

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الزراعية والتقانة الحيوية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 18

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. وليد حمادة	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية
د. نعيمة عجيب	رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها
الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + word / CD
من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة
على النشر في المجلة.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده
حسب الحال.
- إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله
حتى تاريخه.
- إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس
عمله.
- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية
والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
- 2- هدف البحث
- 3- مواد وطرق البحث
- 4- النتائج ومناقشتها .
- 5- الاستنتاجات والتوصيات .
- 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
 - كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي - العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
 - ج. يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة
11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام ورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة - الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة - سنة النشر - وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة - دار النشر وتتبعها فاصلة - الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

— بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة — المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة — أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة . مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. دفع رسم نشر (600) ل.س ستمئة ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (2000) ل.س الفا ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (150) ل.س مئة وخمسون ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
42-11	م. رنا المنصور أ.د. جمال العلي د. ختام إدريس	تقييم السياسات الزراعية المطبقة على محصول اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص
76-43	م. ريما بلقيس د. علاء صبح د. عدنان أحمد	تقييم أداء محرك ديزل باستخدام سائل تبريد هجين من جسيمات الغرافيت النانوية المشتتة في معلق السيليكا الحيوية
102-77	م. لارا عباس د. محمد المقداد	تقييم أثر القروض الزراعية على تحسين المستوى المعيشي للمزارعين في محافظة حمص
130-103	م. نور عادل شعبان د. عدنان احمد أ.د. سليمان سلامه	محاكاة ديناميكية لتفاعل التربة مع محراث تحت التربة ذي سلاح ثانوي: تحليل معامل الجر والطاقة

تقييم السياسات الزراعية المطبقة على محصول اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص

- م. رنا المنصور <1> أ.د. جمال العلي <2> د. ختام إدريس <3>
- <1>- طالبة دكتوراه في قسم الاقتصاد الزراعي - كلية الهندسة الزراعية . جامعة حمص .
- <2>- أستاذ في قسم الاقتصاد الزراعي - كلية الهندسة الزراعية . جامعة حمص .
- <3>- باحثة في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية - بحوث حمص .

الملخص:

هدف البحث إلى تحليل السياسات الزراعية المطبقة على شجرة اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص، بالاعتماد على منهجية تحليل السياسات الزراعية (PAM- Policy Analysis Matrix) لقياس تأثير تشوهات السوق والسياسات الحكومية على ربحية المحصول وكفاءة تخصيص الموارد، تم جمع البيانات الأولية من عينة عشوائية بسيطة شملت (266) مزارعاً خلال الموسمين الزراعيين 2022/2023 - 2023/2024، وبينت النتائج ارتفاع كبير في تكاليف كل من المدخلات القابلة وغير القابلة للتبادل التجاري في كلا الموسمين الزراعيين يقابله انخفاض نسبي في الإيرادات عام 2024 نظراً لانخفاض الإنتاجية وأسعار بيع المحصول، وهذا أدى إلى انخفاض ربحية مزارعي اللوز، وتوصل البحث إلى تدهور كفاءة الموارد المحلية المستخدمة في إنتاج اللوز، حيث ارتفع مؤشر DRC من (0.82) إلى (1.44)، مما يشير إلى فقدان الميزة النسبية لإنتاج محصول اللوز في عام 2024، وكشفت مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات عن تحول في دعم المنتج، حيث انتقل SRP من (-0.05) أي عبء ضريبي ضمني طفيف إلى (0.11) أي دعم فعلي وذلك نتيجة زيادة الدعم النسبي للمنتج في ظل الخسائر.

يوصي البحث بإعادة النظر في السياسات الزراعية لضمان استدامة الإنتاج وتحسين الربحية الاقتصادية، وتوجيه الدعم نحو المدخلات الأساسية لتخفيف الأعباء على المنتجين في ظل ارتفاع التكاليف وانخفاض الإنتاجية بما يحقق الكفاءة الاقتصادية ويحافظ على الميزة النسبية للمحصول.

الكلمات المفتاحية: محصول اللوز، مصفوفة تحليل السياسات الزراعية، الميزة النسبية، تشوهات السوق، مؤشرات الحماية والدعم.

Evaluation of agricultural policies applied to almond crops in the eastern countryside of Homs Governorate

Abstract:

This study aimed to analyze the agricultural policies applied to almond trees in the eastern countryside of Homs Governorate, using the Policy Analysis Matrix (PAM) methodology to measure the impact of market distortions and government policies on crop profitability and resource allocation efficiency. Primary data were collected from a simple random sample of (266) farmers during the 2022/2023&2023/2024 agricultural seasons, the results showed a significant increase in the costs of both tradable and non-tradable inputs in both growing seasons, coupled with a relative decrease in revenues in 2024, this led to a decline in the profitability of almond farmers. The research concluded that the efficiency of local resources used in almond production has deteriorated, as the DRC index rose from (0.82) to (1.44), indicating a loss of the comparative advantage of almond crop production in 2024. The policy analysis matrix indicators revealed a shift in product support, as the SRP moved from (-0.05) mean a slight implicit tax burden, to (0.11) mean indicating actual support, as a result of the increase in relative support for the product in light of the losses.

The research recommends reconsidering agricultural policies to ensure sustainable production and improve economic profitability, and directing support towards basic inputs to alleviate the burdens on producers in light of rising costs and declining productivity .

Keywords: Almond crop, agricultural policy analysis matrix, comparative advantage, market distortions, protection and support indicators.

مقدمة:

يعد القطاع الزراعي في سورية من أهم القطاعات الاقتصادية المكونة لهيكل الاقتصاد الوطني، لاعتماده بشكل جوهري على استثمار معظم الموارد الاقتصادية، بما فيها الطبيعية، والبشرية، والرأسمالية، في تحقيق الإنتاج الزراعي، ومساهمته الفاعلة في تكوين الناتج المحلي الإجمالي للبلاد، (فلفة، 2023).

بلغ إنتاج اللوز عالمياً نحو 3.21 مليون طن في عام 2023 وفق بيانات منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (FAO, 2023)، وتُعد الولايات المتحدة الأمريكية المنتج الأكبر، بحصة تفوق 60% من الإنتاج العالمي، تليها إسبانيا، وقد سجّلت كاليفورنيا وحدها أكثر من 1.8 مليون طن من اللوز مدعومة بتطور أساليب الري والزراعة الميكانيكية، ووفقاً لإحصائيات وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي لعام 2023، بلغت المساحة المزروعة باللوز في سوريا (71118) هكتار وبلغ عدد الأشجار المزروعة حوالي (26) مليون شجرة أنتجت ما يقارب (135) ألف طن وهي تحتل المرتبة الرابعة عالمياً بعد الولايات المتحدة الأمريكية وإسبانيا وإيران والأولى عربياً قبل المغرب والجزائر.

تتركز زراعة اللوز في محافظة حمص التي تأتي بالمركز الأول على مستوى سورية من حيث المساحة وتغطي حوالي (82%) من المساحة الإجمالية المزروعة باللوز ((57350) هكتار بعل و (844) هكتار مروي)، والإنتاج الذي يغطي نسبة (84%) من الإنتاج الكلي في سورية، وذلك بفضل تربتها المناسبة لزراعة أشجار اللوز والتي تعتبر من الأشجار الاقتصادية المهمة في تحريج المناطق الجافة كما يمتاز هذا المحصول بتحملة للجفاف حيث ينتشر بنسبة عالية في الريف الشرقي من محافظة حمص تصل حتى (80 %) من المساحات المزروعة على مستوى المحافظة (المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية، 2023).

فقد ذكر العلي (2008) أنه منذ فترة لا تزيد عن 15 عاماً، لم تكن شجرة اللوز معروفة كمحصول اقتصادي في محافظة حمص نهائياً، وبسبب حلول موجات من الجفاف ألحقت خسائر كبيرة لمزارعي محاصيل القمح والشعير، فقد قام المزارعون بالبحث عن زراعات بديلة وكانت هذه الزراعات اللوز والكرمة والزيتون، وساعد في عملية التحول إلى زراعة اللوزيات والكرمة مشروع الحزام الأخضر حيث وفر للفلاحين أليات استصلاح الأراضي وبأسعار تشجيعية، وقدم لهم القروض طويلة الأجل ذات الفائدة المنخفضة، وإن الأرياح التي حققتها المزارعون الأوائل لشجرة اللوز كان لها الأثر الكبير في انتشارها بالإضافة إلى دفء المناخ إذ لم تحدث في السنوات السابقة موجات صقيع أدت إلى فقد الموسم إلا في سنوات قليلة.

ومن هذا المنطلق تأتي أهمية تقييم الميزة النسبية لمحصول اللوز لأن دراسة الميزة النسبية لمنتج زراعي أو أكثر تعتبر من الدراسات الهامة لإسهامها في بناء الإمكانيات البشرية ومساعدة صانعي القرار في صياغة السياسات الزراعية وبالتالي فإن المعلومات التي يتم تجميعها والنتائج التي يتم التوصل إليها من التحليل يمكن أن تستخدم أيضاً لدعم حوار السياسات الزراعية بين الجهات المعنية ومختلف شرائح المهتمين بكل نظام سلمي (الإمام، 2010).

هنا تكمن مشكلة البحث في تحديد السياسات المتبعة (سياسة دعم أو فرض ضرائب) على الإنتاج الزراعي، من خلال تحديد مدى تدخل الدولة في دعم أسعار محصول اللوز، والإجابة عن مجموعة من الأسئلة، من أهمها هل تقوم الحكومة بمنح المزارعين حوافز تشجيعية كتأمين مدخلات الإنتاج بأسعار أقل من تكلفتها الفعلية، أو أن هناك ضرائب مفروضة على المزارعين.

إن مصفوفة تحليل السياسات هي أسلوب تحليلي كمي رياضي وأداة تستخدم لتحليل الميزة النسبية عن طريق قياس أثر سياسات التدخل الحكومي وتشوهات السوق على نظام السلع الرأسي أو السلاسل السلعية ابتداءً من المزرعة وصولاً لنقطة الاستهلاك النهائي والتصدير، وتعرف مصفوفة تحليل السياسات على أنها عبارة عن إطار حسابي يساعد في تجزئة نظام السلعة إلى مكوناته الأساسية والتي تتمثل في الربحية الخاصة مقدرة بالأسعار الخاصة، والربحية الاجتماعية مقدرة بالأسعار الاجتماعية أو الظلية والفرق بين مقياسي الربحية وهو الفرق بين السعيرين يعود إلى تأثير السياسة السعرية، كما أنها

صممت خصيصاً لتحليل تشوهات السوق وتدخلات السياسة السعرية وتأثيراتها على نظام السلعة (مضحي ومحمد، 2015).

مشكلة البحث:

يتأثر القطاع الزراعي بشكل كبير بالتقلبات الطبيعية والاقتصادية التي تشهدها البلاد، حيث أدى الارتفاع الكبير في تكاليف الإنتاج وأسعار مستلزماته إلى انخفاض ربحية المزارع وتفاوتها من محصول لآخر، وبالإضافة إلى ذلك فإنه يتأثر إيجاباً وسلباً بمجموعة السياسات الاقتصادية المتعلقة بالإنتاج والتسويق والتجارة الداخلية والخارجية داخل الاقتصاد القومي، ونظراً للتغيرات المستمرة في هذه السياسات والتي لم تأخذ في عين الاعتبار التحولات العالمية في الإنتاج والتجارة فقد حدثت تشوهات عديدة في الأسواق نتيجة أسباب ترتبط بالسياسات الاقتصادية المطبقة في الدولة، الأمر الذي يترتب عليه حدوث اختلالات سعرية بين الأسعار المحلية والأسعار العالمية متمثلة في الحدود لبنود التكاليف والعائد وانعكاس ذلك على دخول المزارعين.

وتكمن المشكلة الأساسية في ندرة الدراسات السابقة التي تتناول أثر السياسات الزراعية على إنتاج محصول اللوز وبشكل خاص في منطقة الريف الشرقي لمحافظة حمص التي تمثل بيئة إنتاجية متميزة، وهذا التجاوز المنهجي يؤدي إلى عدم القدرة على قياس أثر السياسات السعرية الحكومية، وضعف الأساس العلمي لتوجيه سياسات الدعم والتنمية الزراعية بشكل عادل وفعال.

أسئلة البحث:

1. ما أثر السياسات الزراعية والتشوهات السعرية على الكفاءة الاقتصادية والميزة النسبية لمحصول اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص؟
2. ما هي السياسات المثلى لتحسين الكفاءة الاقتصادية والتنافسية للمحصول؟

هدف البحث:

تهدف الدراسة إلى التركيز على أثر السياسات الزراعية المطبقة على شجرة اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص، وذلك من خلال:

1. تحليل مصفوفة السياسات الزراعية، لتوضيح مدى انحراف أسعار السوق المحلية عن الأسعار العالمية وللوقوف على مستويات التشوهات في الأسواق ودرجة عدم توظيف الموارد.

2. تقدير بعض مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية عن طريق:

- حساب معاملي الحماية الاسمي والفعال.
- التعرف على السياسة السعرية المتبعة سواء كانت سياسة دعم أو فرض ضرائب على المزارعين
- تقدير معامل تكلفة المورد المحلي للوقوف على الميزة النسبية.

فروض البحث:

- الفرض الأول:** توجد فروق معنوية بين الربحية الخاصة والاجتماعية لمحصول اللوز.
- الفرض الثاني:** تؤثر السياسات الزراعية الحالية سلباً على الميزة النسبية لمحصول اللوز.
- الفرض الثالث:** توجد تشوهات سعرية في سوق مدخلات إنتاج اللوز.

أهمية البحث:

تأتي أهمية الدراسة في دراسة مصفوفة تحليل السياسات لواحدة من أهم الأشجار المثمرة في سورية (محصول اللوز) التي تم تهميشها بحثياً ولم يتم التطرق لها من قبل وذلك من أجل تقييم السياسات المطبقة من قبل الحكومة والتعرف على نتائج تطبيقها، وتدعم صانعي القرار في توجيه الدعم الزراعي وتحسين سياسة التصدير، إضافة لذلك سيكون للنتائج دور كبير في تحسين كفاءة تخصيص الموارد من خلال تحديد نقاط الضعف في هيكل التكاليف وتوزيع الموارد الطبيعية الزراعية المتاحة وترشيد استثمارها، وتفسير المبرر المنطقي الكامن وراء تطبيق إجراء السياسات أو إلغائها.

مواد البحث وطرائقه:

1- منطقة تنفيذ البحث:

تم تطبيق الدراسة في منطقة المركز الشرقي لمحافظة حمص لكونها تمثل الزراعة البعلية لمحصول اللوز حيث تتميز تربة المنطقة بأنها تربة طينية كلسية جيدة الصرف، ذات قوام متوسط إلى ثقيل، يبلغ معدل الأمطار السنوي فيها حوالي 300-350 ملم، موزعة بشكل غير منتظم، مما يجعل الزراعة فيها معتمدة بشكل أساسي على الرطوبة المحفوظة في التربة. وقد تم اختيار هذه المنطقة لتمثيل الزراعة البعلية لمحصول اللوز وذلك خلال الموسمين الزراعيين 2022/2023-2023/2024، وذلك بسبب توفر بيانات تفصيلية ومحدثة لتكاليف إنتاج اللوز وإيراداته، فضلاً عن تمثيل هذين العامين لمرحلة تتسم بارتفاع تقلبات أسعار الصرف والمدخلات الزراعية، وإمكانية إجراء مقارنة زمنية وتحليل الفروقات الإحصائية بين عامين متتاليين، وقد شملت البيانات الزراعية الفعلية موسم الإنتاج الكامل لأشجار اللوز خلال كل عام بما في ذلك العمليات الزراعية من بداية الخدمة وحتى جني المحصول.

2- مجتمع الدراسة:

يتكون مجتمع الدراسة من جميع مزارعي محصول اللوز في الريف الشرقي لمحافظة حمص والمسجلين لدى مديرية الزراعة والإصلاح الزراعي، والبالغ عددهم (6239) مزارعاً وذلك وفقاً للسجلات الرسمية لدى مديرية الزراعة والإصلاح الزراعي لعام 2024 تم الاعتماد على هذه السجلات كإطار رئيسي للسحب، حيث تتضمن أسماء المزارعين والمساحة المزروعة باللوز والقرية التابع لها.

3- تحديد حجم العينة:

تم اتباع العينة العشوائية الطبقية، حيث مثلت القرى الزراعية الطبقات، وذلك لضمان تمثيل جميع القرى في المنطقة، وتم الحصول على قائمة بأسماء جميع مزارعي اللوز المسجلين لدى مديرية الزراعة، موزعين حسب القرى، كما تم ترقيم المزارعين في كل قرية أرقاماً متسلسلة، وتم السحب العشوائي بنسبة (5%) من المجتمع حيث بلغ حجم العينة الأولى (312) مزارع، تم استخدام جدول الأرقام العشوائية بواسطة برنامج لاختيار المزارعين من كل قرية بشكل منفصل، مع مراعاة التوزيع النسبي لكل قرية توزعت العينة الأولى (312 مزارعاً) على القرى التالية بنسبة تناسبية بواقع 22 قرية (أبو دالي، العادلية، الصايد، الجابرية،

الهزة، الوازعية، الناصرية، الشتاية، البوير، زيدل، سكرة، الريان، الحراكي، تل شنان، الرزوقية، العثمانية، المنزول، عيفير، تل أحمر، جب عباس، تل الناقعة، الزهورية)

تم جمع البيانات عن طريق المقابلة الشخصية مع المزارعين، باستخدام استمارة استبيان معدة لأغراض هذا البحث، بعد أن تم عرض استمارة الاستبيان على محكمين من أساتذة الاقتصاد الزراعي ومركز البحوث العلمية الزراعية، وأبدوا ملاحظاتهم التي تم اعتمادها في الصيغة النهائية (الصدق الظاهري)، كما تم اعتماد أسلوب إعادة الاختبار لاختبار ثبات البيانات، وذلك بإعادة تطبيق الاستبيان على عينة عشوائية مكونة من (20) مزارعاً من خارج العينة الأصلية، بعد أسبوعين من المقابلة الأولى، وتم حساب معامل ارتباط بيرسون بين إجمالي التكاليف والإيراد للعينة نفسها، فتراوحت قيم المعامل بين (0.81-0.92)، مما أشار إلى ثبات عالٍ للبيانات.

وبعد الانتهاء من مرحلة الجمع الميداني، تم فرز الاستثمارات وتنظيف البيانات حيث تم استبعاد الاستثمارات التي فقدت أكثر من (20)% من بياناتها الأساسية، كما تم استبعاد القيم المنطرفة في بيانات المساحة المزروعة والتي تجاوزت 3 انحرافات معيارية عن المتوسط وبالتالي أصبح حجم العينة النهائي الصالح للتحليل (266) مزارعاً، يشكلون ما نسبته (4.26) % من مجتمع الدراسة الأصلي.

3- الأسلوب البحثي:

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي-التحليلي، مدعوماً بالتحليل الكمي باستخدام مصفوفة تحليل السياسات الزراعية (Policy Analysis Matrix – PAM)، وذلك لقياس أثر السياسات السعرية والإنتاجية على محصول اللوز، وتحليل درجة الحماية أو الضرائب الضمنية المفروضة على المنتج، إضافة إلى تقييم الكفاءة الاقتصادية والميزة النسبية للإنتاج المحلي.

وتعد مصفوفة تحليل السياسات الزراعية طريقة حديثة لتحليل السياسات، حيث تبرز أهميتها في القدرة على فحص التأثير الفعال لسياسات التدخل الحكومي في جميع مراحل تدفق السلع، مما يساعد على قياس كفاءة هذه السياسات في تحقيق أهدافها وفحص آثارها في المنتجين والمستهلكين والاقتصاد الكلي.

تم استخدام برنامجي Excel و SPSS في تبويب البيانات وتحليلها إحصائياً وحساب مؤشرات PAM

أولاً- أسعار الصرف المعتمدة في الدراسة:

نظراً لأهمية سعر الصرف في تحويل الأسعار العالمية إلى أسعار اجتماعية، فقد تم اعتماد قيم وسطية لأسعار الصرف خلال عامي الدراسة على النحو الآتي:

- سعر الصرف الرسمي: تم احتسابه كمتوسط سنوي معلن خلال عامي 2023 و 2024.
 - سعر الصرف التوازني (الاقتصادي): تم تقديره استناداً إلى متوسطات السوق الموازية خلال نفس الفترة.
- وقد استُخدمت هذه القيم في تحويل الأسعار العالمية للمدخلات والمخرجات إلى العملة المحلية، وحساب الأسعار الاجتماعية بما يعكس التكلفة الحقيقية للاقتصاد الوطني.

ثانياً- الأسعار العالمية المعتمدة لمحصول اللوز ومدخلاته:

نظراً لعدم خضوع اللوز في العادة لتسعير حكومي مباشر، فقد تم الاعتماد على الأسعار العالمية التقريبية السائدة خلال عامي 2023 و 2024، مع الأخذ بعين الاعتبار التذبذب السعري، وذلك على النحو الآتي:

1. سعر اللوز في الأسواق العالمية

تم اعتماد نطاق سعري متوسط للوز الخام (غير المقشر) بالدولار الأمريكي للطن، وفق متوسطات التجارة الدولية. حيث بلغ متوسط السعر العالمي للوز الخام حوالي (3500-2000) دولار/طن خلال فترة الدراسة.

2. الأسمدة الكيماوية

- سماد اليوريا: اعتماد متوسط سعري عالمي للطن (400-450 دولار/طن).
- الأسمدة المركبة: وفق أسعار الاستيراد العالمية خلال عامي الدراسة.

3. المبيدات الزراعية

تم اعتماد متوسط سعري عالمي للكيلوغرام، مع مراعاة اختلاف نوع المادة الفعالة.

4. مدخلات أخرى قابلة للتبادل

مثل الوقود والزيوت الزراعية، تم تسعيرها على أساس السعر العالمي المعدل بسعر الصرف التوازني.

ثالثاً- احتساب الأسعار الاجتماعية (Economic Prices)

للحصول على الأسعار الاجتماعية لمحصول اللوز ومدخلاته، تم استخدام معادلة المساواة للاستيراد عند باب المزرعة، والتي تُعد من أكثر الصيغ شيوعاً في دراسات PAM ، وذلك وفق المعادلة التالية:

$$FIPP = Bf (Cif) / SCF + HCP + TCBM + IC - TCFM - TPC$$

حيث:

$FIPP$: قيمة المساواة للاستيراد عند باب المزرعة

$Bf (Cif)$: سعر الاستيراد بالعملة الصعبة (دولار أمريكي)

$SCF = \frac{OER}{EER}$: معامل التحويل القياسي وهو يساوي

HCP : تكاليف التحميل والتزليل، (10.5 - 13.5%)

$TCBM$: تكاليف النقل من الحدود إلى المخازن الرئيسية (الأسواق) (3.2 - 4.5%)

IC : تكاليف التأمين (2.8 - 3.5%)

$TCFM$: تكاليف النقل من المخازن الرئيسية إلى باب المزرعة (3.7 - 4.2%)

TPC : تكاليف الفقد (4.7 - 5.2%)

OER : سعر الصرف الرسمي، EER سعر الصرف التوازني. (الأشقر، 2024)

تم اعتماد القيم الوسطية لهذه النسب بما ينسجم مع ظروف عامي 2023 و 2024 وتم حساب الأسعار الاجتماعية اعتماداً على الأسعار العالمية المعدلة بسعر الصرف التوازني مضافاً إليها تكاليف النقل والتأمين والفاقد.

بالنسبة للمدخلات القابلة للتجارة تم تقييم التشوهات الحاصلة، وذلك بإضافة الدعم المالي للمدخل التجاري بقيمة موجبة للمصفوفة في حين إضافة الضرائب بقيمة سالبة للمدخل التجاري في المصفوفة، بينما المدخلات غير القابلة للتجارة ليس لها أسعار عالمية، ويتم الاعتماد على أسعار الظل في حسابها (تكلفة الفرصة البديلة).

رابعاً- بناء مصفوفة تحليل السياسات الزراعية (PAM)

يُعد استخدام مصفوفة PAM من أكثر الأدوات شيوعاً في الدراسات الزراعية التطبيقية، نظراً لقدرتها على الربط بين الأسعار المالية (الخاصة) التي يواجهها المنتج فعلياً، والأسعار الاقتصادية

(الاجتماعية) التي تعكس التكلفة الحقيقية للموارد من منظور الاقتصاد القومي، وقد تم بناء مصفوفة PAM للأشجار اللوز لكل عام على حدة، وفق الجدول الآتي:

الجدول (1) هيكل مصفوفة تحليل السياسات الزراعية

البيان	الإيرادات	المدخلات		الربح
		قابلة	غير قابلة للتجارة	
الأسعار الخاصة	A	B	C	D
الأسعار الاجتماعية	E	F	G	H
التحويلات	I	J	K	L

المصدر: (Monke and Pearson, 1989)

حيث: A: مجموع الإيرادات بالأسعار الخاصة.

B: كلفة مدخلات الإنتاج القابلة للتجارة بالأسعار الخاصة.

C: كلفة الموارد المحلية بالأسعار الخاصة.

D : الأرباح بالأسعار الخاصة وتساوي: $D = (A - B - C)$

E: مجموع الإيرادات بالأسعار الاجتماعية.

F: كلفة مدخلات الإنتاج القابلة للتجارة (بالأسعار الاجتماعية).

G: كلفة الموارد المحلية بالأسعار الاجتماعية.

H: الأرباح بالأسعار الاقتصادية (الأسعار الاجتماعية) وتساوي: $H = (E - F - G)$

I: التحويلات نتيجة تأثير السياسات الزراعية على أسعار الإنتاج وتساوي: $(A-E)$.

J: التحويلات نتيجة تأثير السياسات الزراعية على مدخلات الإنتاج القابلة للتجارة وتساوي $(B-F)$.

K : التحويلات نتيجة تأثير السياسات الزراعية في الموارد المحلية وتساوي $(C-G)$.

L: التحولات الصافية نتيجة تأثير السياسات الزراعية (التدخلات) وتساوي (D-H). (الطراونة، 2006).

خامساً- معايير الكفاءة والتنافسية الاقتصادية

من منظور تخطيط السياسات الزراعية، توفر هذه المؤشرات أساساً علمياً لتوجيه الدعم بشكل أكثر فاعلية نحو زيادة الربحية الاقتصادية وتحسين الكفاءة الإنتاجية.

الجدول (2) معايير الكفاءة والتنافسية الاقتصادية

المؤشر	المعادلات	التفسير
معامل تكلفة الموارد المحلية (DRC)	$G/(E - F)$	مؤشر الميزة النسبية للنظام، إذا كانت DRC أصغر من 1 فإن النظام يتمتع بميزة نسبية مما يعني أننا نستخدم موارد محلية ذات قيمة أقل (عمالة - رأس مال) من القيمة المضافة أي أنّ إنتاجه محلياً أفضل من استيراده
معامل الحماية الاسمية للمخرجات (NPC 0)	(A / E)	يشير إلى مستوى حماية المنتج الرئيسي، وإذا كانت القيمة أكبر من 1 تكون أسعار المنتج محلياً أعلى من السعر العالمي وهذا يشكل دعم للمزارع والنظام يستفيد من الحماية.
معامل الحماية الاسمية للمدخلات القابلة للتجارة (NPC i)	B/F	إذا كانت القيمة أقل من 1 يعني أنّ الأسعار المحلية للمدخلات أقل من أسعارها العالمية وهذا يعني أنّ المزارع يدفع تكلفة أقل على المدخلات مقارنة بالتكلفة الحقيقية أو العالمية، وإذا كانت القيمة أكبر من 1 هذا يعني أن هناك ضرائب مفروضة .
معامل الحماية الفعال (EPC)	$(A - B) / (E - F)$	إذا كانت أكبر من 1 فهذا يعني أن التأثير الكلي لنتائج السياسات يدل على وجود حافز إيجابي لهذه السياسات (دعم حكومي).

معامل دعم المنتجين (SRP)	(L / E)	إذا كانت هذه النسبة أكبر من الصفر فإن ذلك يعني أن هناك دعماً يقدم للمزارع، أما إذا كانت النسبة أقل من الصفر فإن ذلك يعني أن هناك ضرائب مفروضة على المزارع.
--------------------------	---------	--

المصدر: (عطية، 2008).

