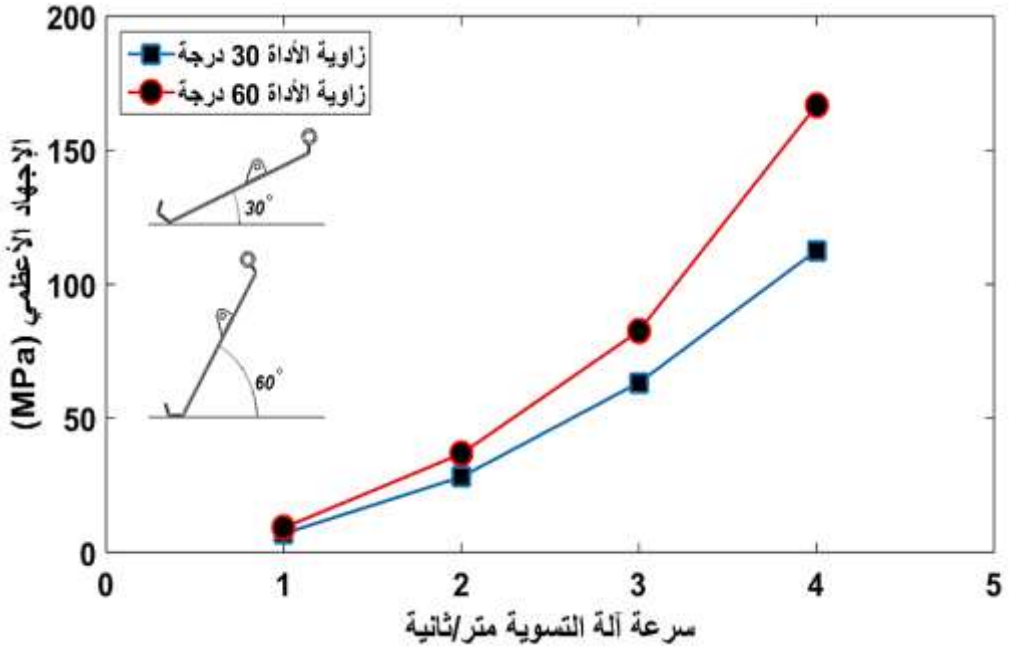
الجدول (3): قيم الاجهادات في التربة نتيجة عمليات زراعية مختلفة باستخدام آلات زراعية مختلفة بحسب المرجع [32].

Operation	Machine	Maximum stress [kPa]
1 (harrowing)	Valtra BH 180 tractor	86
2 (subsoiling)	Case IH Magnum 270 tractor	119
3 (peanut and sorghum planting)	**Valtra BM 125i tractor**	**147**
4 (peanut/sorghum harvesting)	**Double Master V peanut harvester**	**221**
5 (soil tillage comprising four treatments)	Case IH Magnum 270 tractor	87
6 (sugarcane planting)	**John Deere 7205J tractor**	**176**
	DMB PCP 6000 sugarcane planter	**274**

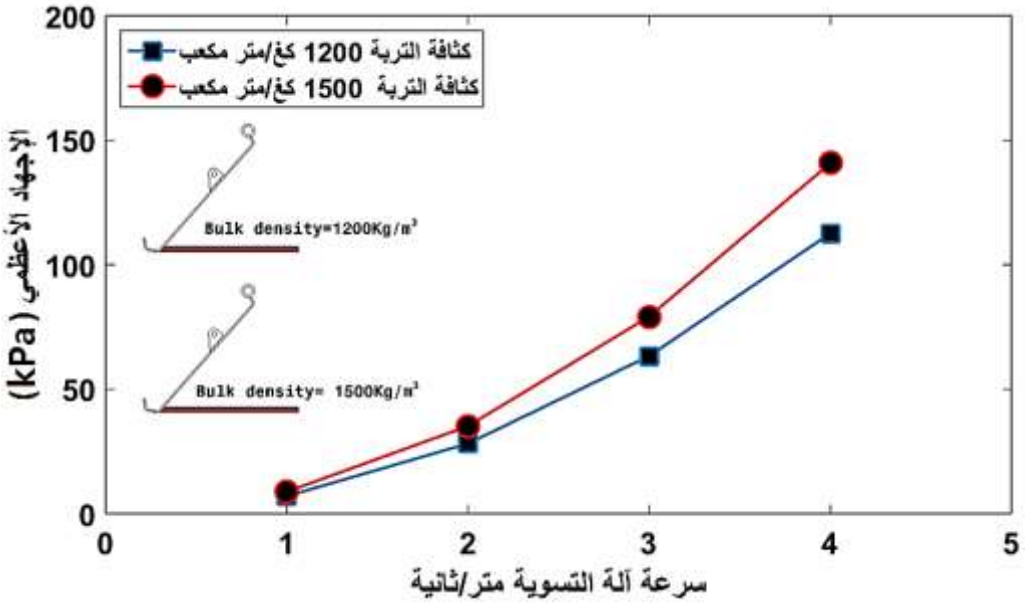
تمت نمذجة تأثير بارامترات العمل على الإجهادات في التربة باستخدام نموذج المحاكاة الحاسوبية لعملية انضغاط التربة نتيجة عملية التسوية المبين سابقا في الشكلين(5 و 6) الأشكال (7 و8 و 9) تظهر مقارنة تأثير عمق التسوية وزاوية المجرفة و كثافة التربة على الاجهاد الأعظمي في التربة من أجل مجال سرعة الى (1–4 m/sec).



