

نمذجة زاوية الاختراق (الهجوم) للسلاح القالع (α) في آلات جني البطاطا وتحديد تأثيرها على الفقد الكمي والنوعي للدرنات وعند ثلاث سرع مختلفة للآلة الساحبة في الترب الطينية

د. عدنان علي احمد*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٨/٢٤ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/٩/٢٩)

□ ملخص □

تم وضع نموذج (كود) برمجي باستخدام (MATLAB) من أجل نمذجة العوامل المؤثرة في آلة جني البطاطا وأهمها زاوية الاختراق (الهجوم)، واختيار الزاوية المثلى في أنواع الترب الطينية، وذلك عند أعماق مختلفة وثلاث سرعات لآلة السحب (الجر)، وبحيث تؤدي المعايير الصحيحة للزاوية إلى أقل فقد نوعي وكمي للدرنات، مع المحافظة على الجودة والانتاجية وضمن القدرة اللازمة لآلة السحب. بينت نتائج النمذجة، أنه يكون الفقد النوعي بأقل مستوياته في المنطقة المثلى لسرعة الجر (3-4.5 km/h)، والعمق الأمثل في المجال (22-28 cm)، وتكون نسبة الفقد الكمي أقل ما يمكن (4-5%) في التربة الطينية. كلما قل العمق، ازدادت الزاوية المثلى، والعكس صحيح، أي كلما ازداد العمق تقل الزاوية المثلى: الأعماق الصغيرة (20-25 cm) تكون الزوايا أكبر (٤٠°-٥٠°) - الأعماق المتوسطة (25-35cm) تكون زوايا متوسطة (٣٠°-٤٠°) - الأعماق الكبيرة (35-40cm سم) تكون زوايا أصغر (٢٥°-٣٥°). المجال الأمثل لزاوية الاختراق: (30°-40°) لمعظم ظروف العمل في التربة الطينية، وتختلف حسب العمق؛ فكلما زاد العمق قلت الزاوية المثلى، وتُحقق أقل فقد كمي ونوعي للدرنات.

الكلمات المفتاحية: نمذجة زاوية الاختراق المثلى، التربة الطينية، عمق وسرعة القالع المثلى.

Modeling the Impact Angle of Penetration (attack) of the Puller (α) in Potato Harvesters on the Quantitative and Qualitative Loss of Tubers at Three Different Speeds of the Puller in Clayey Soils.

Adnan Ali Aghmad *

(Received 24/8/2025 . Accepted 29/9/2025)

□ ABSTRACT □

A software model (code) was developed using (MATLAB) in order to model the factors affecting the potato harvesting machine, the most important of which is the penetration angle (attack), and to choose the optimal angle in clay soil types, at different depths and three speeds of the traction machine, Proper angle calibration results in the lowest qualitative and quantitative losses of the drum, while maintaining quality and productivity within the required capacity of the traction machine. Modeling results showed that qualitative losses are lowest in the optimum traction speed zone (3-4.5 km/h) and optimum depth (22-28 cm), while the quantitative losses are lowest (4-5%) in clayey soil. The lower the depth, the higher the optimum angle, and vice versa, i.e. the higher the depth, the lower the optimum angle: Small depths (20-25 cm) have larger angles (40°-50°) - Medium depths (25-35 cm) have medium angles (30°-40°) - Large depths (35-40 cm) have smaller angles (25°-35°). The optimum range for penetration angle: (30°-40°) for most working conditions in clay soil, and it varies according to depth: the greater the depth, the lower the optimum angle, and the lower the quantitative and qualitative loss of tubers is achieved.