سادساً- التحليل المقارن بين عامي 2023 و2024

تم إجراء مقارنة تفصيلية بين نتائج مصفوفة PAM لعامي الدراسة بهدف:

- تحليل تطور الربحية المالية والاقتصادية لأشجار اللوز.
- قياس أثر تغير أسعار الصرف والمدخلات.
- تفسير الفروقات الإحصائية بين العامين في ضوء السياسات الزراعية والاقتصادية.

النتائج والمناقشة:

1- دراسة وتحليل مؤشرات مصفوفة السياسات الزراعية لأشجار اللوز - في الموسم الزراعي

2023/2022

1-1 المدخلات القابلة للإنتاج - محصول اللوز

المدخلات القابلة للإنتاج هي من العناصر الأساسية التي تؤثر على تكلفة إنتاج أشجار اللوز، وتشمل المواد المستوردة أو القابلة للتحويل إلى عملة أجنبية مثل الأسمدة الكيماوية والمبيدات والفطريات والعبوات، هذه المدخلات لها دور محوري في تحديد الربحية المالية والاقتصادية للمزرعة، لكونها تتأثر مباشرة بأسعار السوق المحلي والعالمي، وكذلك بأسعار الصرف المعتمدة.

يعرض الجدول (3) متوسط تكاليف هذه المدخلات بالدونم الواحد للوز، مقسومة بين الأسعار الخاصة التي يواجهها المنتج فعلياً في السوق المحلي، والأسعار الاجتماعية التي تمثل التكلفة الاقتصادية الحقيقية للموارد من منظور الاقتصاد الوطني.

الجدول (3) متوسط تكاليف المدخلات القابلة للتجارة للدونم الواحد من اللوز خلال الموسم الزراعي

2023/2022

البند	الأسعار الخاصة (ألف ل.س./دونم)	الأسعار الاجتماعية (ألف ل.س./دونم)
الأسمدة الكيماوية	95.3	143.0
مواد المكافحة	43.2	64.8
الغراس	22.8	34.2
العبوات	6.4	9.6
مستلزمات أخرى (وقود، زيوت)	25.0	37.5
الإجمالي	192.7	289.1

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023.

بيانات الجدول (3) تظهر فروقاً ملحوظة لجميع المدخلات القابلة للتجارة بين الأسعار الخاصة والأسعار الاجتماعية، حيث تتجاوز القيمة الاجتماعية التكلفة الخاصة بنسبة (50%) تقريباً، مما يشير إلى أن السوق المحلية لا تعكس التكلفة الاقتصادية الحقيقية لهذه المدخلات، الأمر الذي قد يكون ناتجاً عن سياسات دعم جزئية أو قيود سعرية على أسعار المواد المستوردة، أو تأثير أسعار الصرف الرسمي مقابل التوازني حيث بلغ الفارق بين السعر الرسمي والتوازني حوالي 3500-4000 ل.س./دولار، مما يعني أن قيمة الدولار في السوق الموازي تزيد بنسبة 25-30 % عن قيمته الرسمية، هذا التشوه يفسر الجزء الأكبر من الفجوة يقدر بنحو 60-70%، والدعم الحكومي الضمني وغير المباشر والذي يتمثل في الإعفاءات الجمركية الجزئية ودعم أسعار المحروقات، ولكنه ليس المسبب الوحيد أو الرئيسي للفجوة.

- الأسمدة الكيماوية تعد الأعلى قيمة بين المدخلات القابلة للتجارة، وفارق الأسعار الكبير يعكس التأثير المباشر بأسعار الصرف وتقلبات السوق الدولية.

• يشير اتساع الفجوة بين الأسعار الخاصة والاجتماعية إلى وجود تشوهات سعرية ناتجة عن اختلاف أسعار الصرف والدعم الجزئي للمدخلات المستوردة الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض التكلفة المالية التي يتحملها المنتج مقارنة بالتكلفة الاقتصادية الحقيقية.

• متوسط التكلفة الاقتصادية الإجمالية للمدخلات القابلة للإنتاج يفوق ما يدفعه المنتج فعلياً بمقدار (96.4 ألف ل.س/دونم). ما يؤكد وجود فروقات ضمنية في الحماية أو عبء ضريبي على المنتج المحلي عند تقييم الكفاءة الاقتصادية. تحليل هذه البيانات يُظهر أن إنتاج اللوز يعتمد بشكل كبير على موارد قابلة للتبادل تستورد من الخارج، وأن التكاليف الفعلية لهذه الموارد أعلى بكثير مما يعكسه السوق المحلي، مما يترتب عليه ضرورة فهم هذه الفروقات عند حساب الربحية الاقتصادية واتخاذ القرارات الإنتاجية.

1-2- المدخلات غير القابلة للإنتاج-محصول اللوز

تشمل المدخلات غير القابلة للإنتاج الموارد المحلية المستخدمة في الإنتاج، مثل العمليات الزراعية، وإيجار الأرض، والعمل العائلي، والنفقات النثرية، وفائدة رأس المال وهي مدخلات لا يمكن تحويلها بسهولة إلى عملة أجنبية، وتُعتبر هذه المدخلات من العناصر الأساسية في تحديد الكفاءة الاقتصادية للموارد المحلية لأنها تعكس تكلفة استخدام العمالة والأراضي والمرافق في الإنتاج.

الجدول (4) متوسط تكاليف المدخلات غير القابلة للإنتاج بالدونم الواحد لمحصول اللوز خلال الموسم الزراعي (2022/2023)

البند	الأسعار الخاصة (ألف ل.س/دونم)	الأسعار الاجتماعية (ألف ل.س/دونم)
العمليات الزراعية (أجور)	447.4	671.1
العمل العائلي	200.0	300.0
إيجار الأرض	238.0	357.0

71.6	47.7	الري (تكلفة مياه)
210.3	140.2	نفقات نثرية
49.5	33.0	فائدة رأس المال
53.6	35.7	تكاليف مرتبطة بسنة الإثمار
1,713.1	1,142.0	الإجمالي

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023.

يشير الجدول (4) إلى فجوة كبيرة بين التكاليف الخاصة والتكاليف الاجتماعية لجميع المدخلات غير القابلة للإنتاج، وأبرز الملاحظات:

- الفارق بين القيمة الاجتماعية والخاصة لإنتاج الأرض يبلغ (119 ألف ل.س/دونم)، وهو الأعلى بين جميع المدخلات مما يعكس أن تسعير الأراضي في السوق المحلي يقل عن قيمتها الاقتصادية الحقيقية.
- تمثل تكلفة العمالة فارقاً ملحوظاً، مما يشير إلى دعم جزئي أو عدم انعكاس التكلفة الفعلية للموارد البشرية في السوق المحلي.
- مجموع المدخلات غير القابلة للإنتاج يفوق الأسعار الخاصة بمقدار (571.1 ألف ل.س/دونم) ما يعني أن تكلفة الموارد المحلية أعلى بكثير من الأسعار التي يواجهها المنتج فعلياً، وهو مؤشر على أن الاقتصاد الوطني يتحمل جزءاً من تكاليف الإنتاج دون أن ينعكس ذلك في السوق المحلي.

هذا التحليل يظهر أهمية أخذ الفروقات بين الأسعار الخاصة والاجتماعية بعين الاعتبار عند تقييم الكفاءة الاقتصادية للموارد المحلية، حيث أن تجاهل هذه الفروق قد يؤدي إلى تقدير مبالغ فيه للربحية ويقلل من القدرة على اتخاذ قرارات استراتيجية فعالة للإنتاج الزراعي.

1-3- مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز

تعتبر مصفوفة تحليل السياسات الزراعية (Policy Analysis Matrix – PAM) أداة رئيسية لتقييم أثر السياسات الزراعية والاقتصادية على الإنتاج المحلي، توفر هذه المصفوفة رؤية متكاملة لعلاقة

الإيرادات، المدخلات القابلة للإنتاج، المدخلات غير القابلة للإنتاج، والأرباح على مستويين الأسعار الخاصة التي يواجهها المنتج فعلياً والأسعار الاجتماعية التي تمثل التكلفة الاقتصادية الحقيقية للموارد، كما يتيح تحليل الفروق بين هذه المستويات تقييم الدعم أو الضرائب الضمنية، وأثر السياسات الزراعية، وكفاءة الإنتاج.

الجدول (5) مصفوفة تحليل السياسات الزراعية – PAM لمحصول اللوز خلال الموسم الزراعي (2023/2022) ألف ل.س/دونم

البيان	الإيرادات	المدخلات القابلة للإنتاج	المدخلات غير القابلة للإنتاج	الأرباح
الأسعار الخاصة	1,586.5	192.7	1,142.0	251.8
الأسعار الاجتماعية	2,379.8	289.1	1,713.1	377.6
التحويلات	-793.3	-96.4	-571.1	-125.8

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023.

من بيانات الجدول (5) نجد:

- الإيرادات الخاصة (1,586.5 ألف ل.س/دونم) أقل من الإيرادات الاجتماعية (2,379.8 ألف ل.س/دونم) بمقدار (793.3 ألف ل.س)، هذا يعني أن الأسعار السوقية المحلية للوز أقل من القيمة الاقتصادية الفعلية للمنتج، وهذا الفارق يعكس تأثير تقلبات السوق، أسعار الصرف، وعدم وجود تسعير حكومي مباشر للمنتج.
- الفروق السالبة للمدخلات القابلة للإنتاج (-96.4 ألف ل.س) تدل على أن تكلفة هذه المدخلات في السوق المحلي أقل من تكلفتها الاجتماعية، ما يعني وجود دعم غير مباشر أو أسعار منخفضة نسبياً للمواد المستوردة مثل المبيدات والأسمدة.

- الفروق السالبة الكبيرة للمدخلات غير القابلة للإتجار (571.1- ألف ل.س) تعكس أن الموارد المحلية أقل تكلفة في السوق المحلي مقارنة بالقيمة الاقتصادية الحقيقية، هذه الفجوة تدل على أن الاقتصاد الوطني يتحمل جزءاً من تكلفة الإنتاج فعلياً، وهو مؤشر على تسعير غير كافٍ للموارد المحلية.
- يشير التحويل الصافي السالب البالغ (-125.8 ألف ل.س/دونم) إلى وجود أثر سلبي للسياسات الزراعية والتشوهات السوقية على ربحية مزارع اللوز، حيث كانت الأرباح الخاصة (251.8 ألف ل.س/دونم) وهي أقل من الأرباح الاجتماعية (377.6 ألف ل.س/دونم) وهذا يعني أن المزارع يحصل على ربح مالي أقل مما يستحق اقتصادياً، نتيجة تدخلات السوق غير المناسبة أو غياب الدعم الكافي، مما يفرض عبئاً ضريبياً ضمنيّاً على المنتج المحلي.

4-1 مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز

يعرض الجدول التالي بعض مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز في الموسم الزراعي (2023/2022) وتم احتساب المؤشرات اعتماداً على بيانات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية الواردة في الجدول (5)

الجدول (6) مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز في الموسم الزراعي (2023/2022)

المؤشر	القيمة
معامل تكلفة الموارد المحلية (DRC)	0.82
معامل الحماية الفعال (EPC)	0.67
معامل الحماية الاسمية للمخرجات (NPCO)	0.67
معامل الحماية الاسمية للمدخلات (NPCI)	0.67

-0.05	معامل دعم المنتج (SRP)

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023.

وتكشف مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية الموضحة في الجدول رقم (6) عن ترابط واضح يعزز تفسير التحويل الصافي السالب:

معامل الحماية الاسمية للمخرجات ($NPCO = 0.67$) وهو أقل من الواحد الصحيح، ويؤكد أن أسعار البيع المحلية للوز تقل عن القيمة الاقتصادية الحقيقية للمنتج، وهذا ما يفسر الإيرادات الخاصة المنخفضة مقارنة بالاجتماعية (-793.3 ألف ل.س.).

معامل الحماية الاسمية للمدخلات ($NPCI = 0.67$) وهو أيضاً أقل من واحد، يدل على أن المزارع يحصل على مدخلاته (أسمدة، مبيدات) بأسعار أقل من تكلفتها العالمية، مما وفر له حماية جزئية (الفارق -96.4 ألف ل.س. في المدخلات القابلة للتجارة). لكن هذه الحماية لم تكن كافية لتعويض الفجوة الكبيرة في الإيرادات.

معامل الحماية الفعال ($EPC = 0.67$) يوضح أن التأثير الكلي للسياسات السعرية كان سلبياً على القيمة المضافة للمنتج، حيث بلغ الفرق بين الأسعار الخاصة والاجتماعية للمدخلات والمخرجات مجتمعين نحو (-125.8 ألف ل.س.) كما ظهر في صافي التحويلات.

معامل تكلفة الموارد المحلية ($DRC = 0.82$) وهو أقل من واحد، يشير إلى أن إنتاج اللوز يتمتع بميزة نسبية في عام 2023، أي أن تكلفة الموارد المحلية المستخدمة أقل من قيمتها المضافة الاقتصادية. لكن قربه من الواحد الصحيح (0.82) يعكس هشاشة هذه الميزة وسهولة فقدانها في حال أي تغير سلبي في التكاليف أو الإيرادات.

معامل دعم المنتج ($SRP = -0.05$) وهو سالب، يعبر عن وجود عبء ضريبي ضمنى طفيف على المزارع، حيث أن الخسارة في الربح الخاص مقارنة بالاجتماعي تصل إلى نحو 5% من قيمة الإيرادات الاجتماعية، وهذا يتسق مع التحويل الصافي السالب ويعني أن السياسات الزراعية الحالية لا تقدم دعماً صافياً للمنتج بل تفرض عبئاً نسبياً عليه.

تتوافق هذه النتائج مع ما توصلت إليه دراسة عطية (2008) التي حلت السياسات الزراعية لبعض السلع السورية، حيث وجدت أن ضعف الحماية الفعالة ($EPC < 1$) ووجود معامل دعم منتج سالب ($SRP < 0$) كانا سمة مشتركة للعديد من المحاصيل التي لم تحظ بدعم تسعيري مباشر، مما أدى إلى فجوة بين الربحية الخاصة والاقتصادية وتراجع الحوافز الإنتاجية.

2- دراسة وتحليل مؤشرات مصفوفة السياسات الزراعية لأشجار اللوز في الموسم الزراعي 2023/2024

2-1 المدخلات القابلة للإنتاج - محصول اللوز

الجدول (7) متوسط تكلفة المدخلات القابلة للإنتاج لمحصول اللوز (2023/2024)

البند	الأسعار الخاصة (ألف ل.س/دونم)	الأسعار الاجتماعية (ألف ل.س/دونم)	الفرق المطلق (ألف ل.س/دونم)	نسبة الفرق (%)
الأسمدة الكيماوية	154.9	232.4	77.5	50.03
مواد مكافحة	70.1	105.2	35.1	50.07
الغراس	26.3	39.5	13.2	50.19
العبوات	10.4	15.6	5.2	50
مستلزمات أخرى (وقود، زيوت)	35.0	52.5	17.5	50
الإجمالي	296.7	445.2	148.5	50.05

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2024.

يتضح من الجدول (7) أن نسبة الفرق بين الأسعار الاجتماعية والخاصة بلغت نحو (50.05%) لجميع بنود المدخلات القابلة للتجارة تقريباً، مما يعكس وجود فجوة سعرية منتظمة ومتشابهة عبر مختلف المدخلات. يشير هذا التجانس في نسب الفروق إلى أن عامل سعر الصرف يشكل المحدد الرئيسي لهذه الفجوة، حيث بلغ الفارق بين سعر الصرف الرسمي والتوازي خلال عام 2024 نحو (25-30%)، مضافاً إليه تكاليف النقل والتأمين والفاقد.

ومن خلال تحليل المدخلات القابلة للإتجار في الجدول (7) نجد:

أن الأسمدة الكيماوية تستحوذ على أكبر حصة من التكلفة، والفارق بين القيمة الاجتماعية والخاصة كبير (حوالي 50%) مما يعني أن التكلفة الفعلية للأسمدة الكيماوية أعلى بكثير من سعر السوق المحلي.

الفارق بين القيمة الاجتماعية والخاصة لمواد مكافحة كبير (حوالي 48%)، مما يشير إلى أن التكلفة الاقتصادية الفعلية لهذه المواد أعلى بكثير من السعر السوقي المحلي.

بالنسبة للغراس والعبوات والمستلزمات الأخرى فهي تظهر أيضاً فجوة مهمة بين الأسعار الخاصة والاجتماعية، ما يدل على وجود دعم جزئي أو عدم انعكاس التكلفة العالمية على السوق المحلي.

إجمالي المدخلات القابلة للإتجار أعلى في القيمة الاقتصادية بمقدار (148.5 ألف ل.س/دونم) عن السعر الخاص وهذا يوضح أن التكاليف الاقتصادية الفعلية للمدخلات المستوردة تفوق ما يدفعه المنتج فعلياً، وهو مؤشر على ضرورة إدراج هذه الفروقات عند حساب الكفاءة الاقتصادية والربحية.

يظهر هذا التحليل أن الاعتماد على الموارد المستوردة يجعل المنتج المحلي حساساً لتقلبات الأسعار العالمية وسعر الصرف التوازي، ما يعكس أهمية استخدام هذه البيانات في تقييم السياسات الزراعية والتخطيط الإنتاجي.

2-2- المدخلات غير القابلة للإتجار - اللوز

الجدول (8) متوسط تكاليف المدخلات غير القابلة للإتجار لمحصول اللوز في الموسم الزراعي 2023/2024 بالدونم الواحد.

البند	الأسعار الخاصة (ألف ل.س/دونم)	الأسعار الاجتماعية (ألف ل.س/دونم)
العمليات الزراعية (أجور)	727.0	1,090.5
العمل العائلي	185.0	277.5
إيجار الأرض	205.2	307.8
الري (تكلفة مياه)	77.4	116.1
نفقات نثرية	225.7	338.6
فائدة رأس المال	52.2	78.3
تكاليف مرتبطة بسنة الإثمار	68.7	103.1
الإجمالي	1,541.2	2,311.9

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2024

أبرز ملاحظات الجدول (8):

- الفارق بين القيمة الاجتماعية والخاصة لإيجار الأرض (102.6 ألف ل.س/دونم) يوضح أن الأرض تُسعر أقل بكثير من تكلفتها الاقتصادية، ما يعكس الدعم غير المباشر أو عدم انعكاس التكلفة الفعلية في السوق المحلي.
- الفروقات بين الأسعار الخاصة والاجتماعية للأجور تشير إلى تدني الأجور الفعلية مقارنة بالقيمة الاقتصادية للعمالة، وهو ما يمثل تكلفة خفية تتحملها المزارع دون أن تنعكس على السوق المحلي.

- إجمالي المدخلات غير القابلة للإتجار أعلى بالقيمة الاقتصادية بمقدار (770.7 ألف ل.س/دونم) عن الأسعار الخاصة، مما يؤكد وجود فجوة بين الربحية المالية والاقتصادية ويبرز الحاجة لتقييم الكفاءة الاقتصادية للموارد المحلية عند اتخاذ القرارات الإنتاجية.

2-3- مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز

الجدول (9) مصفوفة تحليل السياسات الزراعية – PAM لمحصول اللوز (2024/2023)

البيان	الإيرادات	المدخلات القابلة للإتجار	المدخلات غير القابلة للإتجار	الأرباح
الأسعار الخاصة	1,368.0	296.7	1,541.2	-469.9
الأسعار الاجتماعية	2,052.0	445.2	2,311.9	-705.1
الفروق	-684.0	-148.5	-770.7	235.2

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2024.

من خلال تحليل عناصر المصفوفة في الجدول (9) نلاحظ:

- الإيرادات الخاصة أقل من الإيرادات الاجتماعية بمقدار (684 ألف ل.س/دونم) ويعني ذلك أن السوق المحلي لم يعكس القيمة الاقتصادية الحقيقية للمنتج، والفارق يعكس تأثير السياسات السعرية وتقلبات أسعار السوق العالمية وسعر الصرف.
- الفارق السلبي (148.5- ألف ل.س) في المدخلات القابلة للإتجار يشير إلى أن أسعار هذه المدخلات أقل من تكلفتها الاجتماعية، ما يعني وجود حماية جزئية أو دعم ضمني للمدخلات المستوردة.
- الفارق السلبي الكبير (770.7- ألف ل.س) في المدخلات غير القابلة للإتجار يوضح أن الموارد المحلية تُسعر أقل من قيمتها الاقتصادية، وهو دليل على تحمل الاقتصاد الوطني جزءاً من التكلفة دون أن ينعكس ذلك على السوق المحلي.

- الربح المالي (469.9- ألف ل.س/دونم) وهو سالب (خسارة)، والربح الاجتماعي - (705.1 ألف ل.س/دونم) وهو أيضاً سالب، مما يبين أن التكلفة الاقتصادية للموارد تفوق الإيرادات، ويُظهر تحدياً في تحقيق الربحية الاقتصادية الحقيقية، والفرق الإيجابي في الأرباح (235.2 ألف ل.س) يعكس وجود حماية جزئية للمنتج، حيث أن الخسارة أقل في المستوى الخاص.

2-4- مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية - PAM لمحصول اللوز

الجدول (10) مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية لمحصول اللوز (2024/2023)

المؤشر	القيمة	التفسير
معامل تكلفة الموارد المحلية (DRC)	1.44	فقدان الميزة النسبية
معامل الحماية الفعال (EPC)	0.67	حماية فعلية ضعيفة
معامل الحماية الاسمية للمخرجات (NPCO)	0.67	انخفاض سعر المنتج
معامل الحماية الاسمية للمدخلات (NPCI)	0.67	دعم جزئي للمدخلات
معامل دعم المنتج (SRP)	0.11	دعم نسبي للمنتج

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2024.

تشير هذه المؤشرات إلى تفاوت بين الربحية المالية والاقتصادية ووجود حماية فعلية للمنتج، ويُظهر التحليل أهمية تطوير سياسات دعم أفضل، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز القدرة التنافسية للمنتج المحلي في السوق الوطنية والدولية.

حيث نلاحظ في الجدول (10):

- (DRC = 1.44) وهذا يدل على أن استغلال الموارد المحلية غير فعال، حيث أن القيمة أكبر من 1 أي تكلفة الموارد المستخدمة تفوق العائد الاقتصادي المتوقع، وهذا يعكس عدم وجود ميزة نسبية في إنتاج اللوز خلال عام 2024.
- (EPC = 0.67, NPCO = 0.67) استقرار المؤشرات يشير إلى ثبات السياسات المطبقة مقارنة بعام 2023، وتدل على أن الحماية الاقتصادية الفعلية للمنتج محدودة، وأن السياسات الزراعية لم توفر دعماً كافياً للمنتج المحلي لتعزيز الربحية الاقتصادية.
- (NPCI = 0.67) يظهر أن المدخلات القابلة للإنتاج مدعومة جزئياً، حيث تقل الأسعار المحلية عن القيمة الاقتصادية للموارد، وبالتالي يوجد حماية محدودة للمنتج من ارتفاع التكاليف العالمية، كما ويشير ذلك إلى استمرار دعم المدخلات بنفس المستوى مقارنة بعام 2023.
- (SRP = 0.11) القيمة الموجبة تشير إلى وجود دعم فعلي للمنتج، حيث أن الخسارة في المستوى الخاص أقل من الخسارة في المستوى الاجتماعي.

3- المقارنة بين الموسمين 2022/2023 و 2023/2024 لمحصول أشجار اللوز

3-1 المدخلات القابلة للإنتاج لمحصول اللوز

الجدول (11) مقارنة للمدخلات القابلة للإنتاج - محصول اللوز

البند	2023 (خاص/اجتماعي)	2024 (خاص/اجتماعي)	الفرق (خاص)	نسبة التغير (خاص)
-------	-----------------------	-----------------------	----------------	-------------------------

الأسمدة الكبماوية	143.0/95.3	232.4/154.9	+59.6	+62.54%
مواد المكافحة	64.8/43.2	105.2/70.1	+26.9	+62.27%
الغراس	34.2/22.8	39.5/26.3	+3.5	+15.35%
العبوات	9.6/6.4	15.6/10.4	+4.0	+62.50%
مستلزمات أخرى	37.5/25.0	52.5/35.0	+10.0	+40.00%
الإجمالي	289.1/192.7	445.2/296.7	+104.0	+53.97%

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023-2024.

من خلال التحليل الإحصائي والأكاديمي يمكن ملاحظة زيادة التكاليف الخاصة الإجمالية بنسبة (53.97%) والتكاليف الاجتماعية بنسبة (54%)، وهذا يُشير إلى تراجع كبير في كفاءة استخدام الموارد أو زيادة كبيرة في أسعار السوق المحلي للمواد.

بالنسبة للمدخلات الفردية، تعكس الزيادة الكبيرة في أسعار المواد الكيميائية والعبوات والمستلزمات الأخرى زيادة تكاليف الاستيراد بسبب تغير سعر الصرف، أو زيادة أسعار المدخلات الأساسية عالمياً.

3-2- المدخلات غير القابلة للتجارة لمحصول اللوز

الجدول (12) مقارنة للمدخلات غير القابلة للتجارة - محصول اللوز

البند	2023 (خاص/اجتماعي)	2024 (خاص/اجتماعي)	الفرق (خاص)	نسبة التغير % (خاص)
العمليات الزراعية	671.1/447.4	1,090.5/727.0	+279.6	+62.50
العمل العائلي	300.0/200.0	277.5/185.0	-15.0	-7.50
إيجار الأرض	357.0/238.0	307.8/205.2	-32.8	-13.78
الري	71.6/47.7	116.1/77.4	+29.7	+62.26
نفقات نثرية	210.3/140.2	338.6/225.7	+85.5	+60.98
فائدة رأس المال	49.5/33.0	78.3/52.2	+19.2	+58.18
ما يخص سنة الإثمار	53.6/35.7	103.1/68.7	+33.0	+92.44
الإجمالي	1,713/1,142.0 .1	2,311.9/1,541.2	+399.2	+34.96

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023-2024.

يظهر من البيانات أن التكاليف الخاصة الإجمالية للموارد المحلية زادت بنسبة (34.96%) ما يبين وجود هدر في استخدام الموارد.

انخفاض إيجار الأرض والأجور قد يكون نتيجة تغير في شروط الاستئجار أو تخفيض حجم العمالة الموسمية.

ارتفاع الري وأجور العمليات يوضح زيادة الاستثمار في بعض العمليات الزراعية الأساسية لضمان جودة المحصول.

النفقات الأخرى شهدت ازدياداً ملحوظاً، وهو مؤشر على إدارة أقل كفاءة للموارد الثانوية ورأس المال.

3-3- مصفوفة تحليل السياسات الزراعية (PAM) لمحصول اللوز

الجدول (13) مقارنة مصفوفة تحليل السياسات الزراعية-محصول اللوز

البيان	2023	2024	الفرق	نسبة التغير (%)
الإيرادات	1,586.5	1,368.0	-218.5	-13.77%
	2,379.8	2,052.0	-327.8	-13.77%
المدخلات القابلة للإنتاج	192.7	296.7	+104.0	+53.97%
	289.1	445.2	+156.1	+53.99%
المدخلات غير القابلة للإنتاج	1,142.0	1,541.2	+399.2	+34.96%
	1,713.1	2,311.9	+598.8	+34.96%

الأرباح	خاص	251.8	-469.9	-721.7	-286.6%
	اجتماعي	377.6	-705.1	-1,082.7	-286.7%

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023-2024.

هذه التحولات في الجدول (13) توضح تأثير السياسات الزراعية وتقلبات السوق العالمية وسعر الصرف على الربحية الفعلية للمزارع، حيث وجد أن:

- الإيرادات الخاصة والاجتماعية انخفضت بنسبة (13.77%) ، ما يشير إلى تراجع نسبي في أسعار البيع أو انخفاض حجم الإنتاج الفعلي.
- ارتفاع التكاليف الخاصة والاجتماعية للمدخلات القابلة وغير القابلة للإتجار يدل على انخفاض الكفاءة الإنتاجية.
- الربح المالي والاقتصادي منخفض بنسبة كبيرة، ما يعني أن السياسات المحلية لا توفر حماية فعلية للمنتج، وبالتالي هناك ضرورة لإعادة النظر في السياسات الزراعية لضمان استدامة الإنتاج وتحسين الربحية الاقتصادية
- انخفاض الإيرادات والأرباح بين العامين يشير إلى تراجع في أداء المنتج المحلي، نتيجة انخفاض الأسعار السوقية أو تراجع في إدارة الموارد.