الشكل (7) مقارنة تأثير عمق التسوية على الاجهاد في التربة (زاوية المجرفة 45 درجة)



الشكل (8) مقارنة تأثير زاوية المجرفة على الاجهاد في التربة



الشكل (9) مقارنة تأثير الكثافة الظاهرية للتربة على الاجهاد في التربة

نلاحظ بشكل عام أن زيادة السرعة تؤدي دوماً لزيادة الاجهاد الأعظمي في التربة. كذلك تزداد قيمة الاجهاد عند زيادة كل من عمق التسوية وزاوية المجرفة والكثافة الظاهرية للتربة.

5-الاستناجات:

قدم البحث دراسة لتصميم وتصنيع آلة تسوية منخفضة التكلفة وبمواد متوفرة محلياً. يعتبر هذا البحث مرجعا لتطبيق طريقة العناصر المحدودة في تحليل عملية تسوية التربة الزراعية بعد الحراثة وحساب وتصميم قوة السحب لآلة التسوية.

يمكن صياغة خلاصة البحث بالنقاط التالية:

- إن استخدام تقنيات التصميم باستخدام الحاسب يعتبر وسيلة هامة لمعرفة عوامل الأمان ومناطق الخطورة في تصميم آلة التسوية مما يتيح إمكانية تطوير وتحسين مقاومة الهيكل للإجهادات بأقل التكاليف مع اختصار الوقت والجهد.
- التصميم المقترح لآلة التسوية يتحمل قوة جرف أعظمية (13087N) بشرط أن لاتتجاوز السرعة قيمة (11.46 m/s). في الواقع عند تشغيلها بسرعة مثالية للتسوية (1.7m/s) يمتلك هيكل الآلة عامل أمان n=4.7 عند زاوية 45 درجة للمجرفة.
- تأثير سرعة التسوية على العمق الأقصى الذي تصل إليه انفعالات التربة (انضغاط التربة) وبشكل عام, زيادة السرعة تؤدي لزيادة عمق التربة لأن زيادة السرعة تؤدي لزيادة الأثر الديناميكي المطبق على التربة.

- زيادة عمق التسوية وزاوية المجرفة والكثافة الظاهرية للتربة تؤثر سلباً على الاجهادات في التربة, ولكن يبقى التأثير الأكثر أهمية هو لسرعة العمل.

6- التوصيات:

- ضرورة استخدام قياسات تجريبية لتدعيم نتائج المحاكاة الحاسوبية.
- إجراء المزيد من الأبحاث حول تأثير الرطوبة على أداء آلة التسوية حيث تم الافتراض في هذا البحث أن عملية التسوية يجب أن تتم على تربة زراعية جافة نسبياً (رطوبة نسبية أقل من 20%).
- العامل الديناميكي لتخميد التربة (وهو الذي يتحكم في مقدار التخميد المعتمد على السرعة) قد لايكون ثابتاً كما ورد في المراجع [31 ,30] بسبب اختلاف ظروف العمل في التربة لذلك يجب البحث بشكل أفضل في قيمة هذا الثابت من أجل الحصول على نتائج أكثر دقة.
- ضرورة دراسة تأثير السرعة والحمل على الاهتزازات في نموذج آلة التسوية وتأثيره على أداء آلة التسوية.

7-المراجع

[1] Altinbalik, Tahir, and Gürkan İrsel. "Redesigning and manufacturing of a land levelling shovel by assembly structural stress analysis." *Advances in Mechanical Engineering* 6 (2014): 235687.

[2] İrsel, Gürkan, and M. Tahir Altinbalik. "Adaptation of tilt adjustment and tracking force automation system on a laser-controlled land leveling machine." *Computers and electronics in agriculture* 150 (2018): 374-386.

[3]Fuentes-Guevara, Miguel David, et al. "Examining the land leveling impacts on the physical quality of lowland soils in Southern Brazil." *Soil and Tillage Research* 215 (2022): 105217.

[4] Orzech, Krzysztof, and Dariusz Zaluski. "Effect of soil compaction and different soil tillage systems on chemical properties of soil and presence of earthworms in winter oilseed rape fields." *Journal of Elementology* 25.2 (2020).

[5] Lipiec, J., and W. Stępniewski. "Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients." *Soil and Tillage Research* 35.1-2 (1995): 37-52.