Keywords: Optimum penetration angle modeling, clayey soil, optimum excavation depth .and speed

*Assistant Professor at the Faculty of Technical Engineering, Tartous University

1. المقدمة

يتم زراعة البطاطا في أراضٍ منبسطة، أو على خطوط في المساحات الضيقة والصغيرة، أما في المساحات الكبيرة والقابلة للجني الآلي فتزرع الدرنات على خطوط، تكون المسافة بين الخط والآخر ما بين (500-1100mm)، تُستخدم لذلك جرارات باستطاعات عالية وعجلات عريضة في جميع مراحل تجهيز التربة للزراعة، بحيث لا يتم ضغط التربة، وعادة تُزرع النباتات بمسافات متوسطة (750-900mm) بين الحط والآخر، وما بين (250-400mm) بين النبات والآخر. [1].

تُحقق معدات القلع خط قلع كامل، وتُستخدم لذلك معدات مختلفة بالشكل والوظيفة. يتم التحكم بها عن طريق ضبط عمق القلع بالأجهزة المعدة لذلك، تكون وظيفة آلة القلع أحداث خط الزراعة كاملاً مع ضمان نقل كمية قليلة من الكدر والتراب ومن دون فقد للدرنات. يتم ذلك بقطع شريحة التربة وتفكيكها ثم نقلها إلى آلة الغريلة بكميات ثابتة، وهذا يحدد السلاح للآلة المتعامل مع التربة، حيث أن طول السلاح القالع وزاوية اختراقه (زاوية الهجوم) لهما الدور الأساسي في تحديد ذلك. [4]

يلعب عمق القلع (h) دوراً أساسياً في تحديد حجم التربة المأخوذة من الخط الزراعي، حيث تبلغ (655 m^3/h_k) عند العمق (h=12-15 cm)، ومع زيادة العمق (1cm) يزداد حجم التربة المعامل بمقدار (60-80 m^3/h_k). [5]

مهمة السلاح القالع هو المرور تحت خط الزراعة المشكل، وأخذ الدرنات كاملة مع محاولة أخذ الحد الأدنى من الأتربة والكدر، يجب أن تُنفذ هذه المهمة من خلال إجراء خلخلة للتربة وسحب المجموع الموجود على الخط (تربة-حجارة-كدر-درنات) وانزلاقه على السلاح ليصل إلى آلية الغريلة [6].

يوجد تصاميم مختلفة ومتنوعة وعديدة للسلاح القالع، منها: سلاح مسطح مدبب ثلاثي الزوايا، سلاح مستو مقعر، سلاح مستو مؤلف من أكثر من قطعة، سلاح مستو ثلاثي الزوايا مؤلف من قطعتين بينهما قطعة ماسكة وسلاح مجزأ وقرصي (خامل) وقرصي (نشط) مزود بأسطوانات [10]، إن أهم المؤشرات الهندسية للسلاح القالع هي زاوية اختراق زاوية القلع (α) - وهي الزاوية التي يميل بها سلاح القلع في أثناء العمل مع الأفق - دخولاً سهلاً، وعدم تكتل وتجمع التربة أمام السلاح، وبذلك يمكن معايرة ارتفاع نهاية السلاح العليا (h) [1].

أظهر كل من [2] و [11]، تأثير المتغيرات لآلة قلع الدرنات البطاطا في تلف درنات البطاطا على ارتفاعات مختلفة، حيث أن نسبة التلف انخفضت مع زيادة العمق، وقلت كمية درنات البطاطا المدفونة، حيث أوصى باستخدام السرعة الأمامية للآلة الساحبة (2 km/h) وعمق (22-23cm)، حيث كانت أقل نسبة للتلف (0.04%) و (0.02%).

بين [3]، تأثير تصميم نظام الفصل لدرنات البطاطا وتأثيرها على الفقد النوعي والكمي، عند ثلاث سرع وفي تربة مزيجية رملية، حيث استخدم الباحث نظامي فصل: اسطواني لولبي دوار وناقل سلسلي هزاز، وبعد تحليل النتائج، تبين أن الفصل الاسطواني تفوق على السلسلي بتأثير معنوي وذلك عن السرعة (1.5 km/h) وعمق ثابت (25 cm).