3-4- مؤشرات مصفوفة تحليل السياسات الزراعية PAM

الجدول (14) مقارنة مؤشرات PAM - محصول اللوز

المؤشر	2023	2024	الفرق	الملاحظة
DRC	0.82	1.44	+0.62	تدهور حاد في كفاءة استخدام الموارد المحلية
EPC	0.67	0.67	0.00	استقرار في مستوى الحماية الفعلية
NPCO	0.67	0.67	0.00	ثبات حماية المخرجات
NPCI	0.67	0.67	0.00	ثبات حماية المدخلات
SRP	-0.05	0.11	+0.16	تحول من عبء ضريبي ضمني إلى دعم فعلي

المصدر: حسابات الباحث بالاعتماد على بيانات عينة البحث، 2023-2024.

الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات الرئيسية:

1. ارتفاع كبير في التكاليف: زادت التكاليف الإجمالية مع زيادة أكبر في المدخلات القابلة للإنتاج (53.97%) والمدخلات غير القابلة للإنتاج (34.96%).
2. تحول الربحية من موجب إلى سالب: انتقل الربح المالي من موجب (251.8 ألف ل.س./دونم) في 2023 إلى خسارة (469.9 ألف ل.س./دونم) في 2024.

3. تدهور كفاءة الموارد المحلية: ارتفع مؤشر DRC من (0.82) إلى (1.44) مما يشير إلى فقدان الميزة النسبية لإنتاج اللوز في عام 2024.
4. استقرار مؤشرات الحماية: ثبات EPC و NPCO و NPCI عند (0.67) يعكس استقرار السياسات الزراعية المطبقة على المحصول.
5. تحول في دعم المنتج: انتقل SRP من (-0.05) (عبء ضريبي ضمني طفيف) إلى (0.11) (دعم فعلي) نتيجة زيادة الدعم النسبي للمنتج في ظل الخسائر.

التوصيات:

1. مراجعة هيكل التكاليف: من خلال التركيز على خفض تكاليف المدخلات القابلة للإتجار التي ارتفعت بنسبة (54%)، من خلال تحسين كفاءة استخدام الأسمدة والمبيدات.
 2. دعم المدخلات بشكل أكثر فعالية: توجيه الدعم نحو المدخلات الأساسية لتخفيف الأعباء على المنتجين في ظل ارتفاع التكاليف وانخفاض الإنتاجية.
 3. تطوير البنية التسويقية: تحسين قنوات التسويق للحصول على أسعار أفضل للمنتج لتعويض الانخفاض في الإنتاجية.
 4. دراسة جدوى الاستثمار في الإنتاج: مع ارتفاع DRC فوق الوحدة (1.44) في 2024، يوصى بدراسة الجدوى الاقتصادية للاستمرار في إنتاج اللوز في ظل الظروف الحالية.
 5. الاستعداد للتقلبات المناخية: وضع خطط للتعامل مع العوامل المناخية التي قد تكون تسببت في انخفاض الإنتاجية الحاد.
 6. إعادة النظر في السياسات الزراعية لضمان استدامة الإنتاج وتحسين الربحية الاقتصادية
- المراجع العربية والأجنبية:

1. الأشقر راما (2024). دراسة تحليلية للميزة النسبية للذرة الصفراء وفول الصويا في محافظة حمص. دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في قسم الاقتصاد الزراعي، جامعة حمص، سوريا.

2. الإمام، عبد الحميد (2010). دراسة تحليلية للميزة النسبية لبعض المنتجات الزراعية الرئيسية في المنطقة الوسطى، رسالة ماجستير في الاقتصاد الزراعي، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.
3. الطراونة صلاح، ياسين محمود (2006). تقييم السياسات الزراعية لمحصول البندورة في سورية باستخدام مصفوفة تحليل السياسات. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (22) العدد 2 الصفحات 277-293.
4. عطية، باسمه (2008). الميزات النسبية لمجموعة مختارة من السلع السورية. المركز الوطني للسياسات الزراعية، سورية.
5. العلي، جمال (2008). دراسة اقتصادية لواقع زراعة اللوز في محافظة حمص. بحث منشور، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.
6. فلفة، صبا (2023). "اقتصاديات تربية نحل العسل وقيمتها الاقتصادية كمُلقَّح للمحاصيل الزراعية في منطقة الغاب من محافظة حماة". رسالة ماجستير، جامعة حلب.
7. مشعل، أحمد عبد اللطيف (2018). دراسة تحليلية لحساب حجم العينة الأمثل في البحوث الميدانية الزراعية. المجلة المصرية للاقتصاد الزراعي، 28(2): 485-502.
8. مضحي عبدالله، محمد نصيف (2015). قياس الميزة النسبية والقدرة التنافسية في إنتاج القمح في العراق باستعمال أسلوب مصفوفة تحليل السياسة، مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية المجلد (15) العدد (3).
9. المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية (2023). وزارة الزراعة، دمشق، سورية.
10. FAO (2023). FAOSTAT: Food and Agriculture Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en>
11. Monke, E. A., & Pearson, S. R. (1989). **The policy analysis matrix for agricultural development**. Cornell University Press.

تقييم أداء محرك ديزل باستخدام سائل تبريد هجين من جسيمات الغرافيت النانوية المشتتة في معلق السيليكا الحيوية

م. ريما بلقيس *

د. علاء صبح **

د. عدنان أحمد ***

المخلص

يهدف هذا البحث إلى تقييم أداء محرك ديزل رباعي الأسطوانات (Ford ZSD- 424) باستخدام سائل تبريد هجين يتكون من جسيمات الغرافيت النانوية المشتتة في معلق السيليكا الحيوية والمستقر بمادة (Triton X-100). تم تحضير ثلاث تراكيز حجمية من السائل الهجين (0.1%، 0.5%، 1%) بنسب متساوية من الغرافيت والسيليكا الحيوية، وأجريت التجارب عند سرعات دوران (4000، 2500، 750) دورة/دقيقة، مع إجراء (3) تكرارات لكل قياس.

النتائج التي حصلنا عليها تظهر أن السائل الهجين ساهم في تحقيق نتائج أفضل مقارنة بالماء المقطر، حيث انخفضت درجة حرارة سائل التبريد بنسبة تصل إلى (20.1%)، وانخفضت انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x) بنسبة (31.6%)، وأول أكسيد الكربون (CO) بنسبة (44%)، والهيدروكربونات (HC) بنسبة (40%)، والجسيمات الدقيقة (PM) بنسبة (46.2%)، وعتامة الدخان (Opacity) بنسبة (62%)، كما تحسنت كفاءة استهلاك الوقود بنسبة (16.1%) عند التركيز (1%) وسرعة (4000 دورة/دقيقة) .

يعتبر التركيز (0.5%) هو الأمثل للتطبيقات العملية لتحقيق توازن بين الأداء البيئي والتكلفة الاقتصادية، بينما يحقق التركيز (1%) أقصى تحسين للأداء والانبعاثات. بيئياً، يسهم هذا البحث في خفض الغازات السامة والجسيمات الدقيقة التي تسبب أمراض الجهاز التنفسي والقلب، مع تقليل البصمة الكربونية عبر تحسين كفاءة استهلاك الوقود.

الكلمات المفتاحية: سائل تبريد هجين، غرافيت نانوي، سيليكا حيوية، محرك ديزل، أداء حراري، انبعاثات، Triton X-100.

Performance Evaluation of a Diesel Engine Using a Hybrid Coolant of Graphite Nanoparticles Dispersed in Biosilica Suspension

Abstract

This study aims to evaluate the performance of a four-cylinder diesel engine (Ford ZSD-424) using a hybrid coolant consisting of graphite nanoparticles dispersed in a biosilica suspension and stabilized with (Triton X-100) surfactant. Three volumetric concentrations of the hybrid coolant (0.1%, 0.5%, 1%) with equal ratios of graphite and biosilica were prepared. Experiments were conducted at engine speeds of (750, 2500, and 4000 rpm), with three replicates for each measurement.

The results showed that the hybrid coolant contributed to achieving better results compared to distilled water. Coolant temperature decreased by up to (20.1%), while nitrogen oxides (NO_x) emissions decreased by (31.6%), carbon monoxide (CO) by (44%), unburned hydrocarbons (HC) by 40%, particulate matter (PM) by (46.2%), and smoke opacity by (62%). Fuel consumption improved by (16.1%), at (1%) concentration and (4000 rpm).

The (0.5%) concentration is recommended for practical applications as it offers an optimal balance between environmental performance and economic feasibility, while the (1%) concentration provides maximum performance and emission reduction. From an environmental perspective, this research contributes to reducing toxic gas emissions and particulate matter that cause

respiratory and cardiovascular diseases, while lowering the carbon footprint through improved fuel efficiency.

Keywords: Hybrid coolant, Graphite nanoparticles, Biosilica, Diesel engine, Thermal performance, Emissions, Triton X-100.

1- مقدمة:

في عصر التكنولوجيا الحالي، يعد محرك الديزل هو المصدر الرئيسي لدفع المركبات، لذا فإن دراسة وتحليل أداء هذه المحركات يعتبر أمراً مهماً وله مكانة بارزة للبحث، فقد شهدت محركات الديزل على مدى العقود الماضية تطوراً ملحوظاً في مجالات الكفاءة والأداء والتحكم في الانبعاثات، إلا أنها لا تزال تواجه تحديات كبيرة في إدارة الحرارة الناتجة عن عمليات الاحتراق عالية الضغط. (Iskandar,2012)

تعتبر عملية تشغيل المحرك عند درجات حرارة عالية غير مرغوب فيها، حيث أن المحرك الذي يعمل عند درجات حرارة عالية قد تنشأ فيه صعوبات مثل تبخر زيت التشحيم، والانبعاثات الضارة غير المرغوب فيها، وتغير في الكفاءة والأداء والاختلافات في الخصائص المعدنية لمكوناته وما إلى ذلك، كما يعد نقل الحرارة في محركات الديزل مشكلة خطيرة، حيث أننا نحتاج إلى درجات حرارة عالية لاحتراق الوقود ولكن بالمقابل نحتاج أيضاً إلى الحفاظ على درجة الحرارة عند مستوى يمكن التحكم فيه من أجل تشغيل المحرك بأمان، ولذلك فإنه من الضروري إجراء عملية إزالة للحرارة التي من شأنها الحفاظ على المحرك في حالة التشغيل الآمنة. (Ajay el al,2013)

يلعب نظام التبريد، لهذا السبب، دوراً حاسماً في محركات السيارات لأنها تخدم الغرض المزدوج المتمثل في التبريد والمحافظة على درجة الحرارة اللازمة، حيث يُعد سائل التبريد عنصراً أساسياً في نظام تبريد محركات الاحتراق واختياره يعد أمراً ضرورياً للغاية لأنه قد يؤثر على عمر المحرك الاستثماري ويؤدي إلى آثار سلبية عليه، ويمنع نظام التبريد الفعال ارتفاع درجة حرارة المحرك ويُمكنه من العمل بأقصى كفاءة، فوسائل التبريد المستخدمة على نطاق واسع لمحركات السيارات هي في الأساس جلايكول الإيثيلين والماء، إلا أنه مع تطور مركبات خلايا الوقود عالية الطاقة، أصبحت متطلبات تبديد الحرارة أكبر، فعلى الرغم من أن تقنيات التبريد التقليدية تعمل على تحسين قدرة التبديد للحرارة عن طريق زيادة

سرعة دوران المروحة أو أبعاد الرادياتور، إلا أن الاستهلاك العالي للطاقة ومساحة المحرك المحدودة تمنع تنفيذها، لذلك مع التقدم التكنولوجي الأخير وكذلك الدعوة إلى التخفيض في مجال التلوث كان هناك اهتماماً باكتشاف مبردات أفضل وسوائل تبريد جديدة لتحل محل السوائل التقليدية وبالتالي أصبح تطوير مبرد نانو لمحركات السيارات ضرورياً وقد توجهت الأنظار والدراسات إليه، حيث تعتبر السوائل النانوية المكونة من جسيمات نانوية وسوائل قاعدية بدائل واعدة، حيث تعمل بشكل فعال على تحسين قدرة نقل الحرارة للسائل الأساسي. (Zhang et al, 2017)، (Ravisankar et al, 2018)

فالسوائل النانوية هي سوائل غير تقليدية لنقل الحرارة تعتمد على تعليق وإضافة جزيئات معدنية أو أكاسيد معادن أو مركبات كربون من رتبة النانومتر إلى السوائل التقليدية كالماء المقطر والاثيلين غليكول وغيرها. (Duangthongsuk & Wongwises, 2009)

أظهرت الدراسات السابقة نتائج إيجابية لا يمكن تجاهلها، فقد أظهرت دراسة حديثة عن السوائل النانوية (Hajiakbari et al, 2024) تحسناً كبيراً في انتقال الحرارة بنسبة تراوحت بين (75-128%) عند استخدام سوائل تبريد نانوية في محرك ديزل، كما أعطت دراسة أخرى جواباً واضحاً (Shah et al, 2020)، حيث تم إضافة (0.12%) فقط من السيليكا النانوية إلى ماء التبريد مما حسن انتقال الحرارة بنسبة (36.92%). كما أكدت دراسة حديثة أخرى (Mukherjee et al, 2022) أن إضافة جسيمات السيليكا النانوية إلى سائل تبريد المحرك حسنت الموصلية الحرارية بنسبة (21.08%) عند تركيز (1%)، مما يعزز كفاءة نظام التبريد بشكل ملحوظ.

هذا التحسن له تفسير بسيط يعود لثلاثة أسباب رئيسية وهي الحركة العشوائية للجسيمات، والطبقة السائلة الملتصقة بسطح كل جسيم، والتصادم بين الجسيمات نفسها (Said et al, 2022). وعند دراسة نظرية الموائع في محرك حقيقي، كما سجلت دراسة أخرى (Erika et al, 2022) لتقييم تأثير سائل تبريد نانوي يحتوي جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) بنسبة (0.5%). أن المبرد النانوي المُحضر عزز انتقال الحرارة، كما لاحظوا أنه أدى إلى انخفاض في نسب انبعاث أكاسيد النيتروجين (NO_x) والجسيمات الدقيقة (PM) والهيدروكربونات (HC)، إضافة إلى انبعاثات أول أكسيد الكربون (CO). كما قُدمت مراجعة شاملة لمختلف تطبيقات السوائل النانوية في محركات الاحتراق الداخلي (Bhattad et al, 2023)، مؤكدة على الإمكانيات المستقبلية لهذه التقنية في تحسين الأداء الحراري، وفي دراسة أخرى (Karagoz et al, 2022) تم دراسة تأثير إضافة (Al_2O_3) النانوية إلى

مبرد محرك الاحتراق الداخلي على أداء انتقال الحرارة، حيث أظهرت النتائج التي حصلنا عليها أن إضافة الجسيمات النانوية إلى ماء التبريد كان له دوراً كبيراً في تحسين أداء نقل الحرارة، وفي دراسة أخرى قام (Hassaan,2024) بدراسة لاختبار السوائل النانوية الهجينة كسائل عامل بديل للسوائل التقليدية. تم اختبار السائل النانوي (MWCNT-Al₂O₃/الماء) بتركيز حجمية مختلفة باستخدام نسبة خلط (50:50)، فأظهرت النتائج أن معامل انتقال الحرارة بالحمل الحراري ازداد بنسبة (28.5%) مقارنةً بالماء المقطر، كما لوحظت زيادة في انخفاض الضغط تصل إلى (24%) مقارنةً بالسائل العادي. لهذا السبب، تأتي أهمية دراستنا التجريبية لتقييم الأداء الحقيقي لمحرك ديزل عند استخدام سائل التبريد المحسن بجسيمات (السيليكا/الغرافيت) النانوية تحت ظروف تشغيل مختلفة.

2- أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث من خلال الدور الذي ستلعبه الجسيمات النانوية (سيليكا-غرافيت) التي سيتم إضافتها في دارة التبريد وتأثيراتها الحرارية وانعكاس ذلك على زيادة فعالية التبريد والتبادل الحراري لتحسين أداء المحرك في ظل الظروف القاسية التي يتعرض لها أثناء فترة الاستثمار، وتقليل استهلاك الوقود، والمساهمة في خفض الانبعاثات الملوثة والالتزام بالمعايير البيئية، توفير حلول عملية لتحسين أداء أنظمة التبريد في التطبيقات الصناعية وتقليل عمليات الإصلاح. كما يقوم البحث على تقييم تأثير التراكيز المختلفة (0.1%، 0.5%، 1%) من الجسيمات النانوية على الأداء الحراري وانبعاثات المحرك، مما يوفر قاعدة بيانات تجريبية موثوقة يمكن الاعتماد عليها في الدراسات المستقبلية والنماذج العددية للمحركات المشابهة.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير إضافة جسيمات (السيليكا/الغرافيت) النانوية بتركيز مختلفة (0.1%، 0.5%، 1%) بنسبة خلط (50:50) إلى ماء التبريد التقليدي المقطر في دارة تبريد محرك ديزل (Ford ZSD-424) على الأداء الحراري والانبعاثات الغازية وتأثيرها البيئي، وذلك من خلال دراسة تجريبية تعتمد على قياس المؤشرات الرئيسية (درجة الحرارة، استهلاك الوقود، CO، CO₂، NO_x، HC، PM، Opacity) عند ثلاث سرعات تشغيل مختلفة (750، 2500، 4000 rpm) ومعرفة التركيز الأمثل تجريبياً والذي يحقق أفضل توازن بين تحسين التبريد وخفض الانبعاثات، فعلى الرغم من

التطورات التقنية في أنظمة التبريد، لاتزال هناك ثغرات بحثية كبيرة في فهم وتوقع سلوك سوائل التبريد المعززة بالجسيمات النانوية.

3- مواد وطرائق البحث (Materials and Methods) :

1.3- مكان إجراء التجارب:

أُجريت التجارب العملية في مختبر الكيمياء في كلية الهندسة التقنية حيث توفرت مستلزمات تحضير السوائل النانوية، وفي قسم محركات الاحتراق الداخلي في ثانوية منير ديب الصناعية في مدينة طرطوس والتي تتوفر فيها المعدات اللازمة لاختبار محركات الديزل، وأجهزة قياس الانبعاثات. تم تنفيذ جميع القياسات تحت إشراف فنيين متخصصين وبظروف بيئية مضبوطة لضمان دقة النتائج.

2.3- المواد والأجهزة المستخدمة:

تم تجهيز المواد التالية لإجراء التجارب:

1. ماء مقطر: استخدم كسائل تبريد أساسي (Baseline) ولتحضير جميع تراكيز السوائل النانوية.
2. مادة خافضة للتوتر السطحي (Surfactant): تم إضافة مادة (Triton X-100) بنسبة (0.35%) لتحسين استقرار الجسيمات النانوية ومنع تراكمها، وهي مادة خافضة للتوتر السطحي غير أيونية $(C_{14}H_{22}O(C_2H_4O)_n)$ تتكون من سلسلة بولي إيثيلن أكسيد محبة للماء (رأس)، ومجموعة هيدروكربونية عطرية محبة للدهون (ذيل كاره للماء)، يتوفر في صورة سائلة، متوسط وزنه الجزيئي 625 وكثافته 1.079 g/cm^3)



الشكل (1): المادة الخافضة للتوتر المستخدمة

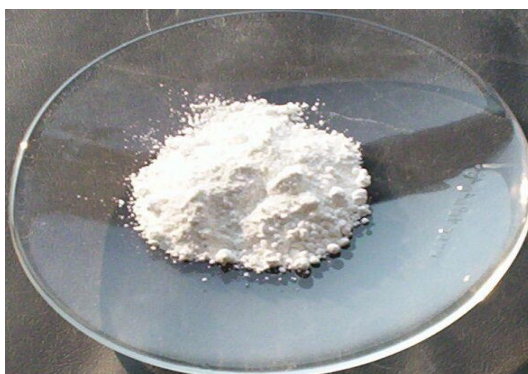
3. وقود الديزل : تم استخدام وقود ديزل قياسي (متوفر تجارياً) لتغذية المحرك خلال جميع التجارب.

4. مسحوق الغرافيت النانوي: من انتاج شركة (AMERICAN ELEMENTS)، ذو كثافة (1.8g/cm)، ومتوسط قطر الحبيبات $50nm >$.



الشكل (2): مواصفات الغرافيت النانوي المستخدم

5. مسحوق السيليكا النانوية : تم تحضير مسحوق السيليكا النانوية محلياً من رماد كيزان الذرة الصفراء بطريقة السول -جيل. (بلقيس وآخرون، 2025)



الشكل (3): السيليكا النانوية

6. **خلاط مغناطيسي:** مزود بسخان يعمل بسرعات متغيرة يمكن التحكم بها (100-1500 rpm) وتسخين حتى (300°C) ، من نوع (Heidolph MR Hei-Standard)، الشركة المصنعة- المنشأ: (Heidolph-GERMANY)
7. **خلاط منزلي:** متعدد السرعات، سعة (1.5L).
8. **خلاط ميكانيكي علوي :** نوع (Yellow Line)، متعدد السرعات (50-2000 1/min)، الشركة المصنعة- المنشأ: (IKA-Werke -GERMANY).
9. **محرك ديزل:** تم استخدام محرك ديزل مخبري رباعي الأسطوانات من نوع (Ford ZSD-424)، استطاعته (24kw) وسعة دائرة التبريد (6 لتر).



الشكل (4): محرك الديزل المستخدم

10. **جهاز تحليل غازات العادم (Exhaust Gas Analyzer)** الموضح في الشكل (5)، وهو من طراز (KEG-500) ، كوري المنشأ.



الشكل (5): جهاز تحليل غازات العادم

11. جهاز قياس الضبابية والدخان: الموضح في الشكل (6)، وهو من طراز (OP-201) من انتاج شركة (KOENG).



الشكل (6): جهاز قياس الضبابية والدخان

12. جهاز قياس سرعة دوران المحرك الموضح في الشكل (7)، وهو من طراز (KS-RPM)، كوري المنشأ، تم استخدامه من أجل تحديد وضبط سرعة الدوران عند اجراء الاختبارات.



الشكل (7): جهاز قياس سرعة دوران المحرك المستخدم.

13. خزان الوقود: لقياس استهلاك المحرك من الوقود وهو موضح في الشكل (8).

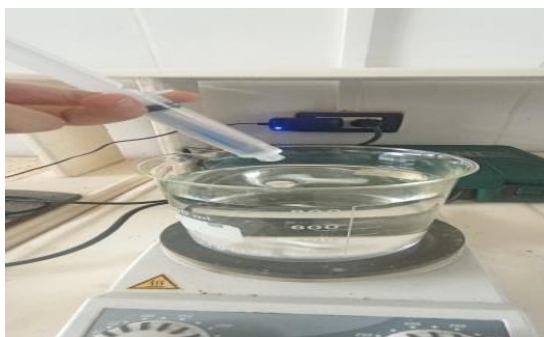


الشكل (8): خزان الوقود

3.3. تجهيز سائل التبريد النانوي (Nanofluid Preparation):

تم استخدام جسيمات السيليكا النانوية والغرافيت النانوي في تحضير ثلاث عينات مختلفة من السائل النانوي بتركيزات حجمية (0.1%، 0.5%، 1%) من المادة النانوية بنسبة خلط (50:50)، بالإضافة إلى عينة مرجعية من الماء المقطر الخالص للمقارنة. تم تحضير السائل النانوي بطريقة الخطوتين وفق المراحل التالية:

- 1- تم تحضير محلول مركز (1L) من الماء والمادة النانوية وفق الخطوات:
- تم تحضير الماء المقطر، وأضيف له (triton x-100) بنسبة (0.35%) كمادة فعالة سطحياً (مشتتة) وتحريكه باستخدام محرك مغناطيسي لمدة (10min).



الشكل (9): اضافة المادة المشتتة

- تم إضافة مسحوق السيليكا النانوية تدريجياً مع التحريك لتشكيل معلق، بعدها تم اضافة مسحوق الغرافيت بشكل تدريجي وُخلط المزيج مدة (60min) لتحقيق التجانس للخليط وفك التكتلات وبالتالي انتاج سائل متجانس ومستقر.
- تم استخدام خلط تدريجي متعدد المراحل من أجل تحسين التجانس وفك التكتلات، حيث تم في البداية استخدام الخلاط المغناطيسي لعدة دقائق للتحريك الأولي وترطيب الجسيمات وتوزيعها بشكل مبدئي في الماء، ثم تم استخدام الخلاط المنزلي لتحقيق خلط مستمر وتعزيز الاستقرار الأولي للمعلق، وأخيراً تم التحريك باستخدام خلاط علوي ميكانيكي للحصول على توزيع متجانس وفعال للجسيمات ومنع حدوث تكتلات ضمن السائل. يوضح الشكل (10) طريقة الخلط المتبعة وعينات السائل المحضرة.



الشكل (10): طرق الخلط المتبعة في تحضير السوائل النانوية والعينات المركزة

2- التخفيف النهائي للمحلول المركز المحضر سابقاً:

تم إضافة المحلول المركز ببطء الى الماء المقطر مع التحريك الجيد لمدة (30min) للحصول على سائل التبريد المتجانس المطلوب، ثم حُفظ السائل في عبوات مغلقة بعيداً عن الضوء المباشر.

- اختبار الاستقرار والترسيب:

بعد تحضير السوائل النانوية وفق البروتوكول السابق، تُركت العينات مغلقة بدون أي تحريك.

جرى تقييم استقرار السوائل المحضرة ووجود تشنيت من خلال المراقبة البصرية الدورية على فترات منتظمة، تمت المراقبة لمدة (48h) قبل تنفيذ الاختبارات على المحرك، ولم يلاحظ خلالها أي تغيرات تتعلق باللون والعكارة وظهور أي ترسبات أو تكتلات أو انفصل في الطور، واستُخدمت هذه الملاحظات كمؤشرات نوعية لتحديد مدى استقرار السائل وكفاءة التشنيت. يظهر الشكل (13) استقرار العينات بعد (48h).



الشكل (11): استقرار عينات السائل المحضرة

3-4. الإجراءات التجريبية (Experimental Procedure):

تم تنفيذ التجارب وفق الخطوة التالية:

• قبل البدء بالاختبارات تم افراغ دارة التبريد بالكامل وغسلها عدة مرات بالماء، ثم تمت اعادة تفرغها وتعبئتها بالماء المقطر وتشغيل المحرك حتى يصل لدرجة حرارة تشغيل مستقرة، وتم بعدها تسجيل جميع قراءات المؤشرات المدروسة من الأداء الحراري والانبعاثات للمحرك واستهلاك الوقود عند استخدام الماء المقطر كمرجع، وبعد الانتهاء تم تفرغ الدارة ومن ثم تعبئة سائل التبريد النانوي وتكرار نفس إجراءات القياس والتسجيل. وتم تكرار عملية التفرغ والغسيل عند كل تغيير بنوع سائل التبريد المستخدم .

• تمت جميع الاختبارات عند ثلاث سرعات دوران للمحرك المختبر (750-2500-4000 rpm) باستخدام ثلاث أنواع من سوائل التبريد النانوية بتركيز (0.1-0.5-1%) للمادة النانوية بنسبة خلط (50:50) ومقارنة النتائج بالنتائج عند استخدام سائل التبريد التقليدي فقط(الماء) .

3-5. قياسات الأداء والانبعاثات (Measurements) :

تم قياس المؤشرات باستخدام أجهزة قياس دقيقة حيث تم التأكد من صلاحية جميع الأجهزة من قبل فنيين قبل بدء التجارب.

1- درجات الحرارة : تم قياس درجة حرارة سائل التبريد للدارة بواسطة مجسات حرارية .