[6] Bhandral, Rita, et al. "Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction." *Soil and Tillage Research* 94.2 (2007): 482-492.

[7] Zeng, Zhiwei, Ying Chen, and Xirui Zhang. "Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil." *Computers and Electronics in Agriculture* 143 (2017): 130-138.

[8] He, Changbin, et al. "A mathematical model for predicting the draft force of shank-type tillage tine in a compacted sandy loam." *Soil and Tillage Research* 228 (2023): 105642.

[9] Abrougui, Khaoula, et al. "Prediction of organic potato yield using tillage systems and soil properties by artificial neural network (ANN) and multiple linear regressions (MLR)." *Soil and Tillage Research* 190 (2019): 202-208.

[10] Obour, Peter Bilson, and Carmen M. Ugarte. "A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield." *Soil and Tillage Research* 211 (2021): 105019

[11] Ferreira, Camila Jorge Bernabé, et al. "Soil compaction influences soil physical quality and soybean yield under long-term no-tillage." *Archives of Agronomy and Soil Science* 67.3 (2021): 383-396.

[12] Arah, J. R. M., and K. A. Smith. "Steady-state denitrification in aggregated soils: a mathematical model." *Journal of Soil Science* 40.1 (1989): 139-149.

[13] Douglas, J. T., and C. E. Crawford. "The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen." *Grass and Forage Science* 48.2 (1993): 91-100.

[14] Godwin, Richard J., and Mike J. O'Dogherty. "Integrated soil tillage force prediction models." *Journal of Terramechanics* 44.1 (2007): 3-14.

[15] Swick, W. C., and J. V. Perumpral. "A model for predicting soil-tool interaction." Journal of Terramechanics 25.1 (1988): 43-56.

[16] Shmulevich, I., Z. Asaf, and D. Rubinstein. "Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method." *Soil and Tillage Research* 97.1 (2007): 37-50.

[17] Chen, Ying, Lars J. Munkholm, and Tavs Nyord. "A discrete element model for soil–sweep interaction in three different soils." Soil and Tillage Research 126 (2013): 34-41.

[18] Aikins, Kojo Atta, et al. "Determination of discrete element model parameters for a cohesive soil and validation through narrow point opener performance analysis." *Soil and Tillage Research* 213 (2021): 105123.

[19] Weidong, Hu, et al. "Active earth pressure against cantilever retaining wall adjacent to existing basement exterior wall." *International Journal of Geomechanics* 20.11 (2020): 04020207.

[20] Yu, Jiangtao, et al. "3D finite element simulation and experimental validation of a mole rat's digit inspired biomimetic potato digging shovel." *Applied Sciences* 12.3 (2022): 1761.

[21] Hoseinian, Seyed Hasan, et al. "Development of a dual sideway-share subsurface tillage implement: Part 2. Effect of tool geometry on tillage forces and soil disturbance characteristics." *Soil and Tillage Research* 215 (2022): 105200.

[23] Altinbalik, Tahir, and Gürkan İrsel. "Redesigning and manufacturing of a land levelling shovel by assembly structural stress analysis." *Advances in Mechanical Engineering* 6 (2014): 235687.

[24] Ma, Shuai, et al. "Discrete element method optimisation of a scraper to remove soil from ridges formed to cold-proof grapevines." *Biosystems Engineering* 210 (2021): 156-170.

[25] Khan, Farmanullah, et al. "Effect of land leveling on some physico-chemical properties of soil in district dir lower." *Sarhad Journal of Agriculture* 23.1 (2007): 107.

[26] Izadpanah, Masoomeh, et al. "Investigating the Effects of Land Leveling on Some Physical Properties of Soil in Lasht-e Nasha Region." *Iranian Journal of Soil and Water Research* 52.9 (2021): 2373-2381.

[27] Cueto, Omar González, et al. "Three dimensional finite element model of soil compaction caused by agricultural tire traffic." *Computers and electronics in agriculture* 99 (2013): 146-152.

[28] Cui, Kai, Pauline Défossez, and Guy Richard. "A new approach for modelling vertical stress distribution at the soil/tyre interface to predict the compaction of cultivated soils by using the PLAXIS code." *Soil and Tillage Research* 95.1-2 (2007): 277-287.

[29 Défossez, Pauline, and Guy Richard. "Models of soil compaction due to traffic and their evaluation." *Soil and Tillage Research* 67.1 (2002): 41-64.

[30] Ucgul, Mustafa, John M. Fielke, and Chris Saunders. "Defining the effect of sweep tillage tool cutting edge geometry on tillage forces using 3D discrete element modelling." *Information Processing in Agriculture* 2.2 (2015): 130-141.

[31] Barr, James B., et al. "Simulating the effect of rake angle on narrow opener performance with the discrete element method." *Biosystems Engineering* 171 (2018): 1-15.

[32] Júnnyor, Wellingthon da Silva Guimarães, et al. "Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation." *Science of the total environment* 681 (2019): 424-434.