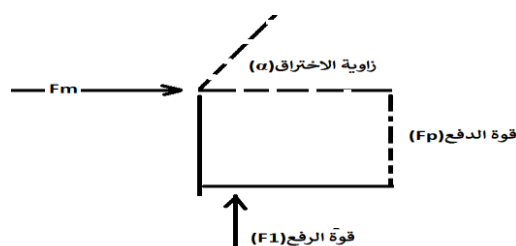
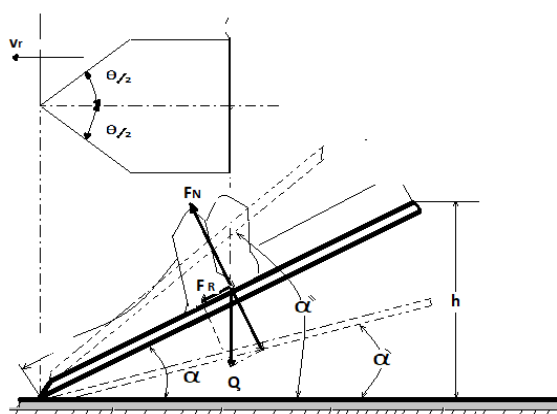
قام [7] باختبار آلة جني البطاطا المصنعة محلياً في تربة طينية من منطقة سهل يحمر التابعة لمحافظة طرطوس، وبدراسة تأثير العمق وسرعة العمل في الفقد النوعي والكمي لدرنات البطاطا، أظهرت نتائج الدراسة أنه مع زيادة عمق القلع وانخفاض السرعة الأمامية لآلة الجني، تزداد نسب كل من: عمق بقية

الأعماق مسجلاً أعلى نسبة من الدرناات السليمة (87,70%) والدرناات الكبيرة (96,96%) وأقل نسبة من الفقد الكمي (3,03%) والفقد النوعي (9,25%). كما حققت السرعة 1.6 km/h) أعى نسبة لم درناات السميمة (76,69%) والدرناات المقتمة (91,92%)، وأقل فقد نوعي وكمي (8,06%, 15,23%) على التوالي، ومنقوقة بذلك معنوياً على باقي سرع العمل المدروسة.

٢. أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية البحث اقتصادياً من القيمة الغذائية والتصنيعية لمحصول البطاطا، حيث أنه يجب اختيار ومعايرة زاوية الاختراق (α) لقالع الدرناات قبل البدء بالجني، والتي تؤثر بشكل فعال على الفقد الكمي والنوعي لدرناات البطاطا وجودة المحصول، لذلك يتجلى هدف البحث في تحديد الزاوية المثلى للاختراق (α) عند أعماق مختلفة وضمن المجال (20-30 cm)، وتحديد سرع الآلة الساحبة، ونمذجة زاوية الاختراق واختيارها، والتي تضمن أقل فقد نوعي وكمي للدرناات وعند سرع مناسبة في تربة طينية .

٣. الدراسة النظرية والتحليلية



١. قوة الرفع (F_1) تعتمد على المركبة الرأسية للرفع والزاوية (α).
 ٢. وزن التربة والدرناات (w).
- أما تحليل القوى (F_m) لقالع درناات البطاطا مع اهمال العوامل غير المؤثرة بشكل فعال على العملية التكنولوجية:
- مركبة أفقية: (F_{mx})، تعيق الحركة الى الأمام. الشكل (١).
 - مركبة رأسية: (F_{my})، تساهم في الرفع.
- أما معادلات التوازن:

$$F_p = F_{mx} = F_m * \sin(\alpha) \quad (1)$$

$$F_1 = F_{my} = F_m * \cos(\alpha) \quad (2)$$

٤. طرائق البحث ومواده

١. برنامج ماتلاب للنمذجة (MATLAB) موجود على حاسب ذو معالج عالي السرعة، حيث تم تصميم برنامج لنمذجة زاوية الاختراق وفق المعطيات التالية:

clay_moisture = 0.51;	نسبة الرطوبة %
soil_cohesion = 25e3;	(Pa) التماسك %
soil_density = 1650;	الكثافة %
soil_friction_angle = deg2rad(15);	زاوية الاحتكاك الداخلي %
soil_adhesion = 1.2e3;	(Pa) الالتصاق %
tractor_power_hp = 35;	(حصان) القدرة %
tractor_power = tractor_power_hp * 745.7;	التحويل الى وات %
tractor_efficiency = 0.75;	كفاءة %
blade_width = 0.15;	(m) عرض الشفرة %
blade_length = 0.4;	(m) طول الشفرة %
blade_friction_coeff = 0.4;	%
depth_min = 0.20;	سم 20 %
depth_max = 0.40;	سم 40 %
num_depths = 50;	نقاط المحاكاة %

علماً أن البرنامج يقوم بتحويل الوحدات ويجعلها مناسبة لجميع الدوال والعلاقات المستخدمة.

٢. مواصفات التربة الطينية في الساحل السوري على عمق الحراثة، وتم اعتماد نتائج التحليل للتربة الطينية وفق

[٧]:

الجدول (١)، بعض مواصفات التربة قبل جني درنات البطاطا

التحليل	العمق	الطريقة المستخدمة
نسبة الطين	(20-25)cm	طريقة الهيدرومتر
نسبة السلت	49%	
نسبة الرمل	26%	
نوع التربة	طينية (Caly)	مثلث القوام الأمريكي

٣. جرار ماسي باستطاعة (35 Hp).

٤. آلة جني مصنعة محلياً معلقة بالجرار الماسي.

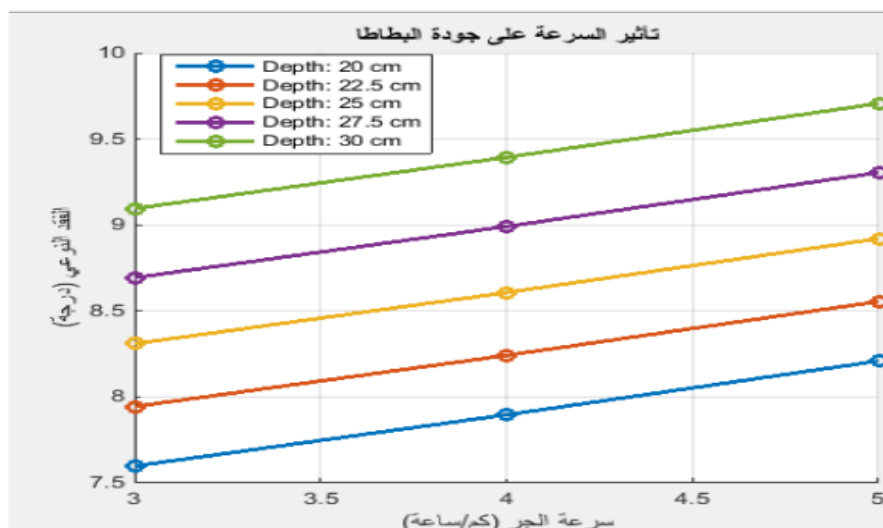
٥. سلاح ذات شكل مثلث متوضع على محور [٨]. (عدد الأسلحة ٣)، ولكن سوف يتم دراسة سلاح واحد

ونمذجته.

٥. النتائج والمناقشة

١,٥. تأثير سرعة آلة السحب على الفقد النوعي لدرنات البطاطا:

يبين الشكل (٢)، العلاقة بين سرعة الجرار (km/h) والفقد النوعي (%)، وذلك من أجل تربة طينية، والمخططات تبين الأعماق المختلفة وقيمة الفقد النوعي (يشمل الدرنات بسبب التلف والدرنات المشوهة).