الشكل (12): مجس الحرارة

- 2- انبعاثات غازات العادم : تم قياس تراكيز انبعاث غازات (NO_x , CO , CO_2 , HC) باستخدام جهاز تحليل غازات العادم (Exhaust Gas Analyzer) الموضح سابقاً، مزود بحساس يركب في مخرج انبوب العادم.
- 3- الجسيمات الدقيقة (PM) وعتامة الدخان (Opacity) : تم قياس كمية الضبابية والدخان المنبعثة من المحرك بواسطة جهاز قياس الضبابية والدخان الموضح سابقاً، موصول بمخرج انبوب العادم لقياس النسب المختلفة للضبابية والدخان.
- 4- قياس استهلاك المحرك من الوقود: بواسطة استخدام وعاء بلاستيكي مدرج، تم تدريجه باستخدام مسطرة، الشكل (8)، وتم أخذ قراءة استهلاك المحرك للوقود أثناء عمله، وذلك عند سرعات دوران مختلفة حيث تم تزويد المحرك بكمية من الوقود، ومن ثم حساب الزمن اللازم لاستهلاك حجم معين عند ظروف التجربة، وتم حساب معدل استهلاك الوقود (ml/min) عن طريق قسمة حجم الوقود المستهلك على الزمن المستغرق.

3-6. المنهجية الإحصائية :

- تم فيها تحليل البيانات المقاسة باستخدام الأساليب الإحصائية والتحليلية باستخدام البرامج التالية:
- Microsoft Excel 365 و MATLAB R2021a .
- 1- المتوسط الحسابي: تم حساب متوسط القراءات لثلاث تكرارات لكل قياس لتقليل الخطأ التجريبي (Montgomery, 2017):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

حيث: n : عدد التكرارات، x_i : قيمة القياس رقم i .

2- الانحراف المعياري: تم حسابه لتقييم تشتت البيانات حول المتوسط ودقة القياسات .
(Montgomery, 2017):

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

3- معامل الاختلاف (CV%): تم حسابه لتقييم دقة القياسات النسبية، حيث تعتبر القيم أقل من 5% ممتازة وأقل من 10% مقبولة (Montgomery, 2017):

$$CV\% = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (3)$$

4- فترة الثقة (Walpole et al, 2012): تم حساب فترة الثقة عند مستوى 95% لتحديد مدى موثوقية النتائج.

$$CI = \bar{x} \pm t_{(n-1, \alpha/2)} \times \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

حيث: CI: فترة الثقة، t : قيمة توزيع، α : مستوى الدلالة (0.05)

5- نسبة التحسين (Heywood, 2018): تم حساب نسبة التحسن لكل مؤشر مقارنة بالقيمة المرجعية (الماء المقطر)

$$Imp\% = \frac{X_{ref} - X_{Test}}{X_{ref}} \times 100 \quad (5)$$

حيث: Imp % : نسبة التحسين، X_{ref} : القيمة المرجعية، X_{test} : القيمة المختبرة.

إذ تم إجراء تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-way ANOVA) لمقارنة الفروق بين التراكيز المختلفة عند مستوى دلالة إحصائية $p < 0.05$.

6- معامل التحديد (R^2) تم حسابه لتقييم مدى تطابق النتائج مع النتائج المتوقعة (Montgomery,2017):

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tol}} \quad (6)$$

7- اختبار t-test (student,1908): لمقارنة التراكيز مع الماء.

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{SD_1^2}{n_1} + \frac{SD_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

حيث: t قيمة اختبار، $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$ متوسط المجموعتين، (SD_1, SD_2) الانحراف المعياري للمجموعتين، (n_1, n_2) عدد القياسات (3) لكل مجموعة.

8- تحليل عدم اليقين (JCGM,2008): (لقياس استهلاك الوقود) لحساب هامش الخطأ أو مقدار عدم اليقين في النتائج النهائية من القياسات.

$$\frac{U_{FC}}{F_C} = \sqrt{\left(\frac{U_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{U_t}{t}\right)^2} \quad (8)$$

U_{FC} عدم يقين استهلاك الوقود، F_C معدل استهلاك الوقود، U_V عدم يقين الحجم (0.5 ml) ، V حجم الوقود المستهلك (50 ml) ، U_t عدم يقين الزمن (0.2 s) ، t الزمن المستغرق.

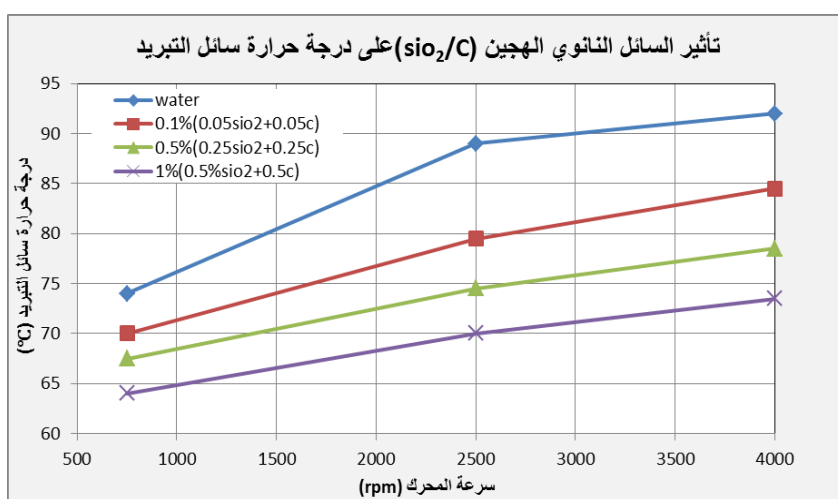
9- الخطأ المعياري (Standard Error -SE):

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \quad (9) \quad (\text{Altman,1991})$$

4- النتائج والمناقشة:

1. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين (الغرافيت/السيليكا الحيوية) على درجة حرارة سائل التبريد لمحرك الديزل:

يوضح الشكل (13)، تأثير درجة حرارة سائل التبريد لمحرك الديزل المختبر بتغير سرعة المحرك (4500 -750 rpm) باستخدام ثلاثة تراكيز لسائل التبريد النانوي الهجين المكون من السيليكا والغرافيت (SiO_2/C)، بالمقارنة مع الماء المقطر (المرجع).



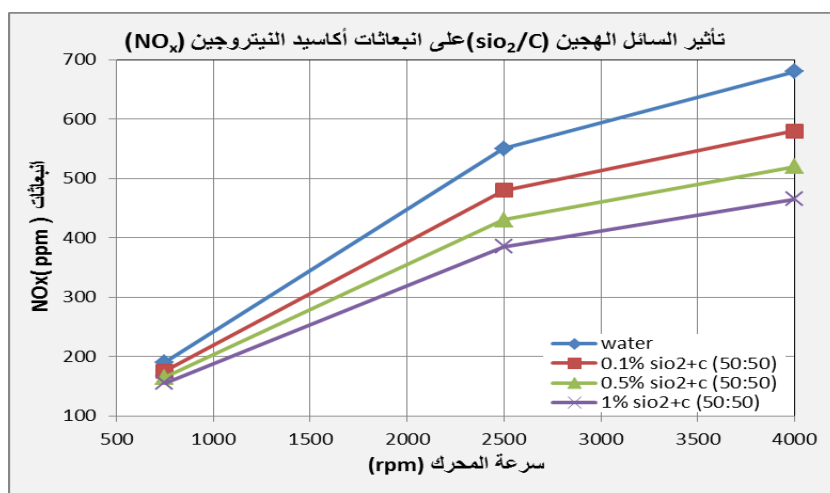
الشكل (13): تأثير السائل النانوي الهجين (SiO_2/C) على درجة حرارة سائل التبريد

حيث بالنظر إلى الشكل (13) نرى وجود علاقة طردية واضحة حيث تزداد درجة حرارة سائل التبريد مع زيادة سرعة المحرك (4500-750 rpm) لجميع العينات، بسبب زيادة الحمل الحراري حيث تتطلب السرعات العالية معدل تدفق أكبر للوقود وزيادة في عدد دورات الاحتراق مما ينتج عنه توليد كميات ضخمة من الحرارة تنتقل من جدران الاسطوانات إلى سائل التبريد، كما تبين تفوق السائل النانوي الهجين في خفض درجة حرارة سائل التبريد (ارتفعت قدرة السائل على نقل الحرارة) مقارنة مع الماء النقي بسبب وجود جسيمات السيليكا النانوية (المعروفة باستقرارها) وجسيمات الغرافيت (المعروف بموصلية الحرارية العالية) مما خلق توازن ممتاز في أداء التبريد، حيث انخفضت درجة حرارة سائل التبريد مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية ووصلت إلى أدنى درجة تبريد عند تركيز (1%) وبلغت نسبة الانخفاض (20.1%)

عند تركيز (1%) وسرعة دوران (4000 rpm)، والتركيز (0.5%) حقق تحسناً بنسبة (14.6%)، وهو الخيار الأمثل الذي يحقق التوازن بين الأداء والتكلفة واللزوجة، يعزى هذا الانخفاض في درجة الحرارة مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية إلى زيادة قدرة السائل على التوصيل الحراري بسبب الحركة العشوائية للجسيمات والطبقة السائلة الملتصقة بسطح كل جسيم، بالإضافة إلى التصادم بين الجسيمات وهذا يقلل من الجهد الحراري على المحرك ويزيد من كفاءته وعمره الاستثنائي، ونتائجنا تتماشى مع ما ورد في الأدبيات السابقة.

2. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين (الغرافيت/السيليكا الحيوية) على انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x):

يوضح الشكل (14)، زيادة انبعاث أكاسيد النيتروجين مع زيادة السرعة بسبب زيادة عدد دورات الاحتراق مما يؤدي لتراكم الحرارة ورفع درجة حرارة الاحتراق مما يحفز تكوّن غازات (NO_x)، كما يُظهر المخطط انخفاضاً ملحوظاً في انبعاثات NO_x مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية مقارنة بالماء حيث حقق انخفاضاً بنسبة (31.6%) عند تركيز (1%) وسرعة (4000 rpm)، ويعود السبب إلى أن تحسين التبريد (بفضل الموصلية الحرارية العالية للغرافيت) يخفف درجة حرارة الاحتراق، مما يقلل من تكوين NO_x وفق آلية زيلدوفيتش. والانخفاض الأكبر عند السرعات العالية (4000 rpm) بسبب ارتفاع حرارة الاحتراق أساساً حيث أن أكاسيد النيتروجين حساسة جداً للحرارة والانخفاض في الحرارة الذي سببه السائل الهجين انعكس بشكل كبير على تقليل الانبعاثات لأكاسيد النيتروجين .



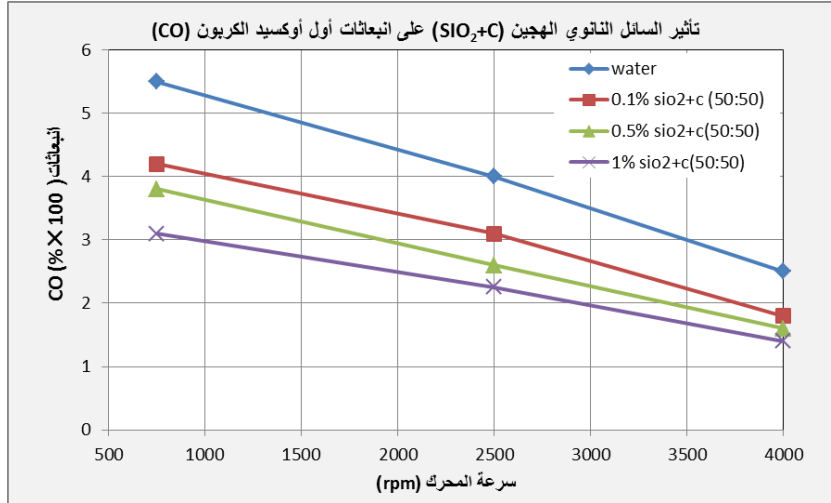
الشكل (14): تأثير السائل الهجين (SiO₂/C) على انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x)

بيئياً، انخفاض NO_x يعني تقلص الظواهر السامة مثل الضباب الدخاني والأمطار الحمضية، وتحسناً في جودة الهواء.

وهذه النتائج تتماشى مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة فقد توصلت دراسة (senthilraja, 2017) أيضاً إلى أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين قد انخفضت مع زيادة التركيز للجسيمات النانوية المستخدمة بسبب زيادة معامل انتقال الحرارة، وفقاً لآلية زيلدوفيتش الممتدة (Zeldovich, 1964)، فإن خفض درجة حرارة الاحتراق يقلل بشكل مباشر من معدل تكوين NO_x أكدت دراسة (Thames, 2012) أن هذه الآلية تتنبأ بانبعاثات NO_x بدقة تصل إلى (13%)، بينما أشارت دراسة (Ngayih Abbe, 2016) إلى أن آلية زيلدوفيتش هي النموذج الأكثر شيوعاً لحساب انبعاثات أكاسيد النيتروجين في محركات الديزل.

3. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين (الغرافيت/السيليكا الحيوية) على غازات (CO):

الشكل (15)، يظهر العلاقة بين سرعة دوران المحرك والنسبة المئوية لانبعاث غازات أول أكسيد الكربون (CO) عند استخدام سائل التبريد النانوي الهجين (الغرافيت/السيليكا الحيوية) ومقارنته بالسائل التقليدي (الماء).



الشكل (15): تأثير السائل النانوي الهجين (SiO₂+C) على انبعاثات أول أكسيد الكربون (CO)

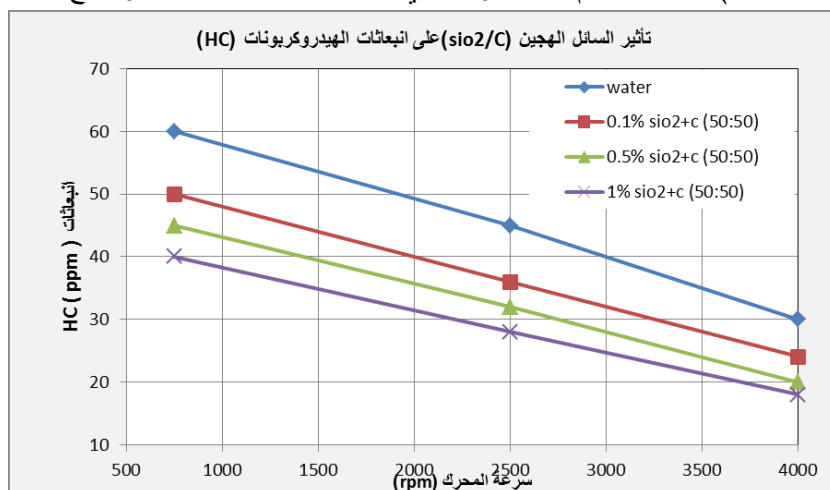
بالنظر إلى المخطط نرى انخفاضاً في انبعاثات CO مع زيادة السرعة بسبب تحسن جودة الاحتراق (احتراق كامل) بفضل ما تسبب به السائل الهجين من توزيع حراري متجانس قلل من ظاهرة اخماد اللهب وسمح باحتراق كامل قرب الجدران، كما أظهر السائل الهجين كفاءته في خفض الانبعاثات مع زيادة تركيز الجسيمات الهجين، خاصة عند التركيز (1%)، ويعود ذلك أن الغرافيت النانوي يتمتع بموصلية حرارية عالية مما يحسن قدرة سائل التبريد على امتصاص الحرارة، مما يؤدي إلى استقرار درجة حرارة الاحتراق والاحتراق المستقر يعني احتراقاً أكثر اكتمالاً للوقود (تحويل الكربون إلى CO₂ بدلاً من CO السام). وانخفاض قيم انبعاث CO دليل قوي على تحسن كفاءة الاحتراق وبيئياً، هذا يعني هواء أنظف وتقليل الغاز السام القاتل.

التركيز (0.5%) يحقق تحسناً ممتازاً (36%) عند السرعة (4000 rpm) مع تكلفة أقل، بينما التركيز (1%) حقق نسبة (44%) وهو مناسب للتطبيقات البيئية الصارمة.

وهذا يتماشى مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة حيث أظهرت دراسة (Lu, 2021) أن استخدام سائل التبريد النانوي المحسن بالغرافيت أدى إلى انخفاض انبعاثات CO بنسبة تتراوح بين (50-54)، ويعزى هذا التحسن إلى احتراق أكثر اكتمالاً نتيجة استقرار درجة حرارة التشغيل، كما أكدت دراسة أخرى (Yang, 2018) أن تحسين انتقال الحرارة يؤدي إلى احتراق كامل للوقود.

4. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين على انبعاثات الهيدروكربونات (HC) :

نلاحظ من الشكل (16)، العلاقة بين انبعاثات الهيدروكربونات (HC) عند سرعات مختلفة للدوران (-750 2500-4000 rpm)، عند استخدام سائل تبريد نانوي هجين بنسب مختلفة والمقارنة مع الماء المقطر.



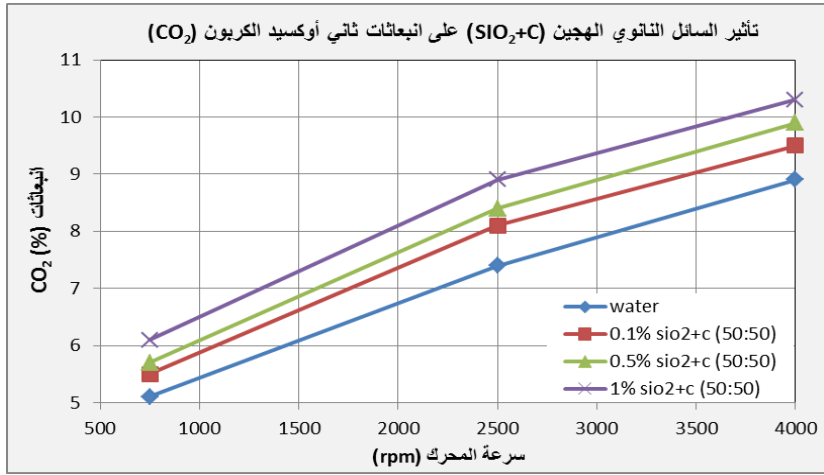
الشكل (16): تأثير السائل الهجين (SiO₂/C) على انبعاثات الهيدروكربونات (HC)

يظهر المخطط انخفاضاً واضحاً في انبعاثات HC مع زيادة تركيز الجسيمات الهجين، ويكون التحسن أكبر عند السرعات العالية حيث انخفض بنسبة (40%) عند تركيز (1%) وسرعة (4000 rpm)، ويعود ذلك إلى تحسين التبريد مما يؤدي إلى استقرار درجة حرارة الاحتراق واستقرار الحرارة يمنع حدوث مناطق باردة في غرفة الاحتراق حيث يتكثف الوقود وبالتالي احتراق أكثر اكتمالاً للوقود يساوي كمية أقل من الوقود غير المحترق (HC) وعند السرعات العالية، يكون تأثير التبريد أكثر وضوحاً بسبب الحمل الحراري الأكبر.

سجلت دراسة (Lu, 2021) انخفاضاً في انبعاثات (HC) بنسبة تصل إلى (15.64%) عند استخدام سائل تبريد نانوي محسن، ويعود هذا الانخفاض إلى استقرار درجة حرارة الاحتراق الذي يمنع حدوث مناطق باردة في غرفة الاحتراق حيث يتكثف الوقود.

5. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

يبين الشكل (17) العلاقة بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) عند سرعات مختلفة للدوران (-750- 2500-4000 rpm)، عند استخدام سائل تبريد نانوي هجين بنسب مختلفة والمقارنة مع الماء المقطر.

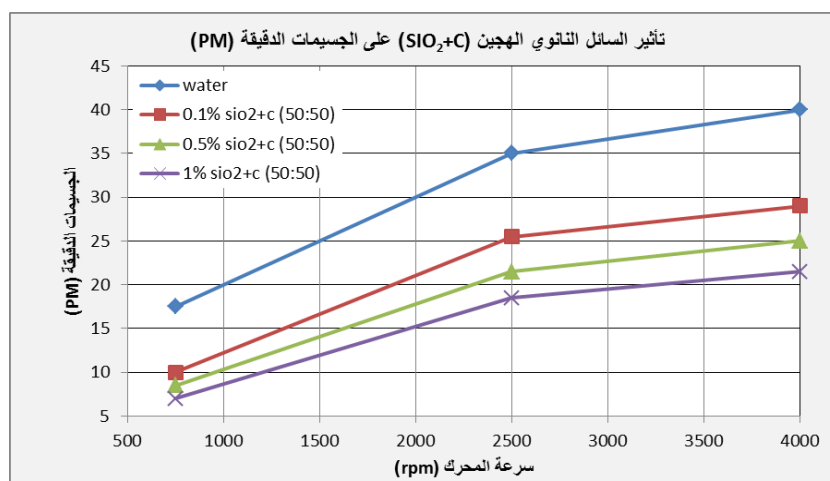


شكل (17): تأثير السائل الهجين (SiO_2/C) على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

تبين بالنظر إلى المخطط زيادة ملحوظة في انبعاث (CO_2) بسبب الاحتراق الكامل نتيجة تحسين كفاءة التبريد واستقرار درجة حرارة الاحتراق وزادت بزيادة تركيز الجسيمات النانوية نتيجة تحسين انتقال الحرارة واستقرار الظروف الحرارية داخل المحرك مما يعزز اكتمال الاحتراق ويزيد من أكسدة الكربون إلى CO_2 حيث بلغت قيمة التحسن (15.7%) عند سرعة (4000 rpm) وتركيز (1%).

6. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين على الجسيمات الدقيقة (PM):

يوضح الشكل (18) العلاقة بين الجسيمات الدقيقة (PM) عند سرعات مختلفة للدوران (-750-2500-4000 rpm)، عند استخدام سائل تبريد نانوي هجين بنسب مختلفة والمقارنة مع الماء المقطر.



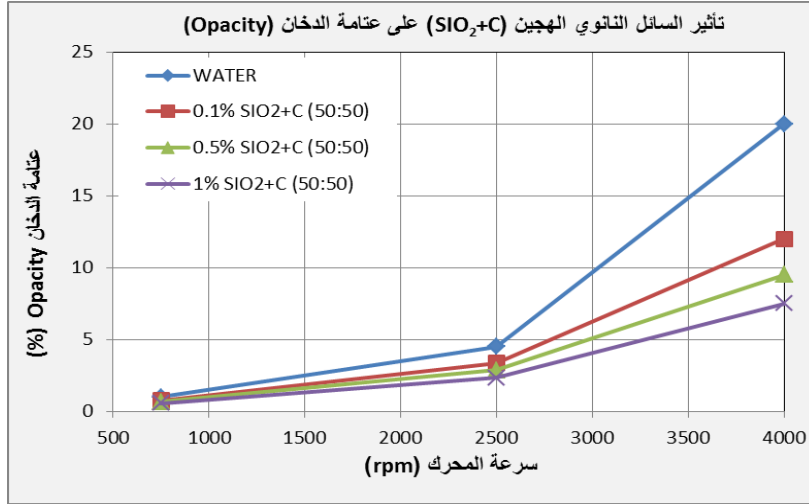
الشكل (18): تأثير السائل الهجين (SiO₂/C) على الجسيمات الدقيقة (PM)

يبين المخطط أن الجسيمات الدقيقة انخفضت بنسبة (46.2%) عند سرعة (4000 rpm) وتركيز (1%)، وأفضل انخفاض كان عند (750 rpm) بقيمة (60%)، هذا الانخفاض يعود إلى أن تحسين التبريد أدى إلى استقرار درجة حرارة الاحتراق ودرجة الحرارة المستقرة تقلل من تكون السخام (Soot) والجسيمات الكربونية، كما أن احتراق أكثر اكتمالاً للوقود يقلل من الجسيمات غير المحترقة (Jung et al, 2001).

الانخفاض الكبير في PM عند سرعة الخمول (750 rpm) مهم جداً، لأن هذه السرعة تمثل أوقات الانتظار الطويلة في المدن (إشارات مرور، ازدحامات).

7. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين على عتامة الدخان (Smoke Opacity) :

نرى من الشكل (19)، العلاقة بين عتامة الدخان (Smoke Opacity) عند سرعات مختلفة للدوران (750-2500-4000 rpm)، عند استخدام سائل تبريد نانوي هجين بنسب مختلفة والمقارنة مع الماء المقطر.



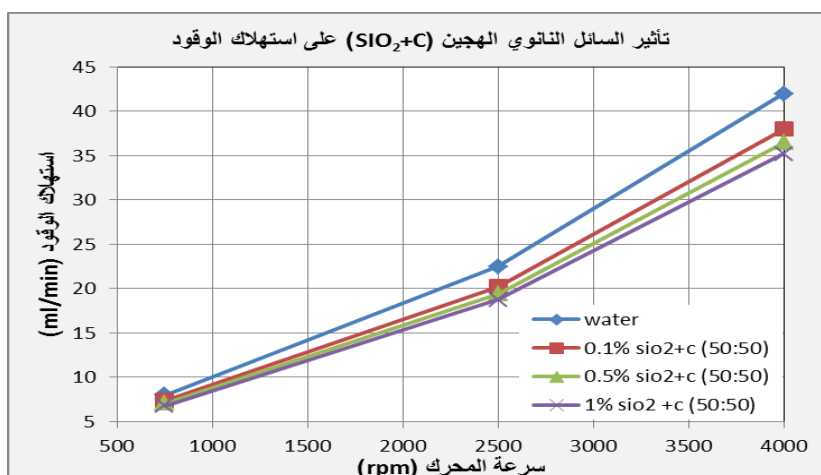
الشكل (19): تأثير السائل الهجين (SiO₂/C) على عتامة الدخان

يظهر المخطط أنه عند السرعات العالية (4000 rpm)، يزداد الحمل الحراري، لذا في حالتنا كان التأثير أكثر وضوحاً (تحسن يصل إلى 62% عند تركيز (1%) أما عند السرعات المنخفضة (750 rpm)، يكون الحمل الحراري أقل والتأثير أقل وضوحاً (45%)، كما يظهر انخفاضاً واضحاً في عتامة الدخان مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية ويكون الانخفاض أكبر عند السرعات العالية. يعود التحسن إلى تحسين التبريد واستقرار الاحتراق (احتراق كامل) مما يسبب تقليل تكوين السخام والجسيمات الصلبة. ويكمن دور الهجين بسبب السيليكا الحيوية التي تعزز استقرار المعلق وتمنع تراكم الجسيمات، كما تحسن توزيع الجسيمات النانوية في السائل والغرافيت الذي يتمتع بموصلية حرارية عالية .

ظهرت دراسة (Lu, 2021) انخفاضاً كبيراً في انبعاثات PM بنسبة تصل إلى (45.96%) عند استخدام سائل التبريد النانوي المحسن بالغرافيت، ويعزى هذا التحسن إلى استقرار درجة حرارة الاحتراق الذي يقلل من تكون السخام والجسيمات الكربونية، وفقاً لنموذج (Moss-Brookes) لتكوين السخام.

8. تأثير سائل التبريد النانوي الهجين على استهلاك الوقود:

يظهر الشكل (20)، العلاقة بين استهلاك الوقود عند سرعات مختلفة للدوران (750-2500-4000 rpm)، عند استخدام سائل تبريد نانوي هجين بنسب مختلفة والمقارنة مع الماء المقطر.



الشكل (20): تأثير السائل الهجين (SiO_2/C) على استهلاك الوقود.

يظهر الشكل انخفاضاً واضحاً في استهلاك الوقود عند استخدام سائل التبريد النانوي مقارنة بالسائل التقليدي، وينخفض استهلاك الوقود مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية، وتظهر بوضوح أكثر عند زيادة السرعة حيث يزداد الطلب على الوقود، ويزداد الحمل الحراري ويصبح المحرك بحاجة للتبريد وهنا يظهر التحسن بشكل أوضح، يعود ذلك الى تحسين كفاءة التبريد والاحتراق الكامل، فعندما يعمل المحرك بدرجة حرارة مستقرة ومثالية، يحدث احتراق أكثر اكتمالاً للوقود مما يقلل من كمية الوقود اللازمة لتوليد نفس القدرة، أما عند السرعات المنخفضة (750 rpm) تتقارب جميع المنحنيات تدريجياً، ويكون الحمل الحراري صغيراً واستهلاك الوقود منخفض بطبيعته، لذا يظهر التحسين بشكل أقل وضوحاً.

يوصى باستخدام التركيز (0.5%) في التطبيقات العملية حيث يحقق تحسناً حوالي (13%) في استهلاك الوقود مع تكلفة أقل، بينما يوصى باستخدام التركيز (1%) في الحالات التي تتطلب أقصى توفير في الوقود حيث حقق تحسن بنسبة (16.1%) مقارنة بالسائل التقليدي.

9. الدراسة الاحصائية لتأثير السائل النانوي الهجين على درجة حرارة سائل التبريد وتحديد دقة القياسات:

الشكل (21)، يقدم تحليلاً إحصائياً لتأثير السائل النانوي الهجين على درجة حرارة سائل التبريد، ويتكون من أربعة أقسام رئيسية تظهر مخطط أعمدة مع أشرطة الخطأ، مخطط اتجاهي مع أشرطة الخطأ، نسبة التحسن عند (4000 rpm) وخريطة الدلالة الإحصائية ($p < 0.05$).



الشكل (21): لتحليل الإحصائي لتأثير السائل النانوي الهجين على درجة حرارة سائل التبريد: (a) مخطط أعمدة مع أشرطة الخطأ، (b) مخطط اتجاهي مع أشرطة الخطأ، (c) نسبة التحسين عند 4000 دورة/دقيقة، (d) خريطة الدلالة الإحصائية.

المخطط: (a) - Bar Plot with Error Bars يظهر العلاقة بين سرعة دوران المحرك ودرجة حرارة سائل التبريد لجميع التراكيز، مع أشرطة خطأ تمثل الانحراف المعياري (SD)، يبين المخطط أن درجة حرارة سائل التبريد تزداد مع زيادة سرعة الدوران، وتنخفض مع زيادة تركيز الجسيمات النانوية.

المخطط: (b) - Trend Plot with Error Bars يؤكد نفس العلاقة ولكن بشكل منحنيات اتجاهية، مما يوضح الاتجاه العام للبيانات بشكل أوضح. تظهر المنحنيات تباعداً متزايداً بين الماء والتراكيز النانوية مع زيادة سرعة الدوران.

المخطط: Percentage Improvement at 4000 rpm - (c) يوضح نسبة التحسن في درجة حرارة سائل التبريد عند أعلى سرعة دوران (4000 rpm) مقارنة بالماء المقطر. سجل التركيز 1% أعلى تحسن (20.1%)، يليه 0.5% بنسبة (14.6%)، ثم 0.1 % بنسبة (8.1%).

المخطط: Statistical Significance Map - (d) يبين خريطة الدلالة الإحصائية التي تبين الفروق ذات المغزى الإحصائي بين التراكيز المختلفة. تشير العلامات * إلى وجود فرق ذي دلالة إحصائية ($p < 0.05$)، بينما تشير ns إلى عدم وجود فرق معنوي، و ref تمثل القيمة المرجعية (الماء المقطر). وتظهر خريطة الدلالة الإحصائية أن الفروق كانت ذات دلالة إحصائية ($p < 0.05$) لجميع التراكيز مقارنة بالماء المقطر.

ويعود ذلك إلى:

1. زيادة درجة الحرارة مع سرعة الدوران، بسبب زيادة عدد دورات الاحتراق لكل وحدة زمن، مما يولد كميات أكبر من الحرارة تنتقل إلى سائل التبريد.
2. انخفاض درجة الحرارة مع زيادة التركيز ويعود ذلك إلى تحسين الموصلية الحرارية للسائل النانوي بفضل:

○ الحركة العشوائية للجسيمات النانوية (Brownian motion)

○ الطبقة السائلة الملتصقة بسطح كل جسيم

○ التصادم بين الجسيمات مما يعزز نقل الحرارة

3. التحسن الأكبر عند التركيز (1%) بسبب احتواء السائل على أكبر كمية من جسيمات الغرافيت (عالية التوصيل الحراري) والسيليكا الحيوية (تعزز الاستقرار)
4. الدلالة الإحصائية: تشير العلامات * في المخطط (d) إلى أن الفروق بين التراكيز النانوية والماء المقطر كانت ذات دلالة إحصائية ($p < 0.05$)، مما يؤكد موثوقية النتائج.

5- الاستنتاجات :

1. أدت إضافة جسيمات الغرافيت النانوية والسيليكا الحيوية إلى سائل التبريد إلى انخفاض درجة حرارة التشغيل بنسبة تصل إلى (20.1%) عند التركيز (1%) وسرعة (4000rpm).
2. سجلت انبعاثات (NO_x) انخفاضاً ملحوظاً بنسبة تصل إلى (31.6%) عند التركيز (1%) وسرعة (4000 rpm)، بفضل خفض درجة حرارة الاحتراق وفق آلية زيلدوفيتش.
3. تحققت أفضل نتيجة بانخفاض (CO) بنسبة (44%) عند التركيز (1%)، مما يدل على احتراق أكثر اكتمالاً للوقود وتحويل الكربون إلى (CO_2).
4. انخفضت (HC) بنسبة تصل إلى (40%) عند التركيز (1.0%) والسرعات العالية، نتيجة استقرار درجة حرارة الاحتراق ومنع المناطق الباردة.
5. سجلت عتامة الدخان (Opacity) والجسيمات الدقيقة (PM) انخفاضاً ملحوظاً بنسبة تصل إلى (62%)، (46.2%) على التوالي عند التركيز (1%) وسرعة (4000 rpm)، مما يعكس احتراقاً أنظف وتقليلاً للجسيمات الصلبة.
6. تحسنت كفاءة استهلاك الوقود بنسبة تتراوح بين (15-16.5%) حسب التركيز وسرعة المحرك، مع أفضل تحسين (16.5%) عند التركيز (1%) وسرعة (2500 rpm).
7. يعتبر التركيز (0.5%) هو الأنسب للتطبيقات العملية لتحقيق توازن جيد بين تحسين الأداء والتكلفة الاقتصادية، بينما يحقق التركيز (1%) أقصى تحسين للأداء والانبعاثات.
8. أظهر التحليل الإحصائي دقة عالية ($\text{CV}\% < 5\%$) لجميع القياسات، مما يؤكد موثوقية النتائج.
9. الأثر البيئي: تسهم التقنية في خفض الملوثات الخطيرة (NO_x ، PM، CO) مع تحسين جودة الهواء وتقليل البصمة الكربونية.

6 - التوصيات :

1. يوصى باستخدام تركيز (0.5%) من الجسيمات الهجينة (الغرافيت/السيليكا الحيوية) في تطبيقات التبريد العملية لمحركات الديزل، حيث يحقق توازناً مثالياً بين تحسين الأداء والتكلفة الاقتصادية.

2. يوصى باستخدام التركيز (1%) عند الحاجة إلى أقصى تحسين في الأداء والانبعاثات، خاصة في التطبيقات التي تتطلب معايير بيئية صارمة (كالمناطق الحضرية المزدحمة).
3. يوصى بدراسة استقرار السائل النانوي الهجين على المدى الطويل (long-term stability) وتأثير ترسب الجسيمات على أداء دارة التبريد ومضخة الماء.
4. يوصى بدراسة تأثير نسب خلط مختلفة من الغرافيت والسيليكا الحيوية (غير النسبة المدروسة) للوصول إلى التركيب الأمثل.
5. يوصى بتطبيق هذه التقنية على محركات ديزل ذات استطاعات أكبر (الشاحنات، الباصات، المعدات الثقيلة) لتقييم فعاليتها في التطبيقات الصناعية.
6. دراسة الجدوى الاقتصادية: يوصى بإجراء دراسة جدوى اقتصادية شاملة لتقييم التكلفة مقابل العائد عند تطبيق هذه التقنية على نطاق واسع.
7. يوصى بدمج هذه التقنية مع أنظمة المعالجة اللاحقة للعاثم (DPF، SCR) لتحقيق خفض أكبر في الانبعاثات.

المراجع:

المراجع العربية:

- 14- بلقيس، ر.، أحمد، ع.، و صبح، ع. (2025). استخلاص جسيمات السيليكا النانوية من المخلفات الزراعية لقوالح الذرة الصفراء. مجلة جامعة طرطوس، المجلد (9)، العدد (13).

المراجع الاجنبية:

- 1- Iskandar ,Marco Antonio.;Filho,Alberto Adade .(2012). Design and analysis of a cooling control system of a diesel engine, to reduce

- emissions and fuel consumption. *ABCM Symposium Series in Mechatronics* – Vol. 5.
- 2– Ajay ,K. Singh., A. Rehman Issn. (2013)"The Influence Of Engine Speed On Exhaust Emission Of Four Stroke Spark Ignition Multi Cylinder".Engine Volume–2, Issue–4.
 - 3– Zhang,Xing.;Lu,Yaohui;Xiang,Penglin; Dong,Dawei.((2017)). "Analysis Of Thermal Temperature Fields And Thermal Stress Under Steady Temperature Field Of Diesel Engine Piston" *Applied Thermal Engineering* 113 , 796–812
 - 4– Ravisankar,R.;Venkatachalapathy,V.S.K.;Alagumurthi,N.(2018)."APPLI CATION OF NANOTECHNOLOGY TO IMPROVE THE PERFORMANCE OF TRACTOR RADIATOR USING CU–WATER NANOFLUID". *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 4, No. 4, Special Issue 8, pp. 2188–2200.
 - 5– Duangthongsuk, Weerapun,. Wongwises,Somchai." Measurement of temperature–dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂–water nanofluids". *Experimental Thermal and Fluid Science* 33 (2009) 706–714.
 - 6– Hajiakbari, M., Mahdavi Nejad, A., & Houshfar, E. (2024). Enhancing diesel engine cooling efficiency: A comprehensive numerical study on nanofluid coolants with exergy and economic analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 56, 104217.
 - 7– Shah, T. R., Ali, H. M., & Janjua, M. M. (2020). On Aqua–Based Silica (SiO₂–Water) Nanocoolant: Convective Thermal Potential and Experimental Precision Evaluation in Aluminum Tube Radiator. *Nanomaterials*, 10(9), 1736.

- 8- Mukherjee, S., Panda, S. R., Mishra, P. C., Noor, M. M., & Chaudhuri, P. (2022). Enhancement of thermal performance of engine coolant using silica nanoparticles. *Sādhanā*, 47, 215.
- 9- Said, Zafar., Sundar ,L. Syam ,. Kumar Tiwari, Arun., Muhammad Ali ,Hafiz., Sheikholeslami, Mohsen., Bellos ,Evangelos ., Babar, Hamza .(2022). Recent advances on the fundamental physical phenomena behind stability, dynamic motion, thermophysical properties, heat transport, applications, and challenges of nanofluids. *Physics Reports Volume 946*, Pages 1–94.
- 10- Erika E. Guerrero , Ángel A. Portilla , Patricia I. Pontón.(2022). The effect of TiO₂/ethylene glycol-based nanocoolant on the pollutant emissions from a diesel passenger van at Quito ambient conditions. *Volume 49, Part 1*, Pages 129–134.
- 11- Bhattad, A., Atgur, V., Rao, B. N., Banapurmath, N. R., Khan, T. M. Y., Vadlamudi, C., & Krishnappa, S. (2023). Review on mono and hybrid nanofluids: preparation, properties, investigation, and applications in IC Engines and heat transfer. *Energies*, 16(7), 3189.
- 12- Karagözü, Yasin., Kötten ,Hasan., Tunçer ,Erdal. , Pusat, Şaban. (2022) . " Effect of AL₂O₃ addition to an internal combustion engine coolant on heat transfer performance " *Case Studies in Thermal Engineering* 31 . 101847.
- 13- Amr M. Hassaan . (2024).An experimental investigation examining the usage of a hybrid nanofluid in an automobile radiator. *Scientific Reports* | 14:27597

- 14- senthilraja, S., Vijayakumar, K. C. K., & Gangadevi, R. (2017). Effects of specific fuel consumption and exhaust emissions of four stroke diesel engine with CuO/water nanofluid as coolant. *Archive of Mechanical Engineering*, 64(1), 111-122.
- 15- Zeldovich, Y. B. (1946). The oxidation of nitrogen in combustion and explosions. *Acta Physicochimica URSS*, 21(4), 577-628.
- 16- Thames, M. (2012). *Experimentation and modeling of NOx formation in a small turbo-charged diesel engine*. Master's Thesis, Auburn University, Alabama, USA.
- 17- Ngayihi Abbe, C. V. (2016). *Contribution à la modélisation OD de la combustion Diesel: Application au Biodiesel*. Doctoral Thesis, Université de Yaoundé I, Cameroon.
- 18- Lu, Y. F. (2021). *Research on graphene nano coolant applied in thermal platform and engine performance*. Master's Thesis, National Taiwan Normal University, Taiwan.
- 19- Yang, X. (2018). *Heat transfer performance of graphene nanoparticle coolant in automotive radiators*. Master's Thesis, Guangxi University, China.
- 20- Jung, D., & Assanis, D. N. (2001). Multi-zone DI diesel spray combustion model for cycle simulation. *SAE Transactions*, 110(4), 1232-1245.
- 21- Montgomery, D. C. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- 22- Taylor, J.R. (1997). *An introduction to error analysis*, 2nd ed., university science books.
- 23- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* (9th ed.). Prentice Hall.

-
- 24- Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- 25- Student (1908). *Biometrika*, 6(1), 1-25.
- 26- JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data –GUM. Joint committee for guides in metrology.
- 27- Altman, D.G. (1991). *Practical statistics for medical research*, Chapman & Hall.

تقييم أثر القروض الزراعية على تحسين المستوى المعيشي للمزارعين في محافظة حمص

م. لارا عباس * د. محمد المقداد

الملخص

هدف هذا البحث إلى تقييم أثر القروض الزراعية التي يقدمها المصرف الزراعي التعاوني على تحسين المستوى المعيشي لمزارعي محافظة حمص. اعتمد على البيانات الأولية التي جمعت باستخدام استمارة استبيان، وتم تطبيق أسلوب المعاينة غير العشوائية (كرة الثلج) بسبب سرية بيانات المصرف الزراعي وعدم توفر إطار عشوائي للمعاينة، على عينة قصدية بلغ حجمها 24 مزارعاً مستفيداً من القروض وهو أحد حدود الدراسة، فالنتائج تفسر في إطارها المحدد ولا تعمم إحصائياً على كامل المحافظة، في الدراسات الاستطلاعية والظروف الميدانية الصعبة (كالحرب والأزمة في سورية) يعتبر هذا الحجم مقبولاً لتقديم مؤشرات أولية وليس لاستنتاجات قطعية. واستخدمت أدوات التحليل الوصفي بما يتوافق مع نوع البيانات. أظهرت النتائج أن 53.3% من القروض كانت قصيرة الأجل، وأن تأثيرها على الهيكل الإنتاجي كان محدوداً، حيث لم تتغير ملكية الحيازات الزراعية (بقيت نسبة المالكين نحو 85%)، مع تحسن طفيف في استخدام العمل الآلي ونسبة الاعتماد على الطاقة الشمسية (ارتفع عدد المستخدمين لها من 3 إلى 11 مبحوثاً). كما ساعدت القروض في إعادة ترتيب أولويات الإنفاق الأسري، خاصة في مجالي الطاقة والنقل، لكنها أخفقت في معالجة المشاكل الهيكلية كاستقرار النقل الزراعي. وبناءً على مقترحات المزارعين، أوصى البحث بضرورة التوجه نحو القروض طويلة الأجل، وتخفيض الفوائد والإجراءات البيروقراطية، ورفع سقف التمويل، وإشراك المزارعين في رسم سياسات الإقراض المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: المصرف الزراعي التعاوني - القروض الزراعية - مستوى المعيشة - محافظة حمص.

Evaluating the Impact of Agricultural Loans on Improving the Living Standard of Farmers in Homs Governorate

Abstract

This study aims to evaluate the impact of agricultural loans provided by the Cooperative Agricultural Bank on improving the living standards of farmers in Homs Governorate. It relied on primary data collected through a questionnaire, and a non-random (snowball) sampling method was used due to the confidentiality of the bank's data and the lack of a random sampling frame. The sample consisted of 24 farmers who had benefited from the loans, which is one of the study's limitations — the results are interpreted within this specific context and cannot be statistically generalized to the entire governorate. In exploratory studies and under difficult field conditions (such as the war and crisis in Syria), this sample size is considered acceptable for providing preliminary indicators rather than definitive conclusions. Descriptive analysis tools were used in accordance with the data type. The results showed that 53.3% of the loans were short-term, and their impact on the production structure was limited, as the ownership of agricultural holdings remained unchanged (the proportion of landowners remained at approximately 85%), with a slight improvement in the use of mechanized equipment and reliance on solar energy (the number of users increased from 3 to 11 respondents). The loans also helped reorganize household spending priorities, particularly in the areas of energy and transportation, but they failed to address structural problems such as the stability of agricultural transport. Based on the farmers' suggestions, the study recommended shifting towards

long-term loans, reducing interest rates and bureaucratic procedures, raising financing ceilings, and involving farmers in shaping future lending policies.

Keywords: Agricultural Cooperative Bank _ Agricultural Loans _ Standard of living – Homs Governorate.

المقدمة

يمثل القطاع الزراعي ركيزة أساسية للاقتصاد السوري، ومصدراً رئيسياً لتوفير الغذاء والدخل للفئات الريفية (أسد، 2020). غير أن المزارعين في محافظة حمص، شأنهم شأن الكثير من المناطق الريفية السورية، يعانون من ضعف السيولة المالية المزمن. وهذا الضعف يُعيق قدرتهم على شراء مستلزمات الإنتاج، وتطوير أصولهم الزراعية الثابتة (العليوي والعطوان، 1996) (صالح وسعد، 2014). وقد تفاقمَت هذه المعاناة في السنوات الأخيرة نتيجة الأزمة السورية وما رافقها من تضخم وانحيار في قيمة العملة.

لتجاوز هذه العقبة يلجأ غالبية المزارعين إلى المصرف الزراعي التعاوني. ويُعد هذا المصرف المؤسسة المالية الرسمية الوحيدة المختصة بتمويل الأنشطة الزراعية في سوريا (القاضي، 2002). وقد تطور دوره بمرور الوقت ليُقدم خدمات مصرفية متنوعة إلى جانب القروض الزراعية (مكي، 2023). وتشير الإحصائيات إلى تزايد الاعتماد على هذا المصرف، حيث ارتفعت نسبة القروض الزراعية المقدمة من قبله من حوالي 11.48% من إجمالي الائتمان المصرفي في عام 2009 إلى نحو 18.31% في عام 2021 (المكتب المركزي للإحصاء، 2022). ورغم هذه الزيادة الكمية، يظل السؤال جوهرياً حول ما إذا كانت هذه الزيادة قد انعكست فعلياً على تحسين مستوى المعيشة والإنتاج للمزارعين، أم أنها اقتصرَت على تغطية احتياجات تشغيلية مؤقتة.

وتبرز هذه الإشكالية بقوة في محافظة حمص التي تعرض قطاعها الزراعي لصدمات متتالية نتيجة الأزمة، مما يجعل تقييم الأثر الفعلي لهذه القروض ضرورة ملحة. واستعراضاً للدراسات السابقة، نجد أن معظمها ركز على قياس أثر القروض على الإنتاجية أو النمو الاقتصادي في سياقات مستقرة نسبياً (بديان وآخرون، 2013)، (Anand, 1999)، (Jackline, 2013)، (Hom, 2019) كما أشارت هذه الدراسات إلى وجود علاقة إيجابية، لكنها ليست قوية دائماً، وأن هناك عوامل وسيطة أخرى تؤثر في النتائج. غير أن الملاحظ بوضوح هو غياب دراسات ميدانية تقيس الأثر الكمي للقروض على مستوى المعيشة في ظل الظروف الاستثنائية التي تمر بها سوريا، وتتبع التغير في أولويات الإنفاق الأسري كنتيجة مباشرة للإقراض. وهذه هي الفجوة البحثية التي يسعى هذا العمل إلى سدها.

مشكلة البحث

انعكس ضعف الإمكانيات المادية للمزارع السوري وما تلا الأزمة من تضخم وارتفاع جنوني في تكاليف مستلزمات الإنتاج بشكل مباشر على حجم الاستثمار في القطاع الزراعي بمحافظة حمص، وقد تجلّى هذا الضعف في محدودية قدرة المزارعين على تملك الأصول الثابتة (كالأراضي والآلات)، وفي عجزهم المتزايد في تأمين متطلبات التشغيل الموسمية (كالأسمدة والمحروقات) بأسعار السوق الحرة. لتجاوز هذه العوائق يلجأ المزارعون إلى المصرف الزراعي التعاوني للحصول على التمويل، لكن الملاحظ أن غالبية هذه القروض تركز على الفترة القصيرة (أقل من سنة)، مما يثير تساؤلات جدية حول قدرتها على إحداث نقلة نوعية في الواقع الإنتاجي والمعيشي للأسر الريفية. بناءً على ذلك يمكن صياغة مشكلة البحث في التساؤل الرئيس: إلى أي حد تمكن المزارع في محافظة حمص من تلبية احتياجاته التمويلية التشغيلية (شراء المدخلات)، وتحسين أصوله الإنتاجية الثابتة، وإعادة ترتيب أولويات إنفاقه الأسري من خلال القروض الزراعية المقدمة من المصرف الزراعي التعاوني؟

أهداف البحث

1. تحليل عدد من الجوانب الاقتصادية للمستفيدين من القروض الزراعية، للوقوف على أهم التأثيرات والتطورات التي طرأت على قدراتهم الاستثمارية (مثل الحيازة، الأصول، مصادر الطاقة).

2. تحديد الصعوبات التي واجهها المزارعون خلال مرحلة سحب القروض وتسديدها، وكذلك التحديات التي تواجه أسرهم في توفير دخل كافٍ.
3. إيصال مقترحات المزارعين إلى الجهات المعنية، للسعي نحو تطوير سياسة الإقراض الزراعي السائدة بما يتناسب مع احتياجاتهم الفعلية.

أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في كونه محاولة لتقييم السياسة الإقراضية الحالية للمصرف الزراعي التعاوني في سياق أزمة معقدة، من خلال تقديم أدلة كمية ميدانية حول قدرة هذه السياسة على تحفيز الاستثمار الزراعي، ودعم التحول نحو الطاقة المتجددة، وتحسين الوضع المعيشي للأسر الريفية في حمص. كما يسهم في سد الفجوة المعرفية المتعلقة بفعالية الإقراض الزراعي، ويقدم توصيات عملية تنبثق من آراء المزارعين أنفسهم.

الإطار النظري والدراسات السابقة

أولاً: مفهوم التمويل الزراعي وعلاقته بالمستوى المعيشي

يُعرف التمويل الزراعي بأنه العملية التي يتم من خلالها توفير رأس المال اللازم للنشاط الزراعي، نقداً أو عيناً، لتغطية تكاليف الإنتاج أو شراء الأصول الثابتة (محمد صالح، 2014). ولا يقتصر دوره على الجانب الإنتاجي، بل يتعداه إلى كونه أداة تنمية تسهم في خفض التكاليف، وزيادة الدخل، وتحسين مستوى المعيشة للأسرة الريفية (العليوي والعطوان، 1996).

ويؤكد (Anand, 1999) أن توقيت توفر الائتمان الزراعي لا يقل أهمية عن قيمته، خاصة في الدول النامية التي يعاني مزارعوها من تقطع الدخل بسبب موسمية الإنتاج. وهذا ينطبق تماماً على مزارعي محافظة حمص، الذين يجدون أنفسهم في حاجة ماسة إلى سيولة نقدية في فترات محددة من العام (الحراثة، الزراعة، الحصاد).

غير أن الأدبيات النظرية تشير إلى أن تأثير القرض على مستوى المعيشة ليس مباشراً، بل يمر عبر سلسلة من الحلقات الوسيطة. يعتمد البحث الحالي على نموذج تحليلي يوضح مسار التأثير كما يلي:

القرض الزراعي ← شراء المدخلات بكفاءة أعلى ← تحسين العمليات الإنتاجية ← زيادة الإنتاجية
← ارتفاع الدخل ← إعادة ترتيب أولويات الإنفاق الأسري ← تحسن الاستقرار المعيشي (تقليل
الاستدانة، تحسن التغذية والصحة)

ويستند هذا النموذج إلى نظريتين أساسيتين: (أ) نظرية الدخل الدائم (Friedman, 1957) ، التي تشير إلى أن التحسن المعيشي المستدام يتطلب زيادة في متوسط الدخل طويل الأجل وليس المؤقت، و(ب) مدخل القدرات (Sen, 1999)، الذي يرى أن مستوى المعيشة يُقاس بقدرة الأسرة على تلبية احتياجاتها الأساسية (غذاء، صحة، تعليم، طاقة). وانطلاقاً من هذين المدخلين، صُممت استمارة الاستبيان لتقيس التغير في الدخل والقدرة على تلبية الاحتياجات الأساسية بعد الحصول على القرض.

ثانياً: خصوصية المصرف الزراعي التعاوني في سوريا

يُعد المصرف الزراعي التعاوني مؤسسة مالية تنموية، أنشئت خصيصاً لدعم القطاع الزراعي في سوريا (سلمان، 2009). ويخضع لسياسات حكومية تؤثر في سقف الإقراض، ونسب الفوائد، وشروط الضمانات. وتكتسب دراسة هذا المصرف في محافظة حمص أهمية خاصة، نظراً لأن المحافظة تُعد من أكبر المناطق الزراعية في سوريا، وقد تعرضت بنيتها التحتية الزراعية لدمار كبير خلال الحرب.

ثالثاً: أنواع القروض الزراعية

تُصنف القروض الزراعية حسب مدتها، ولكل نوع أثر مختلف في الاستثمار والمعيشة (القصاص، 2010) (المصرف الزراعي التعاوني، 2013). يوضح الجدول التالي هذه الأنواع وأثرها المتوقع:

جدول (1): تصنيف القروض الزراعية حسب المدة أثرها المتوقع على الاستثمار والمعيشة.

نوع القرض	المدة	الغرض	الأثر المتوقع على المعيشة والاستثمار
قصير الأجل	حتى سنة	شراء البذار، الأسمدة، المبيدات، الوقود.	تحسن مؤقت في الموسم الحالي، ولا يؤدي إلى تراكم أصول ثابتة.
متوسط الأجل	1-5 سنوات	شراء الآلات الزراعية، وسائل النقل، تطوير الري.	تحسن في كفاءة العمل وخفض التكاليف على المدى المتوسط، وتحسن طفيف في الدخل.
طويل الأجل	أكثر من 5 سنوات	شراء الأراضي، استصلاحها، أنظمة الطاقة المتجددة، البنى التحتية.	أثر جذري ومستدام، حيث يزيد الأصول المنتجة ويضمن استقرار الدخل طويلاً.

وقد حدد نظام العمليات الصادر عن المصرف عام 2013 نسب الفوائد، والتي تظل الإطار الرسمي حتى اليوم رغم تغيرات السوق، مما يفسر مطالبات المزارعين بتخفيضها.

رابعاً: مراجعة الدراسات السابقة

يمكن تصنيف الدراسات السابقة إلى محورين رئيسيين:

- المحور الأول: أثر التمويل على الإنتاجية والنمو الاقتصادي
توصلت دراسة (بديان وآخرون، 2013) في الجزائر إلى أن تسهيل منح القروض الزراعية أدى إلى نمو ملحوظ في إيرادات القطاع الزراعي. وفي سياق مشابه، وجد (Hom, 2019) في ميانمار علاقة إيجابية بين الإقراض الزراعي والإنتاجية، لكنه أشار إلى أن هذه العلاقة ليست قوية، مما يعني وجود عوامل وسيطة أخرى. وهذه النتيجة تتماشى مع ما سنراه لاحقاً في عينة حمص، حيث كان التأثير الإيجابي للإقراض موجوداً لكنه محدود.
- المحور الثاني: أثر التمويل على الوضع المالي

ركزت دراسة (Jackline, 2013) في كينيا على أن فترة سداد القرض ونسبة الفائدة تؤثران بشكل كبير على العائدات المالية الصافية. كما أكدت أن توافر القرض في وقت الزراعة المناسب يسمح بشراء مدخلات أفضل. غير أن هذه الدراسات رغم أهميتها نُفذت في بيئات مستقرة نسبياً، ولا تُقِيم فعالية الإقراض في ظل أزمات مركبة كالحرب والتضخم وانقطاع الكهرباء، وهو واقع مزارع حمص اليوم.