الشكل (٢)، العلاقة بين سرعة الجر والفقد النوعي

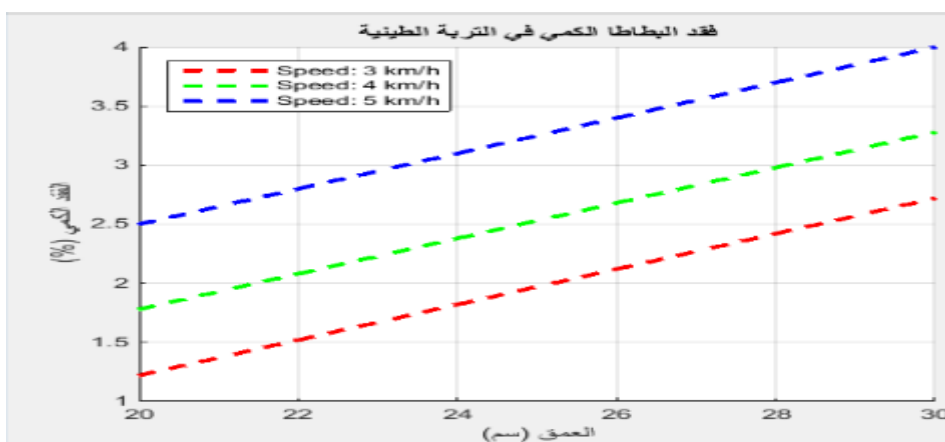
يلاحظ من مخطط النمذجة (٢)، أن الفقد النوعي يكون أقل مستوياته في المنطقة المثلى لسرعة الجر (3-4.5 km/h)، حيث من هذا المجال بين الإنتاجية وقلة الفقد، ويصبح الفقد كبيراً عند السرعات العالية. وعند السرعة (3m/s) أقل قيمة للفقد.

العلاقة المستخدمة في النمذجة [6]:

الفقد_الكلي = الفقد_الأساسي + مساهمة_الزاوية + مساهمة_السرعة + مساهمة_العمق (٣)

٢,٥. تأثير عمق القالع على الفقد الكمي لدرنات البطاطا:

يبين الشكل (٣)، العلاقة بين العمق (cm) والفقد الكمي (%) عند سرعات مختلفة لآلة الجر.



الشكل (٣)، العلاقة بين عمق القلع والفقد الكمي

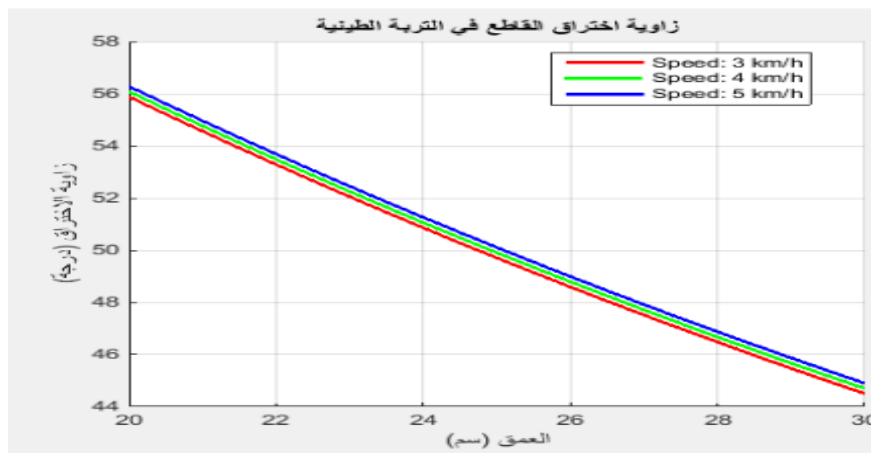
يلاحظ من الشكل (٣)، نلاحظ أن السرعة المناسبة لأقل فقد كمي تكون ضمن المجال للسرعات (3.5-4.5 km/h)، والعمق الأمثل من المجال (22-28 cm)، وتكون نسبة الفقد الكمي أقل ما يمكن (4-5%) في التربة الطينية المقابلة للقيم المثالية للعمق. والمعادلات المستخدمة بالنمذجة [١٢]:

$$\text{angle_deviation} = \text{abs}(\text{angle_deg} - \text{optimal_angle}) / \text{optimal_angle}; \quad (٤)$$

$$\text{angle_loss_contribution} = \text{angle_deviation} * 8;$$

٣,٥. تأثير زاوية الاختراق على عمق القلع:

يبين الشكل (٣)، العلاقة بين زاوية الاختراق (α) وعمق العمل (cm) عن سرعات مختلفة لآلة الجر.