خامساً: الفجوة البحثية

تتضح الفجوة المعرفية التي يسدها هذا البحث في:

1. ندرة الدراسات التي تقيس الأثر الكمي للقروض على مستوى المعيشة في سياق الأزمات.
 2. غياب الدراسات التي تتعقب التغير في أولويات الإنفاق الأسري كنتيجة مباشرة للإقراض.
- عدم توفر بحوث ميدانية تستمع لمقترحات المزارعين حول تطوير الإقراض في محافظة محددة مثل حمص.

منهج البحث

1- الإطار المكاني والزمني للبحث

تم تطبيق الدراسة في محافظة حمص مع ريفها، خلال الفترة الزمنية المحددة (2022-2024)، وهي الفترة التي شهدت توزيعاً نشطاً للقروض الزراعية وفق سياسات المصرف، وتم اختيارها لتقييم الأثر في ظل الظروف الاقتصادية الراهنة.

2- مجتمع البحث

يضم المزارعين المستفيدين من القروض النقدية والعينية بأنواعها المختلفة (قصيرة، متوسطة، طويلة الأجل) من المصرف الزراعي التعاوني في حمص.

3- أسلوب المعاينة

نظراً لسرية بيانات المصرف وعدم إمكانية الوصول إلى إطار المعاينة العشوائي، تم استخدام أسلوب المعاينة غير العشوائية (عينة كرة الثلج)، بالاعتماد على المعارف الشخصية. وقد تم الوصول إلى (24) مبحوثاً وهو أحد حدود الدراسة. يُقر البحث بأن هذا الأسلوب قد يؤدي إلى تحيز في العينة، لكن في الدراسات الاستطلاعية (Pilot studies) والظروف الميدانية الصعبة (كالحرب والأزمة في سورية) يعتبر هذا الحجم مقبولاً لتقديم مؤشرات أولية وليس لاستنتاجات قطعية، لذلك تُفسر النتائج في إطارها المحدد ولا تُعمم إحصائياً على كامل المحافظة.

4- استمارة الاستبيان

صُممت الاستمارة بأسلوب علمي، وتضمنت محاور رئيسية (الخصائص الاجتماعية، الحياة، الأصول، الطاقة، العمل، الدخل، الإنفاق، التحديات، المقترحات). اعتمدت على أسئلة مغلقة وأخرى مفتوحة، وتم التحقق من الصدق الظاهري للأداة عبر عرضها على خبراء، كما تم مراعاة التسلسل المنطقي للأسئلة.

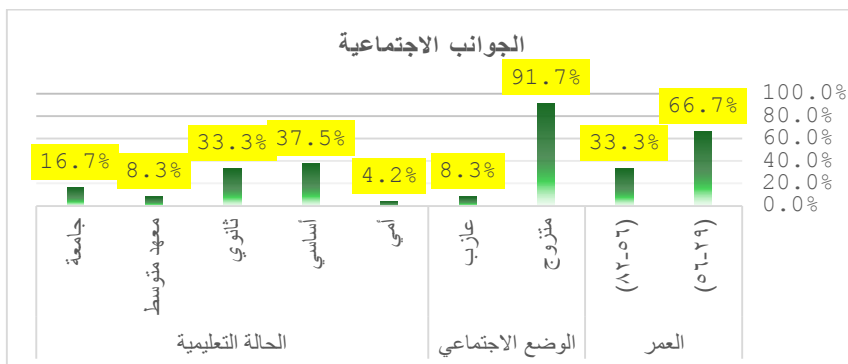
5- البرامج الإحصائية المستخدمة: Spss.V27, Excel 2019 لإجراء التحليل الوصفي (التكرارات، النسب المئوية، والمتوسطات الحسابية) لعرض النتائج ومقارنتها قبل وبعد الإقراض.

النتائج والمناقشة

أولاً- الجوانب الاجتماعية والقروض:

تشير النتائج إلى أن 66.7% من المبحوثين (16 مبحوثاً) هم ضمن الفئة العمرية (29-56) سنة، مقابل 33.3% (8 مبحوثين) في الفئة (56-82) سنة. وهذا يعني أن العينة ليست من فئة الشباب في مستقبل العمر. ويلاحظ ارتفاع نسبة المتزوجين (91.7%)، وأن 70.8% من المبحوثين أتموا تعليمهم الأساسي والثانوي، الشكل (1).

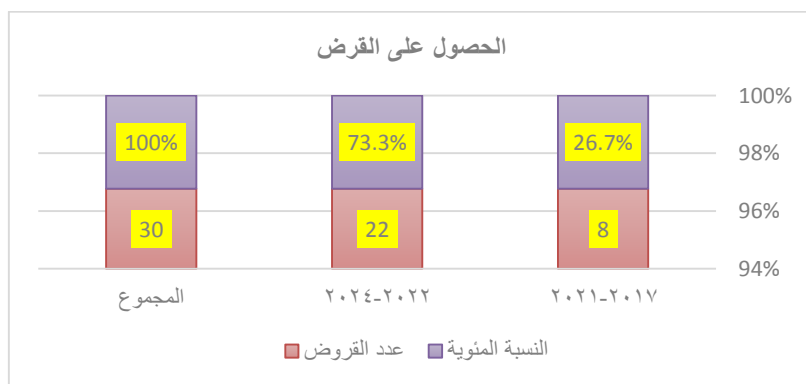
تقييم أثر القروض الزراعية على تحسين المستوى المعيشي للمزارعين في محافظة حمص



الشكل (1): الجوانب الاجتماعية للمبحوثين.

المصدر: عينة البحث، 2024.

يُظهر الشكل (2) أن 73.3% من القروض (22 قرضاً) مُنحت خلال 2022-2024، مما يشير إلى أن بعض المبحوثين حصلوا على أكثر من قرض واحد.

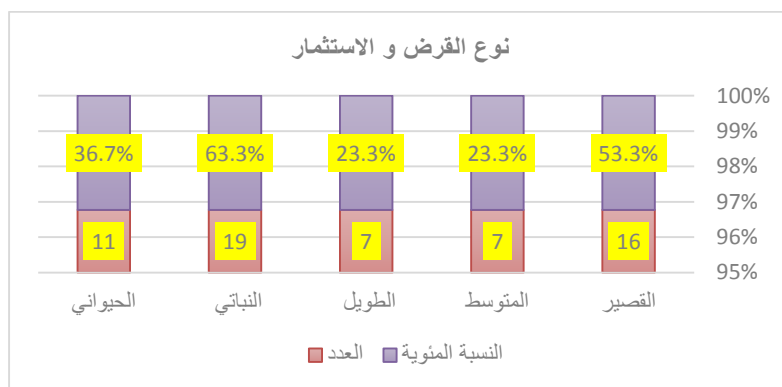


الشكل (2): عدد القروض الممنوحة.

المصدر: عينة البحث، 2024.

وقد شكلت القروض قصيرة الأجل 53.3% من إجمالي القروض، بينما شكلت القروض متوسطة وطويلة الأجل 23.3% لكل منهما، كما هو مبين في الشكل (3). واستُخدمت 63.3% من القروض

في الاستثمار النباتي مقابل 36.7% في الحيواني. ويعكس ذلك ميل المصرف للحفاظ على سيولة عالية من خلال التركيز على قروض قصيرة الأجل أقل عرضة لمخاطر التخلف عن السداد، وهو ما يفسر التأثير المحدود على الهيكل الإنتاجي، وقلة القروض التتموية طويلة الأجل.



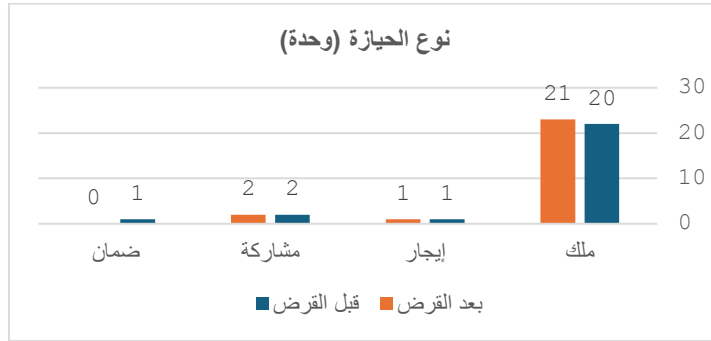
الشكل (3): نوع القرض والاستثمار.

المصدر: عينة البحث، 2024.

ثانياً - الحياة والأصول الزراعية:

نوع الحياة:

لم تؤد عمليات الإقراض إلى تحسن ملحوظ في ملكية الأراضي؛ إذ ظلت نسبة المالكين نحو 85% (20) مبحوثاً قبل الإقراض، و 21 بعده بزيادة مبحوث واحد فقط انتقل من نمط ضمان الأرض إلى نمط الملكية). ولم يطرأ أي تغيير على فئات الإيجار والمشاركة، الشكل (4).

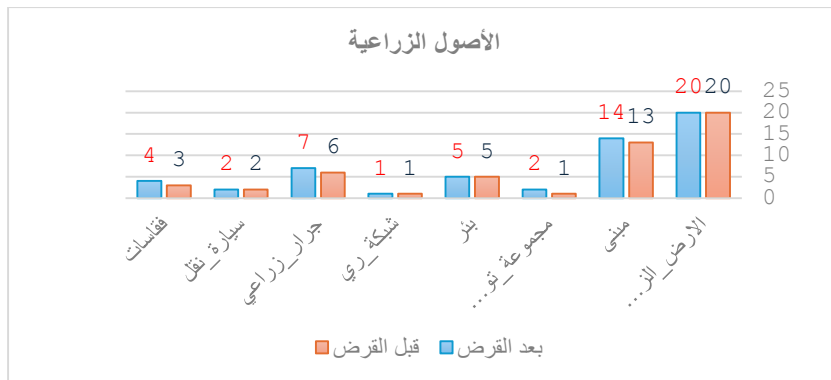


الشكل (4): تغيرات نمط حيازة الأراضي الزراعية للمبحوثين نتيجة الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

الأصول الزراعية:

ظلت الأصول (المباني، الآبار، سيارات النقل، شبكات الري) دون تغير يُذكر، مع زيادة طفيفة في ملكية مجموعات التوليد والجرارات والفقاسات بمبحث واحد فقط. وهذا يؤكد ضعف تأثير القروض قصيرة الأجل في تملك الأصول الثابتة، حيث أن التغيرات التي طرأت ضئيلة وغير ملحوظة إحصائياً، الشكل (5).

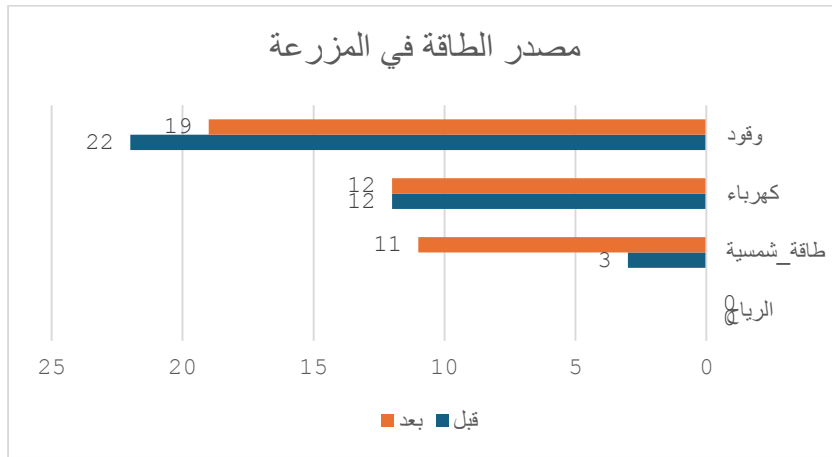


الشكل (5): تغير الأصول الزراعية للمبحوثين نتيجة الإقراض.

المصدر : عينة البحث، 2024.

ثالثاً - مصادر الطاقة:

لوحظ تحول مهم نحو الطاقة الشمسية، حيث ارتفع عدد المستخدمين لها من (3) إلى (11) مبحوثاً بعد الإقراض. كما انخفض الاعتماد على الوقود التقليدي من (85% إلى 75%)، بينما ظل الاعتماد على الكهرباء ثابتاً (12 مبحوثاً). ولم يتم استخدام طاقة الرياح لأي مبحث بسبب ارتفاع تكاليفها. وتصدر ارتفاع أسعار الوقود قائمة التحديات (80% قبل الإقراض، انخفضت إلى أقل من 70% بعده)، كما انخفضت نسبة من يعانون من عدم توفر الوقود من 60% إلى أقل من 50%، ومن انقطاع الكهرباء من 45% إلى أقل من 25%. مما يشير إلى أثر إيجابي للإقراض في دعم التحول للطاقة البديلة وتخفيف أعباء الطاقة، الشكل (6).



الشكل (6): التغيرات في مصادر الطاقة لدى مبحوثي العينة نتيجة الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

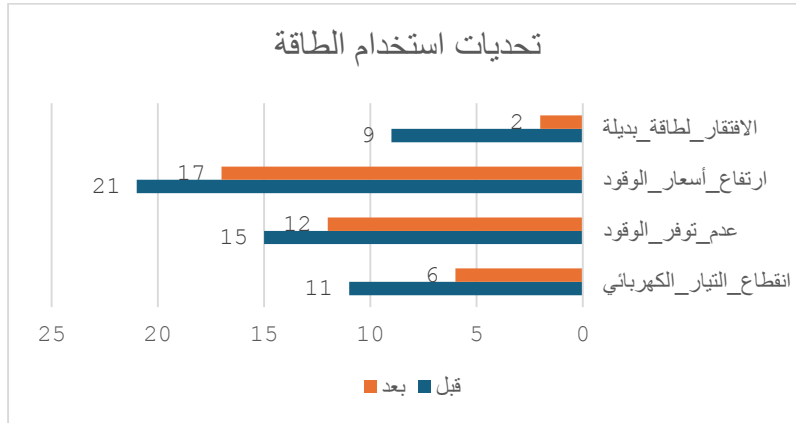
تحديات استخدام الطاقة:

يُعد ارتفاع أسعار الوقود التقليدي أبرز التحديات التي تواجه المزارعين في تأمين احتياجاتهم من الطاقة. فقد أفاد 21 مبحوثاً (87.5%) بأنهم يعانون من هذه المشكلة قبل الحصول على القرض، بينما

انخفض هذا العدد إلى 16مبحوثاً (66.7%) بعده، مما يشير إلى تأثير إيجابي للإقراض في دفع المزارعين نحو البحث عن بدائل، الشكل (7).

كما أشار 14مبحوثاً (58.3%) إلى معاناتهم من عدم توفر الوقود أصلاً قبل الإقراض، وانخفض عددهم إلى 11 مبحوثاً (54.8%) بعد تنفيذ القرض. وفيما يتعلق بانقطاع التيار الكهربائي أفاد 11 مبحوثاً (54.8%) بوجود مشكلة في تزويد التيار بشكل مستقر قبل الإقراض، وانخفض عدد المتأثرين بهذه المشكلة إلى 5 مبحوثين (20.8%) بعده، الشكل (7).

ومن جهة أخرى واجه 8 مبحوثين (33.3%) صعوبة في توفير مصادر طاقة بديلة قبل الحصول على القرض، ولم يعد يعاني من هذه الصعوبة سوى مبحوثين اثنين (8.3%) بعد الإقراض. ويعود السبب في ذلك إلى أن بعض المزارعين تمكنوا بفضل القرض من شراء الوقود بأسعار السوق المرتفعة، بينما استطاع آخرون التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة (خاصة الطاقة الشمسية) لتشغيل مزارعهم، وهو ما ساهم في تخفيف حدة هذه التحديات، وخفض تكاليف التشغيل، وتحسين استمرارية النشاط الزراعي لديهم الشكل (7).

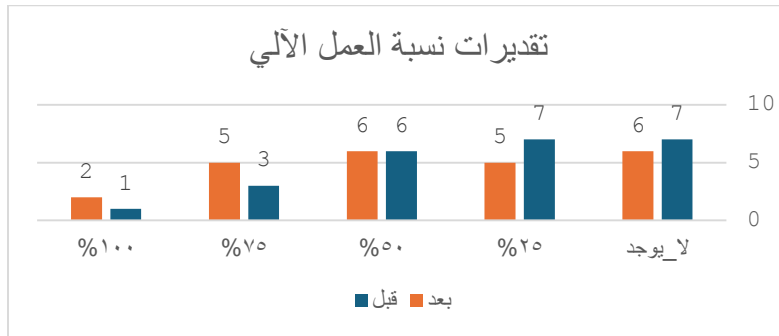


الشكل (7): أبرز التحديات التي تواجه المزارعين في توفير الطاقة.

المصدر: عينة البحث، 2024.

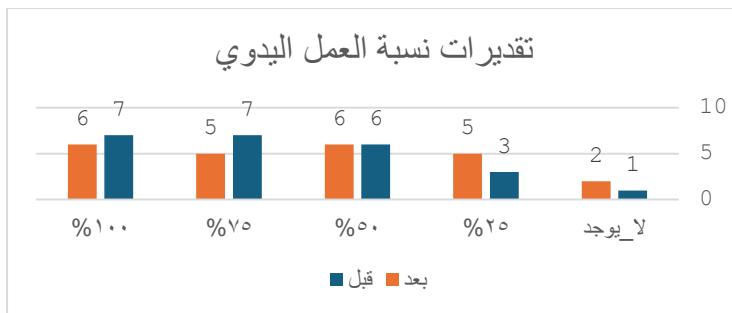
رابعاً - العمل:

لم يتغير نمط الاعتماد على اليد العاملة الأسرية والمأجورة (نمط مختلط). لكن لوحظ تحسن طفيف في الاعتماد على العمل الآلي حيث ارتفع عدد المبحوثين الذين يعتمدون على الآلة بنسبة 75% من (3 إلى 5)، وانخفض عدد الذين يعتمدون على العمل اليدوي من (7 إلى 6). وهذا يعكس اتجاهاً إيجابياً وإن كان محدوداً نحو الميكنة الزراعية نتيجة الإقراض، الشكل (8) والشكل (9).



الشكل (8): التغيرات في الاعتماد على العمل الآلي نتيجة الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

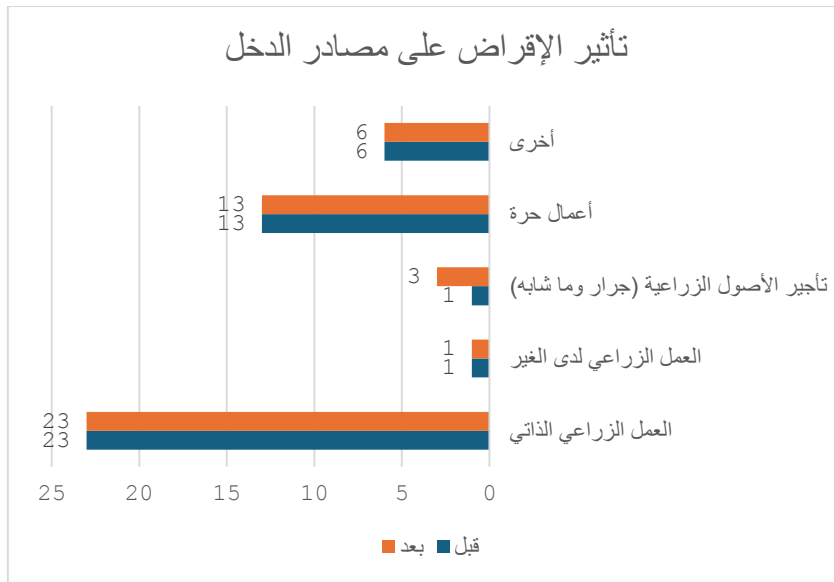


الشكل (9): التغيرات في الاعتماد على العمل اليدوي نتيجة الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

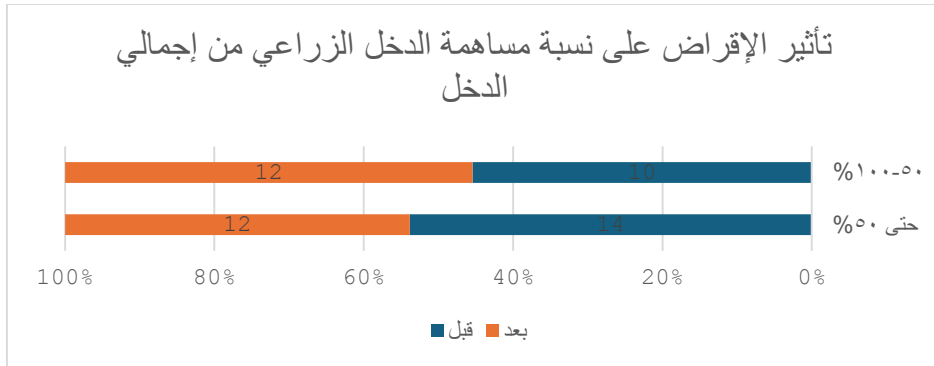
خامساً- مصادر الدخل:

لم يتنوع هيكل مصادر الدخل بشكل جوهري، وبقي العمل الزراعي الذاتي المصدر الرئيسي (90%) تقريباً. لكن لوحظ زيادة في عدد المبحوثين الذين لديهم دخل من تأجير الأصول الزراعية من (1 إلى 3). كما تحسنت نسبة مساهمة الدخل الزراعي في إجمالي الدخل، وارتفع عدد الذين تتجاوز نسبتهم 50% من (10 إلى 12). وهذا يؤشر إلى تحسن طفيف في الاعتماد على الزراعة كمصدر رئيسي للدخل. الشكل (10)، الشكل (11).



الشكل (10): تأثير الإقراض على مصادر الدخل.

المصدر: عينة البحث، 2024.

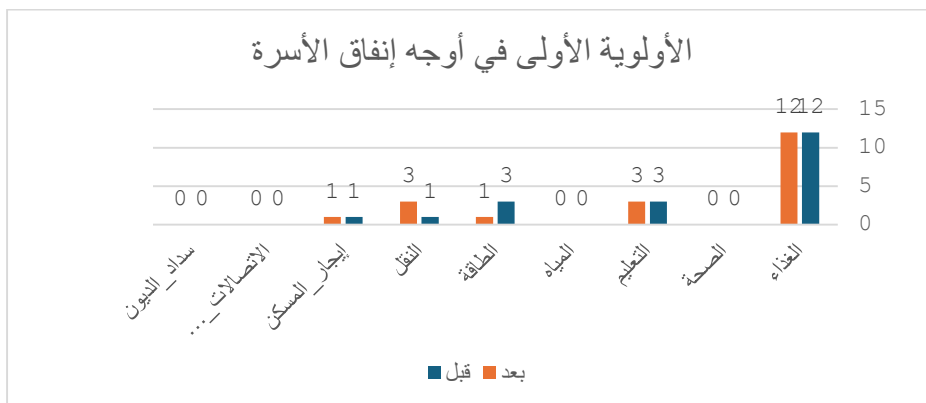


الشكل (11): التغيرات في نسبة مساهمة الدخل الزراعي في إجمالي الدخل نتيجة الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

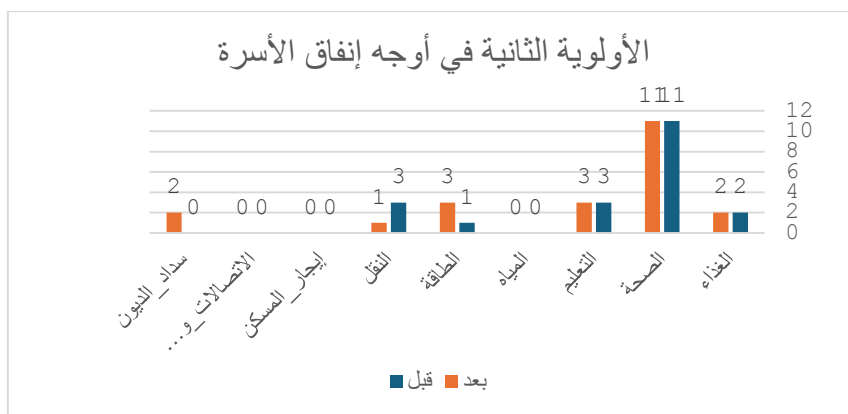
سادساً- أوجه إنفاق الأسرة:

ثبت أن أولويات الإنفاق العليا (الغذاء، الصحة، التعليم) لم تتغير قبل وبعد الإقراض، مما يعكس استقراراً في الاحتياجات الأساسية. لكن الإقراض أثر إيجابياً في إعادة ترتيب الأولويات الدنيا، حيث تحسن ترتيب الإنفاق على الطاقة (انخفض عدد من يضعها أولوية أولى من 3 إلى 1، وزاد من يضعها أولوية ثانية من 1 إلى 3)، والإنفاق على النقل (زاد عدد من يضعها أولوية أولى من 1 إلى 3)، والإنفاق على سداد الديون (ظهر كأولوية ثانية وثالثة لدى 2 و 3 مبحوثين بعد أن كان غائباً). وهذا يشير إلى تحسن في الإدارة المالية للأسر، وإن كان بشكل طفيف. الشكل (12) الشكل (13) الشكل (14).



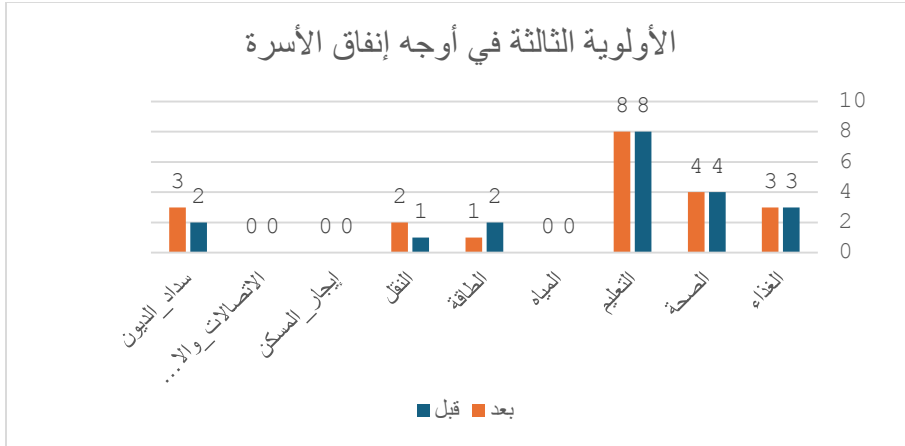
الشكل (12): أولويات أوجه إنفاق الأسرة قبل وبعد الإقراض (الأولوية الأولى في الإنفاق).

المصدر: عينة البحث، 2024.



الشكل (13): أولويات أوجه إنفاق الأسرة قبل وبعد الإقراض (الأولوية الثانية في الإنفاق).

المصدر: عينة البحث، 2024.

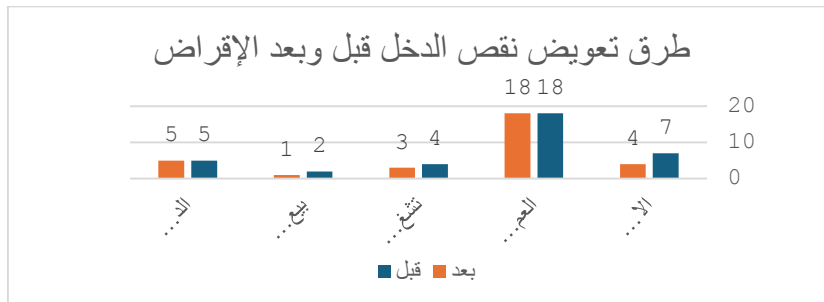


الشكل (14): أولويات أوجه إنفاق الأسرة قبل وبعد الإقراض (الأولوية الثالثة في الإنفاق).

المصدر: عينة البحث، 2024.

سابعاً- طرق تعويض نقص الدخل لمواجهة ارتفاع تكاليف المعيشة:

لم يتغير اعتماد المبحوثين على العمل الثاني كمصدر للدخل (70%)، لكن لوحظ انخفاض في نسبة من يعتمدون على الاستدانة لمواجهة تكاليف المعيشة من (28% إلى 16%)، أي تخلى 3 مبحوثين عن الاستدانة. كما انخفض تشغيل الأطفال تحت سن العمل من (4 إلى 3)، وبيع الأصول من (2 إلى 1). مما يعكس تحسناً في الاستقرار المالي للأسر، ولو كان محدوداً، الشكل (15).

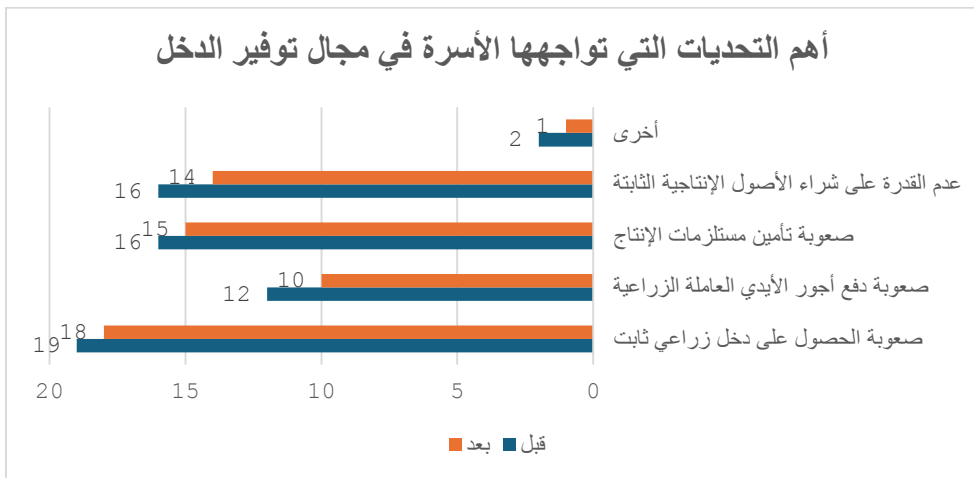


الشكل (15): طرق تعويض نقص الدخل لمواجهة ارتفاع تكاليف المعيشة لدى مبحوثي العينة.

المصدر: عينة البحث، 2024.

ثامناً- أهم التحديات التي تواجهها الأسرة في مجال توفير الدخل:

ظلّت صعوبة الحصول على دخل زراعي ثابت التحدي الأكبر بنحو أكثر من 75% من العينة. وجاءت في المرتبة الثانية صعوبة شراء الأصول الثابتة وتأمين مستلزمات الإنتاج، حيث انخفض عدد المتأثرين بها بشكل طفيف (من 16 إلى 14، ومن 16 إلى 15 على التوالي). كما انخفض عدد من يواجهون صعوبة في دفع أجور اليد العاملة من (12 إلى 10). وتشير هذه النتائج إلى أن الإقراض خفف بعض الأعباء التشغيلية، لكنه لم يحل المشاكل الهيكلية للإنتاج الزراعي في المدى البعيد، الشكل (16).

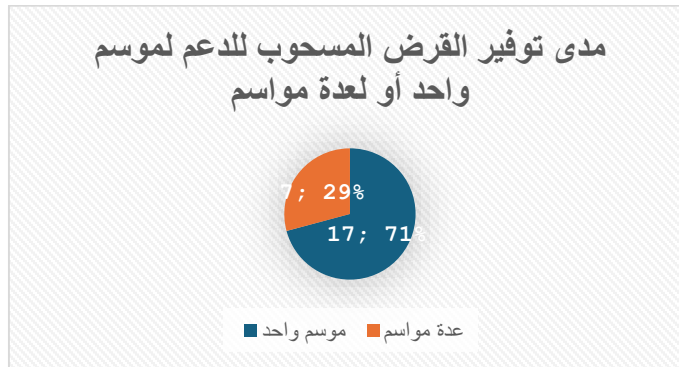


الشكل (16): تغير أهم التحديات التي تواجهها الأسرة في مجال توفير الدخل قبل وبعد الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

تاسعاً- أثر القروض على المواسم الزراعية و اقتراحات المبحوثين لتطوير و/أو تجنب العثرات أثناء الحصول على القروض الزراعية:

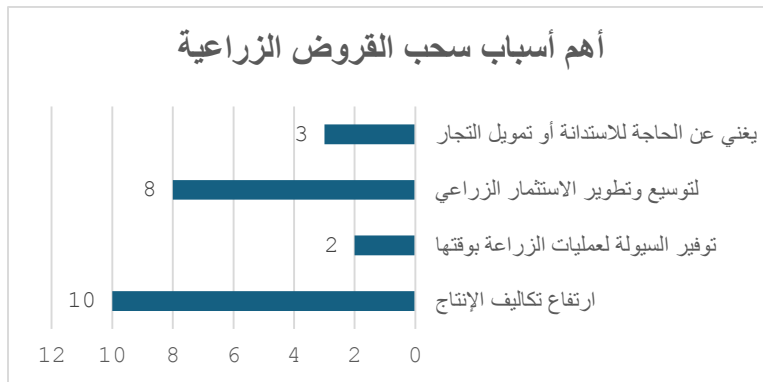
أفاد 71% من المبحوثين (17 مبحوثاً) بأن تأثير القرض كان قصير المدى (لموسم واحد)، بينما رأى 29% (7 مبحوثاً) أن له تأثيراً ممتداً لعدة مواسم، كما يوضح الشكل (17).



الشكل (17): رأي المبحوثين في مدى تأثير الإقراض على المواسم الزراعية.

المصدر: عينة البحث، 2024.

وأعرب جميع المبحوثين عن رغبتهم في الحصول على قروض جديدة، وكان ارتفاع تكاليف الإنتاج (40%) وتوسيع الاستثمار (30%) أبرز الدوافع، الشكل (18).



الشكل (18): أبرز الدوافع لدى مبحوثي العينة نحو الإقراض.

المصدر: عينة البحث، 2024.

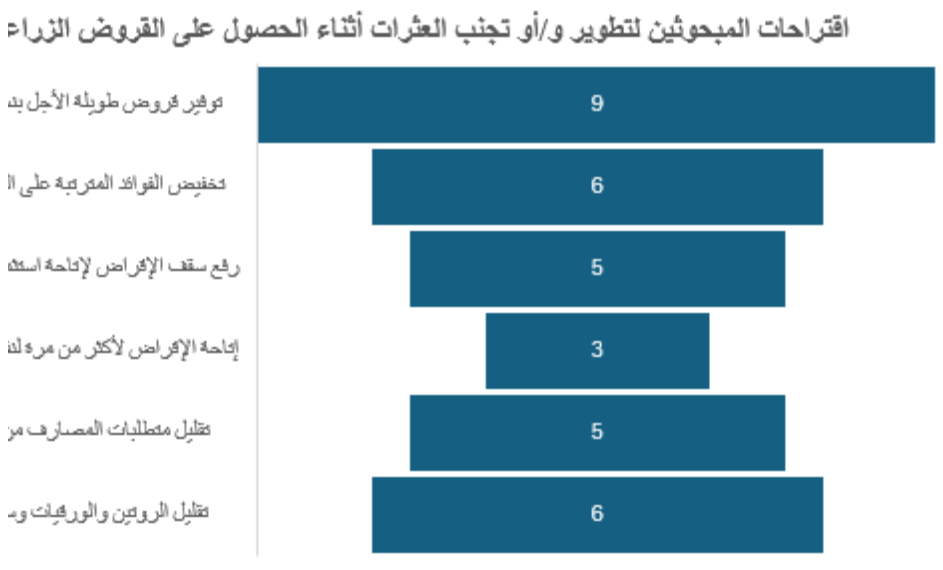
وتمحورت مقترحاتهم حول أربعة محاور رئيسية، كما في الشكل (19).

1. توفير قروض طويلة الأجل لتمويل الأصول الإنتاجية والبنى التحتية (36% من المقترحات).

2. تخفيض الفوائد وتقليل البيروقراطية والإجراءات الورقية (24%).

3. رفع سقف الإقراض وتقليل متطلبات الضمانات (25%).

4. السماح بأكثر من قرض للمقترض نفسه وربط القرض بالمشروع (15%).



الشكل (19): أهم اقتراحات مبحوثي العينة لتطوير القروض الزراعية.

المصدر: عينة البحث، 2024.

استنتاجات

1. تأثير محدود على الهيكل الإنتاجي: أثبتت النتائج أن القروض الزراعية وخاصة قصيرة الأجل منها (53.3%)، لم تُحدث تغييراً جوهرياً في ملكية الحيازات الزراعية، حيث ظلت نسبة المالكين ثابتة

(85%). مما يشير إلى أن هذه القروض تُستخدم لتغطية تكاليف التشغيل الموسمية أكثر من كونها استثماراً طويلاً الأمد.

2. **تحسين طفيف في التكنولوجيا والطاقة:** لوحظ تحسن محدود في استخدام العمل الآلي والطاقة الشمسية (ارتفاع عدد المستخدمين من 3 إلى 11)، مما يساهم في خفض التكاليف على المدى الطويل، لكنه لا يزال دون المستوى المطلوب.

3. **إدارة أولويات الإنفاق دون حلول هيكلية:** ساعدت القروض في إعادة ترتيب أولويات الإنفاق الأسري، خاصة في مجالات الغذاء، الطاقة، النقل، وسداد الديون، لكنها أخفقت في تقديم حلول جذرية للمشاكل الهيكلية مثل استقرار النقل الزراعي وتسويق المنتجات.

4. **الحاجة لإصلاح نظام الإقراض:** أثبتت الدراسة أن السياسة الإقراضية الحالية تحتاج إلى إصلاح جذري لتتحول من كونها إقراضاً تشغيلياً إلى إقراض تنموي يساهم في بناء أصول المزارعين على المدى البعيد.

التوصيات

انطلاقاً من نتائج الدراسة ومقترحات المزارعين أنفسهم، يُوصي البحث بما يلي:

1. **التوسع في القروض طويلة الأجل:** العمل على زيادة نسبة القروض طويلة الأجل الموجهة لشراء الأصول الإنتاجية الثابتة (كالأراضي، الآلات، وأنظمة الري بالطاقة المتجددة)، مع تقديم دعم فني لضمان جدواها الاقتصادية.
2. **تخفيض الأعباء المالية والإدارية:** خفض نسب الفوائد على القروض الزراعية، وتبسيط الإجراءات البيروقراطية، وتقليل متطلبات الضمانات والكفالات التي تشكل عائقاً أمام صغار المزارعين.

3. رفع سقف التمويل وتنويعه: زيادة قيمة التمويل الممنوح للمزارع الواحد، والسماح بالحصول على أكثر من قرض في الوقت نفسه لمشاريع زراعية متعددة، على أن يُربط القرض بالمشروع الاستثماري وليس بالمقترض فقط.
4. الدعم الإرشادي والتسويقي: إنشاء نظام إرشادي زراعي يرافق عملية الإقراض لضمان استخدام الأموال بكفاءة، مع مساعدة المزارعين على تسويق منتجاتهم مباشرة وتقليل دور الوسطاء لزيادة هوامش الربح.
5. التقييم المستمر وإشراك المزارعين: إنشاء نظام متابعة وتقييم دوري لقياس أثر القروض على الدخل والإنتاج، مع إشراك المزارعين في ورش عمل لتصحيح برامج الإقراض المستقبلية، بما يضمن توافقها مع الاحتياجات الفعلية في الريف السوري.

المراجع العربية

أسد، إسماعيل عزيز (2020). أثر التمويل الزراعي في تحقيق الناتج الزراعي. المجلة العلمية لجامعة جيهان: العراق. تم الرجوع إليه بتاريخ: 2023/6/18 على الرابط:
<https://sj.sulicihan.edu.krd/files/2020/09/186-197.pdf>

بدريان، سعيدة؛ بكادي، كريمة؛ زيدان، فتحية (2013). القروض المصرفية ودورها في التنمية الفلاحية دراسة حالة بنك الفلاحة والتنمية الفلاحية وكالة المنبوعة. قسم العلوم الاقتصادية. كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير. جامعة قاصدي مرباح ورقلة: الجزائر.

سلمان، محمد شريف (2009). المصرف الزراعي بين العمل التخصصي والصيرفة الشاملة. تم الرجوع إليه بتاريخ: 2023/6/9 على الرابط:

<https://www.agbank.gov.iq/ar/node/523>

العلوي، أحمد؛ العطوان، سمعان (1996). مفاهيم التمويل الزراعي. قسم الاقتصاد والإرشاد الزراعي. كلية الزراعة. جامعة حلب: سورية.

القاضي، حسين (2002). الإصلاح الاقتصادي في سورية إلى أين ؟. دار الرضا للنشر. المكتب المركزي للإحصاء في سورية (2010). تم الرجوع إليه بتاريخ 2023/7/1 على الرابط: <http://cbssyr.sy/yearbook.htm>

القصاص، جلال جويده (2010). النقود والبنوك والتجارة الخارجية. ط1. الدار الجامعية: الإسكندرية. مصر.

محمد صالح، حيدر سعد (2014). تقييم أداء المصرف الزراعي التعاوني في منح القروض. جامعة بغداد: العراق.

المصرف الزراعي التعاوني (2013). نظام العمليات. الصادر بقرار السيد وزير المالية رقم 169/ بتاريخ 2013/11/26.

المكتب المركزي للإحصاء في سورية (2022). تم الرجوع إليه بتاريخ 2023/7/4 على الرابط: <http://cbssyr.sy/yearbook.htm>

مكي، قمر (2023). المصرف الزراعي التعاوني؛ خدماته وأهم 5 شروط منح قرض مصرفي. مقال إنترنت تم الرجوع إليه بتاريخ: 2023/6/19 على الرابط: <https://economy.faharas.net/agricultural-cooperative-bank>

Anand, Jaya, S (1999). Cooperative Agricultural and Rural Development Banks. Atlantic publishers and distributors. New Delhi. Retrieved: 18/6/2023.
From:

<https://books.google.com/books?hl=ar&lr=&id=aH9X0PFjNGwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Cooperative+Agricultural+Bank&ots=jlovVgm4Hn&sig=R2yaRGzT5YmPtCdmvOP9c1VJHRw#v=onepage&q=Cooperative%20Agricultural%20Bank&f=false>

Friedman, M. (1957). **A Theory of the Consumption Function**. Princeton: Princeton University Pres.

Hom, Nang Sam (2019). The Role of Agricultural Financing in Myanmar. Yangon University of Economics Department of Development Studies Programme. Emdevs. 15th batch

Jackline, W (2013). Relationship Between Agricultural Credit Financing and Financial Performance: A Case of small scale farmers in Kiria Division in Muranga country. Nairobi. School of Business University.

Sen, A. (1999). **Development as Freedom**. New York: Anchor Books.

محاكاة ديناميكية لتفاعل التربة مع محراث تحت التربة ذي سلام ثانوي:**تحليل معامل الجر والطاقة**

م. نور عادل شعبان *

د. عدنان علي احمد **

أ.د. سليمان محمد سلامة ***

الملخص

تقدم هذه الدراسة تحليلاً شاملاً للأداء وتحسيناً هندسياً للمحراث تحت التربة وسلاحه الثانوي، مع التركيز على تأثير المتغيرات التصميمية في كفاءة الجر، استهلاك الطاقة، والاستقرار التشغيلي. من خلال النمذجة ثلاثية الأبعاد وتحليل الانحدار متعدد المتغيرات، تم تحليل العلاقة بين زاوية ميل السلاح (α)، والمسافة الأفقية (dx)، وتأثيرهما المتبادل على معامل الجر (C_T) والاستهلاك النوعي للطاقة (SE_v).

أظهرت النتائج وجود مجال تصميمي أمثل عند زاوية ميل (15° و 25°) ومسافة أفقية (dx) ضمن المجال (15-25 cm)، حيث تحقق أفضل توازن بين معامل الجر، استهلاك الطاقة، والاستقرار الديناميكي. كما بينت النتائج أن زيادة زاوية الميل عند القيم المرتفعة تؤدي إلى زيادة مقاومة التربة ومتطلبات الطاقة نتيجة ارتفاع الاجهادات المتولدة أمام السلاح الثانوي. بالإضافة إلى ذلك، أظهر معامل الاستقرار الديناميكي (SD) تحسناً ملحوظاً ضمن المجال التشغيلي الأمثل، مما يشير إلى أداء ميداني أكثر استقراراً وقابلية للتنبؤ.

كما أوضحت نماذج الانحدار الخطي ($y = -0.026x + 74.34$) ، و التربيعي ($y = -0.0018x^2 - 0.586x + 71.083$) قدرة جيدة على توصيف التأثيرات الهندسية والتفاعلية لمتغيرات التصميم، حيث فسرت أكثر من 90% من التباين في البيانات الناتجة عن المحاكاة ($R^2 > 0.90$).

الكلمات المفتاحية: الحراثة تحت التربة، السلاح الثانوي، معامل الجر، كفاءة الطاقة، النمذجة ثلاثية الأبعاد.

* طالبة دراسات عليا (دكتوراه) في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس.

** أستاذ مساعد في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس.

*** أستاذ في كلية الهندسة التقنية في جامعة طرطوس.

Dynamic Simulation of Soil-subsoiler Interaction with a Secondary Body: Analysis of Draft Coefficient and Energy Consumption

Eng. Nour Aadel Shaaban*

Dr. Adnan Ali Ahmed**

Prof. Dr. Suleiman Mohammad Salama***

Abstract

This study presents a performance analysis and geometric optimization of a subsoiler plow and its secondary shank, with a emphasis on the influence of design parameters on draft efficiency, energy consumption, and operational stability. Using integrated 3D modeling and multivariate regression analysis, the relationships between shank inclination angle (α) and horizontal spacing (d_x) were investigated, along with their combined effects on draft coefficient (CT) and specific energy consumption (SEv).

The results revealed an optimal design range at a shank inclination angle of (15° and 25°) and a horizontal spacing (d_x) of (15 - 25 cm), where the system achieved the best balance between draft performance, energy consumption, and dynamic stability. The findings also indicated that increasing the inclination angle beyond the optimal range led to higher soil resistance and energy demand due to increased stress accumulation in front of the secondary shank.

In addition, the dynamic stability coefficient (SD) showed noticeable improvement within the optimal operation range, indicating more stable and predictable field performance. The linear models

($y = -0.026x + 74.345$) and quadratic regression ($y = -0.0018x^2 - 0.586x + 71.083$) demonstrated good capability in describing the marginal and interaction effects of the design parameters, where the models explained more than 90% of the variance in the simulation results ($R^2 > 0.90$).

Keywords: Subsoiling, Secondary shank, Draft Coefficient, Energy Efficiency, 3D Modeling.

*** Postgraduate student (PhD) at the Faculty of Technical Engineering, Tartous University.**

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

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

Tartous University.

1. المقدمة

تعتبر عملية الحراثة تحت التربة من أهم العمليات الزراعية التي تؤثر بشكل مباشر على خصائص التربة الفيزيائية، كفاءة استهلاك الطاقة، ومعامل الجر للأدوات الزراعية (Darwish, 2020). تتضمن عملية الحراثة تحريك كتلة التربة والتعامل مع مقاومة التربة للأداة، والتي تعرف بقوة الجر، وهي العامل الرئيسي الذي يحدد كمية الطاقة المطلوبة للعملية الزراعية.

على الرغم من التطور الكبير في تصميم أدوات الحراثة، إلا أن فهم التفاعل الديناميكي بين التربة والأداة تحت سطح الأرض لا يزال يمثل تحدياً بسبب سلوك التربة غير المتجانس والمعقد، والذي يتأثر بعدة عوامل مثل خصائص التربة، الرطوبة، الكثافة، عمق القطع، وشكل الأدوات (Ahmadi et al., 2023).

في إطار البحث عن حلول لخفض مقاومة الجر، ظهرت فكرة تعديل تصميم محراث تحت التربة بإضافة سلاح ثانوي (secondary shank) كاتجاه واحد. يقوم هذا المفهوم على مبدأ تقسيم عملية قطع وتشكيل كتلة التربة على مرحلتين أو أكثر، عبر أدوات متتالية. الفرضية المركزية هنا، كما أشار أباد وزملاءه (Abad et al., 2018)، هي أن الجسم الثانوي المصمم بشكل مناسب يمكن أن يقوم بقطع مبدئي أو تهيئة للتربة أمام الجسم الرئيسي، مما يقلل من مساحة المقطع العرضي للتربة التي يجب على الجسم الرئيسي قطعها دفعة واحدة، وبالتالي يخفض قوى القطع والإجهادات الكلية.

تتأثر فعالية الجسم الثانوي بعوامل عديدة مثل: موقعه النسبي (المسافة الأفقية والرأسية أمام الجسم الرئيسي)، زاوية ميله، وشكله الهندسي، بالإضافة إلى خصائص التربة ذاتها (الرطوبة، الكثافة، التماسك). التغيير في أي من هذه المتغيرات يمكن أن يغير بشكل جذري من أنماط تدفق التربة وتوزيع الإجهاد، مما قد يؤدي في بعض الأحيان إلى نتائج عكسية غير متوقعة وزيادة في مقاومة الجر

الإجمالية إذا كان التصميم غير متناغم، هنا بالضبط تبرز القيمة العالية للمحاكاة الديناميكية الحاسوبية . فهي تسمح بفك هذا التعقيد عبر تمكين الباحث من:

1. عزل المتغيرات وتقييم تأثيرها المنفرد: يمكن محاكاة تأثير زاوية السلاح الثانوي مع ثبات جميع العوامل الأخرى، وهو أمر مستحيل ضبطه بدقة في الحقل.

2. التصور الكمي للظواهر الخفية: يمكن حساب وتمثيل مجالات الإجهاد داخل التربة، قوى القص، وأنماط انزياح الحبيبات حول كلا الجسمين في الزمن الحقيقي الافتراضي.

3. التنبؤ بالأداء الأمثل: المحاكاة كجزء من خوارزمية تحسين (optimization algorithm) للبحث تلقائياً عن مجموعة المتغيرات التصميمية (موقع، زاوية، شكل الجسم الثانوي) التي تنتج أدنى قيمة لمعامل الجر أو استهلاك الطاقة.

تظهر الدراسات الحديثة أن المحاكاة العددية للتربة-الأداة باستخدام طرق العناصر المنتهية (FEM) والطرق الحبيبية (DEM/SPH) توفر أدوات قوية لتحليل القوى المؤثرة على الأدوات الزراعية، وتقدير الطاقة المطلوبة بشكل أدق مقارنة بالطرق التجريبية التقليدية (Ibrahmi&Bentaher,2025). من خلال هذه النماذج يمكن دراسة ديناميكية التربة حول السلاح الثانوي للمحراث وتقييم تأثيره على معامل الجر واستهلاك الطاقة. يعتبر فهم هذه الديناميكيات أمراً بالغ الأهمية لتقليل قوى السحب، حيث أن توزيع الإجهادات داخل كتلة التربة وطريقة تشكل الكتلة المنزلقة وتدفق التربة على سطح الأداة هي عوامل حاسمة تحدد المقاومة الكلية (O'Dogherty, & Godwin 2007) تسمح المحاكاة الدقيقة بتصوير وقياس هذه الظواهر بشكل مفصل يتعذر الحصول عليه في التجارب الميدانية.

لقد أظهرت الدراسات الحديثة أن طريقة العناصر المنفصلة (DEM) تعد من أكثر الطرائق كفاءة في محاكاة التفاعل الديناميكي بين التربة وأدوات الحراثة، نظراً لقدرتها على تمثيل التربة كوسط حبيبي مكون من جسيمات منفصلة، مما يسمح بتحليل دقيق لحركة التربة وتوزيع القوى أثناء عملية القطع، وهذه القدرات تجعلها أداة مثالية لدراسة النظام المقترح (محراث ذو سلاح ثانوي- تربة)، Li et al.,(2016).

بين Li وآخرون (2016) من خلال محاكاة (DEM) ثلاثية الأبعاد لمحراث تحت التربة أن قوة الجر تزداد خطياً تقريباً مع عمق القطع، بينما تتأثر بشكل غير خطي بزاوية ميل السلاح. كما أظهرت نتائجهم أن شكل الأداة يلعب دوراً رئيسياً في توزيع الإجهادات داخل كتلة التربة، مما ينعكس مباشرة على الطاقة المطلوبة للعملية الزراعية.

في دراسة أكثر تقدماً استخدم Ahmadi وآخرون (2023) طريقة (DEM) لدراسة تأثير تماسك التربة والالتصاق على قوى الجر لأداة حراثة عريضة، وأظهرت النتائج أن إدخال نماذج تماس متقدمة أدى إلى تحسين دقة التنبؤ بقوة الجر بنسبة تجاوزت 15% مقارنة بالنماذج البسيطة، مؤكداً أن DEM قادرة على النقاط السلوك الواقعي للتربة تحت ظروف تشغيل مختلفة.

كما أوضح Araya وآخرون (2017) أن استخدام DEM في محاكاة التربة غير المتجانسة (متعددة الطبقات) أتاح تحليل تأثير تغير الخصائص الميكانيكية للتربة مع العمق، حيث لوحظت زيادات مفاجئة في قوة الجر عند انتقال الأداة بين طبقات ذات كثافة مختلفة، وهو ما يصعب تمثيله باستخدام نماذج العناصر المنتهية التقليدية.

بناءً على هذا المنظور الشامل، تستهدف هذه الورقة البحثية تقديم تحليل كمي نظري دقيق لفرضية تحسين أداء محراث تحت التربة عبر إضافة سلاح ثانوي، وذلك من خلال عدسة المحاكاة الديناميكية المتقدمة. تركز الدراسة على فك شيفرة العلاقة بين التصميم الهندسي للسلاح الثانوي (بمحدداته الهندسية والموضعية) والمخرجات الأدائية الأساسية المتمثلة في معامل الجر ومؤشرات استهلاك الطاقة.

2. مشكلة البحث

إن التفاعل المعقد بين الجسم الإضافي والجسم الرئيسي والتربة يصعب التنبؤ به تجريبياً دون تكاليف باهظة، كما أن التأثيرات المثلى للمتغيرات التصميمية (كالموقع والزوايا والشكل) للسلاح الثانوي تظل غير معروفة بشكل منهجي.

أي باختصار: كيف يمكننا التنبؤ بدقة وتفسير آليات تأثيرات إضافة سلاح ثانوي (من حيث موقعه وزاويته وشكله) على معامل الجر واستهلاك الطاقة في محراث تحت التربة، دون اللجوء إلى عمليات تجريبية مكلفة ومعقدة؟

3. أهمية البحث وأهدافه

تكمن أهمية هذا البحث إلى:

1. الحاجة المتزايدة إلى تحسين كفاءة أدوات الحراثة تحت التربة وتقليل استهلاك الطاقة المرتبط بالعمليات الزراعية، خاصة في ظل الارتفاع المستمر في تكاليف التشغيل والاهتمام المتزايد بالزراعة المستدامة.
 2. الاعتماد على المحاكاة العددية الديناميكية كأداة تحليل متقدمة لفهم التفاعل المعقد بين التربة والأداة، بما يتيح تقييم تأثير المتغيرات التشغيلية والتصميمية دون الاعتماد الكامل على التجارب الحقلية المكلفة.
 3. تكمن الأهمية العلمية للدراسة في تحليل الدور الهندسي للسلاح الثانوي لمحراث تحت التربة والذي لم يحظ بدراسة كافية من حيث موقعه، أبعاده النسبية، وزاوية ميله وتأثير ذلك على معامل الجر والطاقة المستهلكة.
- وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق الأهداف التالية:
1. تطوير نموذج محاكاة ديناميكية لتفاعل التربة مع محراث تحت التربة مزود بسلاح ثانوي (باستخدام منهجية DEM).
 2. تحليل تأثير المتغيرات التصميمية الأساسية للسلاح الثانوي والمتمثلة في (المسافة الأفقية (d_x) والرأسية (d_z) النسبية أمام الجسم الرئيسي، وزاوية ميل السلاح (α) على معامل الجر ومؤشرات استهلاك الطاقة.
 3. تفسير النتائج الكمية من خلال التصور والتحليل الكيفي لأنماط تدفق التربة، وتوزيع مجالات الإجهاد، وآلية تشكل الكتل المنزقة حول كلا الجسمين، لفهم السبب الفيزيائي الكامن وراء أي تحسن أو تدهور في الأداء.
 4. تحديد المدى الأمثل للسلاح الثانوي الذي يقلل مقاومة الجر والطاقة المستهلكة، بناءً على مشاهدات المحاكاة، لتكون بمثابة توصيات نظرية للتطوير المستقبلي.