الشكل (٤): العلاقة بين زاوية الاختراق وعمق القلع

يلاحظ من الشكل (٤)، أنه كلما قل العمق، ازدادت الزاوية المثلى، والعكس صحيح، أي كلما ازداد العمق تقل الزاوية المثلى:

- (١) الأعماق الصغيرة (20-25 cm) تكون الزوايا أكبر (٤٠°-٥٦°).
- (٢) الأعماق المتوسطة (25-35cm) تكون زوايا متوسطة (٣٠°-٤٠°).
- (٣) الأعماق الكبيرة (35-40cm) تكون زوايا أصغر (٢٥°-٣٥°).

٤,٥. النمذجة الرقمية لزاوية الاختراق في تربة مختلفة:

بين الجدول (٢) نتائج النمذجة الرقمية في تربة طينية مختلفة:

وهي عبارة عن نتائج حسابية أمثلية من المخطط، تم تسجيلها ووضعها ضمن الجدول (٢)، ولتوضيح المجالات للعمل بأقل فقد نوعي وكمي.

الجدول (٢)، مجال زاوية الاختراق المثلى عند ترب طينية مختلفة

نوع التربة	العمق الأمثل (cm)	السرعة المناسبة (km/h)	زاوية الاختراق المناسبة (درجة)	الفقد المتوقع %
طينية ثقيلة	20-25	3-4	35°-50°	4-6
طينية متوسطة	25-30	4-5	30°-45°	3-5
طينية خفيفة	30-35	5-6	25°-40°	2-4
طمييه	25-30	4-5	20°-35°	2-3

يلاحظ من الجدول (٢)، أن التربة الطمييه والطينية الخفيفة هي الأفضل من أجل أقل فقد لا يتجاوز (3%) عند زاوية الاختراق المثلى (20°-35°) وعمق قلع، بحيث لا يتجاوز المجال (25-30cm) حتى لو تجاوزت سرعة الجرار (3 km/h).

٥.٥. النمذجة الرقمية لزاوية الاختراق عن أعماق مختلفة للقالع:

يبين الجدول (٣)، القيم المثلى لزاوية الاختراق مع اختلاف العمق مع أقل قيمة للفقد:

الجدول (٣)، زاوية الاختراق المثلى عند أعماق مختلفة

مجال زوايا الاختراق المسموح به	الزاوية المثلى	عمق القلع للدرنات (cm)
35°-50°	40°-45°	20-25
30°-45°	35°-40°	25-30
25°-40°	30°-35°	30-35
20°-35°	25°-30°	35-40

يلاحظ من الجدول (٣)، أن الزاوية المثلى تتناسب عكساً مع عمق القلع للدرنات في التربة الطينية، لذلك يجب اختيار ومعايرة الزاوية وفق نتائج النمذجة بحيث يجب مراعاة الدقة عند الاختبار والمعايرة. من خلال ذلك تستنتج أن:

- ✓ الأعماق الكبيرة تتطلب زوايا أصغر لتقليل الاحتكاك.
- ✓ الأعماق الصغيرة تتحمل زوايا أكبر لزيادة فعالية القص.
- ✓ الضغط الجانبي يزداد مع العمق.
- ✓ الزوايا الصغيرة تقلل من مساحة التماس الجانبية في الأعماق الصغيرة.
- ✓ الزوايا الكبيرة تُسبب عدم استقرار في الأعماق الكبيرة.
- ✓ الزوايا الصغيرة تحسن الاستقرار ولكن تقلل الكفاءة.

٦. الاستنتاجات

١. المعايرة الدقيقة لزاوية الاختراق وعمق القلع وسرعة الجر وفقاً لظروف التربة تحقق:

- (١) أعلى كفاءة قلع.
- (٢) أقل فقد للمحصول.
- (٣) أفضل استغلال للطاقة.
- (٤) أطول عمر تشغيلي للآلة.

٢. المجال الأمثل لزاوية الاختراق: (30° - 40°) لمعظم ظروف العمل وتختلف حسب العمق: كلما زاد العمق قلَّت الزاوية المثلى، وتحقق أقل فقد كمي ونوعي للدورات.
٣. العمق الأمثل وفق نتائج النمذجة (25-30 cm) للتربة الطينية، وأقصى عمق ممكن (40 cm)، وفق قدرة الجرار المستخدم (35 hp).
٤. السرعة المثلى (3.5-4.5 km/h)، والسرعة القصوى المسموحة (5 km/h) لتجنب الفقد العالي، وتحقق أعلى معدل قلع مع أقل تلف للدورات.

٧. التوصيات

١. تأثير أنواع التربة المختلفة على نسب الفقد واستهلاك الوقود.
٢. تأثير أصناف البطاطا المتنوعة على مؤشرات الأداء للآلة.
٣. تأثير موسم الزراعة على الأداء.
٤. أما فيما يخص الموديل الرياضي للنمذجة:
 - (١) إضافة عمر الدورات كعامل مؤثر.
 - (٢) دراسة تأثير المطر على الأداء.
 - (٣) تطوير نموذج تنبؤ أكثر دقة ومرونة.

٨. المراجع العربية

- [١] كريانتشين، ف، ب: أنواع الأسلحة المناسبة لقالع درنات البطاطا، CCR ، موسكو، ١٩٧٥م.
- [٢] الدوسري، ناجي بن مرضي (٢٠٠٥)، تأثير متغيرات التشغيل لآلة حصاد البطاطا على تلف الدرنات. رسالة ماجستير، كلية العلوم والأغذية والزراعة، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.
- [٣] أركان، ناجي(٢٠٠٨)، تأثير تصميم نظام الفصل لدنرات البطاطا وتأثيرها على الفقد النوعي والكمي، عند ثلاث سرع وفي تربة مزيجية رملية. مجلة اكر ونومي العلمية.
- [٤] معلا ، شعبان؛ منصور، محمد؛ غانم، محمد: المكننة الزراعية- جامعة تشرين، منشورات جامعة تشرين ١٩٩٦، (٢٦٦ صفحة).
- [٥] أبو سمرة، عدنان؛ البدعش، أسامة: تصميم الآلات الزراعية- منشورات جامعة دمشق ٢٠٠٦-٢٠٠٧، (٣٧٣ ص).
- [٦] منصور، محمد: آلات الجني- كلية الهندسة التقنية، منشورات جامعة تشرين، ٢٠١٢، (٥٢٢ صفحة).
- [٧] غانم، محمد؛ محمود، علي؛ أسعد ، مجد: دراسة تأثير عمق القمع وسرعة العمل لآلة جني البطاطا المصنعة محلياً في الفقد الكمي والنوعي لدنرات البطاطا في تربة طينية- مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية-سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٥)، (العدد٢)، ٢٠٢١م.

٩. المراجع الأجنبية

- [8] Kepner, R. A., (1978). *Principles of Farm Machinery*. John Wiley & Sons.
- [9] Srivastava, A. K., (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASABE.
- [10] Molari, G., (2018). "Soil-tool interaction in clayey soils: Experimental analysis". *Biosystems Engineering*, 172, 145-156.
- [11] Al-Janobi, A. A., (2019). "Performance evaluation of potato digger harvesters". *Agricultural Engineering International*, 21(1), 145-152.
- [12] Abu-Hamdeh, N. H., (2020). "Draft requirements of subsoliers in clay soil". *Soil and Tillage Research*, 204, 104721.