4. طرائق وأدوات البحث

تعتمد هذه الدراسة بشكل أساسي على النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لمحاكاة التفاعل الديناميكي بين التربة الطينية الثقيلة ومحراث تحت التربة مُعدّل بسلاح ثانوي. تم تنفيذ العمل عبر المراحل والمنهجيات التالية:

1.4. النمذجة الحاسوبية واختيار المنهجية:

نظراً للطبيعة الحبيبية المنفصلة للتربة وسلوكها غير المتجانس أثناء القص والانزلاق، تم اعتماد طريقة العناصر المنفصلة (Discrete Element Method – DEM) كأداة المحاكاة الأساسية، نُفذت المحاكاة باستخدام برنامج EDEM 2022 (من إنتاج شركة DEM Solutions) باعتباره من أكثر البرامج تخصصاً في نمذجة تفاعل المواد الحبيبية مع الأجسام الصلبة، حيث تم تمثيل التربة بالاعتماد على جسيمات كروية (Spheres) ذات توزيع حجمي يتراوح بين (5-15 mm)، واعتمد نموذج التلامس (Hertz–Mindlin (no slip) لتمثيل التفاعل بين الجسيمات والأجسام الصلبة ضمن بيئة المحاكاة.

تم تنفيذ المحاكاة على حوض تربة افتراضي بأبعاد (50,100,200 cm)، حيث تم إنشاء ما مجموعه 150,000 جسيم لتمثيل كتلة التربة الطينية الثقيلة داخل صندوق التربة العددي، ونُفذت عمليات المحاكاة العددية باستخدام حاسب شخصي مزود بمعالج Intel Core i7-12700K وذاكرة وصول عشوائي (RAM) بسعة 64GB، وبطاقة رسومات NVIDIA RTX 3060 استغرق وقت المحاكاة لكل تجربة حوالي (4-6 ساعات)، تبعاً لعدد الجسيمات وظروف التشغيل، وتم إجراء 50 تجربة تغطي قيماً مختلفة للمتغيرات التصميمية والتشغيلية.

2.4. نمذجة خصائص التربة (Modeling Soil) وهندسة المحراث تحت التربة:

تم اعتماد تربة طينية ثقيلة (Heavy Clay Soil) لتمثيل ظروف الحراثة الشائعة في الأراضي الزراعية، واعتمدت الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة ومعدن المحراث، إضافة إلى معاملات الجسيمات المكافئة المستخدمة في نموذج العناصر المنفصلة (DEM) استناداً إلى الدراسات المرجعية المتعلقة بمحاكاة التربة الزراعية، ولا سيما دراسة (Coetzee, 2017) مع إجراء مواءمة للقيم بما يتناسب مع ظروف الدراسة الحالية. الجدول (1)

الجدول (1) الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للتربة ومعدن المحراث ومعاملات الجسيمات المكافئة المستخدمة في نموذج DEM

الخاصية	التربة الطينية الثقيلة	معدن المحراث
شكل الجسيمات	كروية	-
عدد الجسيمات	150000	-
مجال أقطار الجسيمات المكافئ	5-15 mm	-
الكثافة الظاهرية	1800 Kg/m ³	7850 Kg/m ³
معامل بواسون (ν)	0.35	0.30
معامل يونغ المكافئ E	50 MPa	210 GPa
زاوية الاحتكاك الداخلي φ	26°	-
معامل الاحتكاك تربة-تربة	0.6	-
معامل الاحتكاك تربة-معدن	0.5	-
التماسك (C)	15 KPa	-

تم اعتماد التصميم الأساسي للمحراث وفق الأبعاد الحقيقية المبينة في الجدول (2)، بينما خضعت بعض المتغيرات التشغيلية للسلاح الثانوي، مثل المسافة الأفقية (d_x) وبعض المتغيرات التصميمية مثل زاوية الميل (α)، إلى تغيرات بارامترية ضمن نطاقات محددة بهدف تحليل تأثيرها على قوة الجر واستهلاك الطاقة.

الجدول (2) الأبعاد الأساسية للمحراث تحت التربة المستخدم كأساس هندسي للنموذج

أبعاد البدن	الرئيسي	الثانوي	الأبعاد النسبية		المجال المدروس
الطول الكلي للبدن (من نقطة التثبيت حتى طرف السن) (cm)	110	95	المسافة الأفقية بين البدنين (d_x)	25 cm	15-25 cm

عرض السلاح (cm)	8	6	المسافة الرأسية (d_z)	15 cm	5-15 cm
عمق التشغيل (cm)	45	25	زاوية ميل السلاح (α)	20°	15°-25°
زاوية الميل الأمامية	25°	20°			
مواصفات المواد للتصنيع			سماكة المواد المختلفة		
نوع المعدن	صلب منخفض السبائك		سماكة البدن (mm)	16	
Standard	DIN 1.7147 (AISI 4140)		سماكة السن (mm)	20	

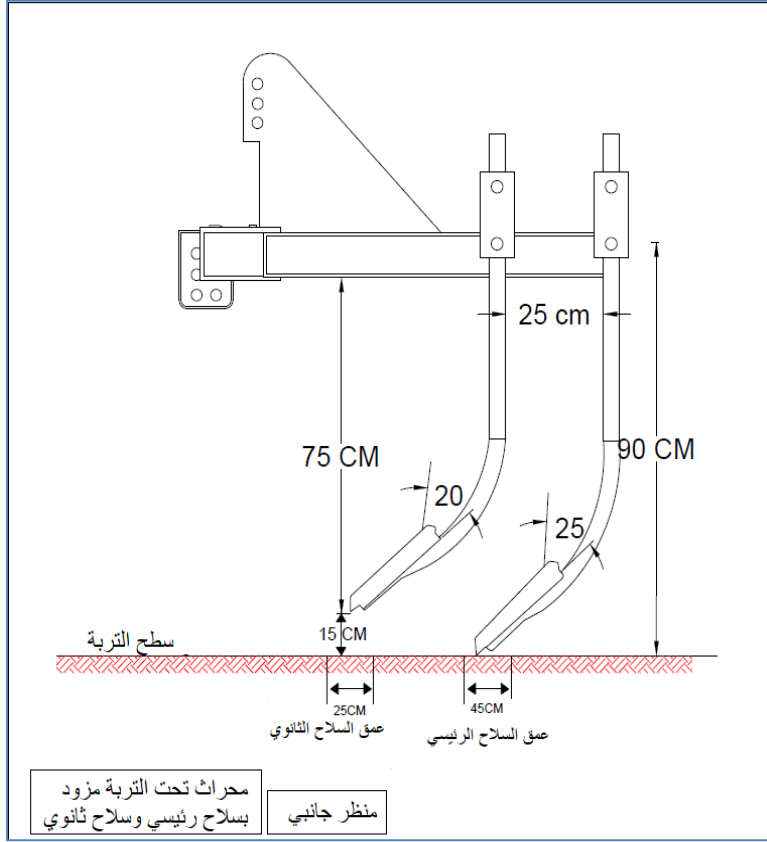
■ تم تصميم الهندسة ثلاثية الأبعاد للمحراث تحت التربة (سلاح رئيسي وسلاح ثانوي) باستخدام برنامج SolidWorks 2021 ، ثم تم استيرادها إلى بيئة DEM كأجسام صلبة (Rigid Bodies) ذات حدود ثابتة (Walls).

■ تم دراسة المتغيرات التالية:

- المتغيرات التصميمية: زاوية ميل السلاح الثانوي (α) بقيم (10°, 15°, 20°, 25°, 30°).
- المتغيرات التشغيلية: المسافة الأفقية بين السلاحين (d_x) بقيم (5, 10, 15, 20, 25 cm).

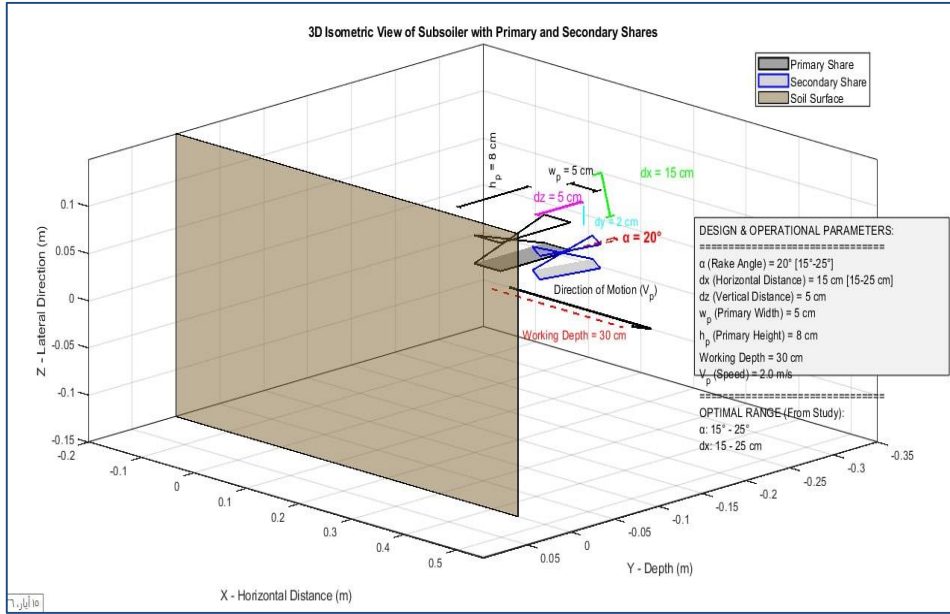
➤ تم تثبيت عمق الحراثة عند ($d=30\text{cm}$) وسرعة الحراثة عند ($v=2\text{ m/s}$)

يبين الشكل (1) مخطط هندسي جانبي للمحراث تحت التربة المزود بسلاح رئيسي وسلاح ثانوي، يوضح الأبعاد الإنشائية الأساسية للمحراث، بما في ذلك أطوال الأبدان (القصبه + السلاح)، أعماق التشغيل، المسافة الأفقية بين موضعي السلاحين، وزاوية ميل كل سلاح بالنسبة لاتجاه الحركة.



الشكل (1) منظر جانبي لمحراث تحت التربة مزود بسلاح رئيسي وسلاح ثانوي

بينما الشكل (2) يبين التمثيل الهندسي للمحراث تحت التربة المزود بسلاح رئيسي وسلاح ثانوي داخل صندوق التربة العددي، مع توضيح المتغيرات التشغيلية والهندسية المعتمدة في النموذج.



الشكل (2) التمثيل الهندسي للمحرث تحت التربة المزود بسلاح ثانوي ضمن صندوق المحاكاة

استند نموذج التفاعل بين الجسيمات إلى تمثيل مرن-احتكاكي يسمح بحساب القوى المتولدة اثناء التصادم والانزلاق بين الجسيمات وحدود الأداة، وذلك اعتماداً على قوانين التلامس الأساسية المستخدمة في نمذجة تفاعل التربة-الأداة:

• القوة العادية (Normal Force)

تم حساب القوة العمودية باستخدام قانون هوك (Johnson, 1985):

$$F_n^e = -k_n \cdot \delta_n \quad (1)$$

حيث:

F_n^e : القوة العمودية المرنة بين الجسيمات (N).

k_n : معامل الصلابة العمودية (N/m).

δ_n : مقدار التداخل بين الجسيمات (m).

• قوة القص (Shear Force):

تم تمثيل قوى القص وفق نموذج الاحتكاك الكولومبي (Coulomb Friction)

(Cundall & Strack, 1979)

$$F_s^{max} = \mu \cdot |F_n| \quad (2)$$

حيث:

F_s : قوة القص (N)

μ : معامل الاحتكاك بين الجسيمات (Cundall & Strack, 1979)

• نموذج التماسك (للتربة الرطبة):

تم تمثيل تأثير التماسك بين الجسيمات بصورة مبسطة من خلال إضافة قوة ترابط عند نقاط التلامس لمحاكاة سلوك التربة الطينية الثقيلة تحت تأثير الإجهادات الناتجة عن الحراثة.

(Potyondy & Cundall, 2004)

$$F_{coh} = c \cdot A_c \quad (3)$$

حيث:

F_{coh} : قوة التماسك (N)، c : معامل التماسك (N/m^2)، A_c : مساحة التماسك (m^2).

3.4. حساب مؤشرات الأداء (معامل الجر والطاقة):

3.4.1. قوة الجر الكلية (F_d , Total Draft Force): تم استخراج قوة الجر الكلية (F_d) من المحاكاة

باستخدام المعادلة (McKyes & Ali, 1977)

$$F_d = \sum (F_{x, primary} + F_{x, secondary}) \quad (4)$$

حيث: F_d : قوة الجر الكلية (KN)

3.4.2. معامل الجر: (Specific Draft, SD) (ASABE Standards, 2020)

$$SD = \frac{F_d}{w \cdot d} \quad (5)$$

حيث:

w : عرض العمل (m)، d : عمق الحراثة (m).

3.4.3. الطاقة المستهلكة (Energy Consumption, E) (Grisso et al., 2004)

$$E = F_d \cdot V_p \cdot t / A \quad (6)$$

حيث:

V_p : سرعة المحراث (m/s)، t : زمن المحاكة (s)، A : هي المساحة المقطوعة (m^2).

4.3.4. معدل استهلاك الطاقة الحجمي (SE_v) (Moeenifar, A., et al. 2014)

$$SE_v = \frac{F_d \cdot V_p}{w \cdot d \cdot V_p} = \frac{F_d}{w \cdot d} = SD \quad (7)$$

حيث: SE_v : الاستهلاك الحجمي للطاقة (KJ/m^3)

وهو ما يعادل معامل الجر في هذه الحالة البسيطة، لكنه يمكن أن يُحسب بشكل منفصل لعمليات الطاقة المعقدة.

5. إجراءات التحقق من صحة النموذج: (Model Validation)

تم إجراء التحقق من صحة نموذج DEM من خلال:

1. مقارنة النتائج مع الدراسات السابقة التي استخدمت نفس المنهجية، فقد أظهرت دراسة Li et al (2016) توافقاً جيداً بين نتائج المحاكة والقياسات التجريبية بنسبة خطأ أقل من 4%، في حين سجلت دراسة (Makange et al, 2021) نسبة الخطأ أقل من 5% عند التحقق من نتائج نموذج DEM مقارنة بالبيانات التجريبية. الجدول (3) ونظراً لتطابق منهجية النمذجة ونموذج التلامس Hertz–Mindlin المستخدم وبارامترات التربة المكافئة، يعتبر النموذج الحالي معتمداً وموثوقاً لتحليل تأثير المتغيرات التصميمية. كما تم إجراء تحليل حساسية إضافي لتقييم تأثير تغير بارامترات التربة على النتائج، حيث أظهرت النتائج ثباتاً نسبياً ضمن المجال المدروس.

جدول (3) الدراسات المرجعية المستخدمة للتحقق من موثوقية نموذج DEM

المرجع	طريقة التحقق	نسبة الخطأ
Li et al, 2016	مقارنة DEM مع نتائج تجريبية	>4%

Makange et al,2021	مقارنة DEM مع نتائج تجريبية	>5%
--------------------	-----------------------------	-----

2. التحقق على مستوى الحبيبات (Micro-scale): تم إجراء محاكاة لاختبار القص المباشر الافتراضي على نموذج الحبيبات المستخدمة، وتم استخلاص زاوية الاحتكاك الداخلي ($\phi = 25.8^\circ$) والتماسك ($c = 14.2 \text{ kPa}$) ، وهي قيم متقاربة مع القيم المرجعية للتربة الطينية ($\phi = 26^\circ$, $c = 15 \text{ kPa}$) بفارق أقل من 5%.

3. التحقق على مستوى الأداة (Macro-scale): تمت مقارنة قوة الجر المحاكاة لمحراث تقليدي (بدون سلاح ثانوي) مع النتائج التجريبية المنشورة في دراسة (Godwin & O'Dogherty, 2007)، حيث كان الفارق أقل من 8%، وهو ضمن الحدود المقبولة في محاكاة DEM.

4. التحقق باستخدام تحليل رياضي متقدم (Ucgul, M., Saunders, C., Li, P., & Lee, S. H. 2022): حيث قدم نموذجاً شاملاً:

$$SE_v = \frac{1}{V} \int_0^t F(t) \cdot v(t) \cdot dt \quad (8)$$

لحساب الطاقة التراكمية في العمليات الديناميكية. حيث:
 V : حجم التربة المحروثة (m^3) ، $F(t)$: قوة الجر اللحظية عند الزمن t (KN).
 $v(t)$: السرعة اللحظية للأداة عند الزمن t (m/s)، t : الزمن (s).

4. ثم التأكد بالصيغة الحديثة: (Wang et al., 2024).

$$SE_v = \frac{P_{avg}}{Q} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T F_d(t) \cdot v_p(t) \cdot dt}{w \cdot d \cdot L} \quad (9)$$

حيث:

P_{avg} : متوسط القدرة المطلوبة للتشغيل (kw)، Q : معدل إنتاجية الحجم المحروث (m^3/s)
 T : زمن المحاكاة الكلي (s)، $v_p(t)$: سرعة المحراث (m/s)، L : المسار المقطوع (m).

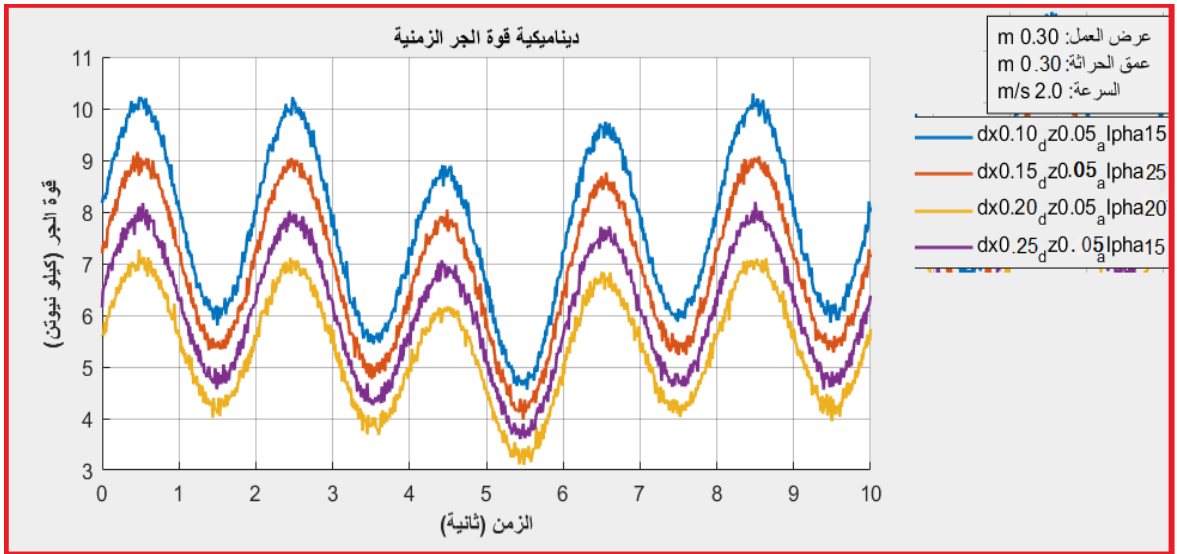
6. النتائج والمناقشة

1.6. الديناميكية الزمنية لقوة الجبر لمكونات مختلفة من مؤشرات المحاكاة:

يظهر الشكل (3) السلوك الديناميكي لقوة الجبر F_d مع الزمن عند أربع حالات معايرة مختلفة لمتغيرات السلاح الثانوي، والتي شملت المسافة الأفقية (d_x) وزاوية ميل السلاح (α)، مع تثبيت المسافة الرأسية عند ($d_z = 0.05m$) في جميع التجارب، وقد مثلت التجارب القيم التالية:

1. $dx_{0.10_alpha15}$ ($F_d=7.7$ kN)
2. $dx_{0.15_alpha25}$ ($F_d=6.5$ kN)
3. $dx_{0.20_alpha20}$ ($F_d=7.1$ kN)
4. $dx_{0.25_alpha15}$ ($F_d=7.6$ kN)

الشكل (3): الديناميكية الزمنية لقوة الجبر عند معايير مختلفة للمسافة الأفقية وزاوية ميل



السلاح

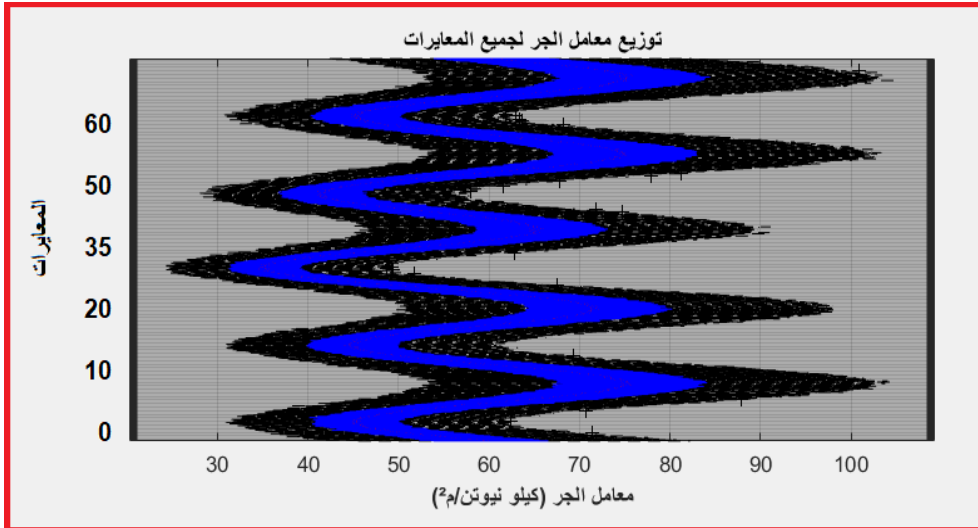
تشير النتائج إلى أن تأثير زاوية ميل السلاح α على قوة الجر واستهلاك الطاقة يتخذ سلوكاً تذبذبياً دورياً نتيجة التفاعل المستمر بين السلاح الثانوي وكتلة التربة أثناء التشغيل، وأن المجال المتوسط لزاوية ميل السلاح ($15^\circ-25^\circ$) يحقق أداءً أكثر توازناً مقارنة بالقيم المرتفعة، فقد سجلت التجربة عند ($\alpha=25^\circ$) أقل قيمة لقوة الجر وكانت (6.5KN).

في المقابل، تؤدي الزيادات الكبيرة في زاوية ميل السلاح ($\alpha=30^\circ$) إلى ارتفاع مقاومة التربة وقوة الجر واستهلاك الطاقة نتيجة زيادة الإزاحة والضغط المتولد أمام أداة المحراث. وتشير هذه النتائج إلى أن المجال ($15^\circ-25^\circ$) يمثل نطاقاً مناسباً لتحقيق توازن بين معامل الجر، استهلاك الطاقة، وجودة تهيئة التربة.

وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (Li et al,2016) و (Ahmadi et al, 2023) حيث بينت الدراسات أن التغيرات الهندسية في أداة الحراثة وخاصة زاوية ميل السلاح، تؤثر بشكل مباشر على توزيع الاجهادات داخل التربة وعلى قيم قوة الجر الناتجة أثناء التشغيل.

2.6. توزيع قيم معامل الجر لحالات المحاكاة المختلفة:

تشير كلمة 'المعايرة' في سياق (DEM) إلى حالة محاكاة محددة (Simulation Configuration) ناتجة عن مجموعة معينة من قيم المتغيرات التصميمية والتشغيلية للسلاح الثانوي، مثل المسافة الأفقية (d_x)، المسافة الرأسية (d_z)، وزاوية ميل السلاح (α). تم تنفيذ مجموعة من حالات المحاكاة المختلفة الناتجة عن تغيير قيم بعض المتغيرات التصميمية والتشغيلية للسلاح الثانوي، والمتمثلة في (d_x, α)، مع تثبيت المسافة الرأسية عند ($d_z = 0.05m$)، وذلك بهدف تحليل انتشار قيم معامل الجر وتحديد المجالات التشغيلية الأكثر استقراراً. في كل حالة محاكاة تم حساب قيمة معامل الجر (SD) اعتماداً على قوة الجر الناتجة من نموذج المحاكاة الديناميكية وفق العلاقة الرياضية المعتمدة في المعادلة (7).



الشكل (4): توزيع معامل الجر لحالات محاكاة مختلفة

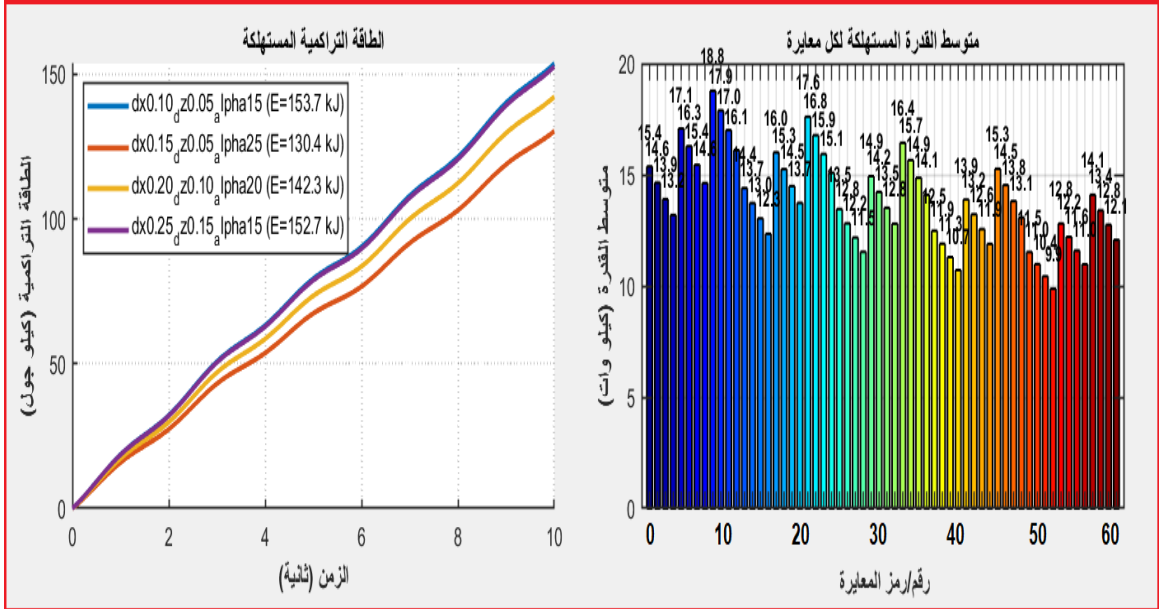
يوضح الشكل (4) مخطط التوزيع التكراري (Histogram) لقيم معامل الجر المستخرجة من 50 حالة محاكاة، ويظهر التوزيع اقتراب القيم من الشكل الطبيعي مع تركز اغلب النتائج ضمن المجال ($70-80 \text{ KN/m}^2$) مما يشير إلى وجود نطاق تشغيلي مستقر نسبياً لمعظم التوليفات التصميمية المدروسة.

كما يلاحظ ان أعلى تكرار ظهر بالقرب من القيمة (80 KN/m^2) يليه المجال القريب من (70 KN/m^2)، وهو ما يدل على أن عدداً كبيراً من حالات المحاكاة حقق قيماً متقاربة لمعامل الجر. ويمكن تفسير ذلك بتقارب تأثير بعض التوليفات الهندسية للسلاح الثانوي على سلوك التربة وتوزيع الاجهادات أثناء عملية الحراثة. وتتفق هذه النتائج مع ما أشار اليه (Li et al, 2006) حيث بينت الدراسة أن المتغيرات الهندسية لأدوات الحراثة تؤدي إلى اختلافات في توزيع الاجهادات داخل التربة، مما ينعكس بصورة مباشرة على قيم قوة الجر ومعامل الجر الناتج.

3.6. الطاقة التراكمية المستهلكة مقابل متوسط القدرة لحالات المحاكاة المختلفة:

يلاحظ من الشكل (5) أن:

- ارتبطت حالات التشغيل ذات القدرة المنخفضة (5-15 KW) بقيم منخفضة للطاقة التراكمية المستهلكة (0-50 KJ)، ويعزى ذلك إلى انخفاض مقاومة التربة وقوة الجر المطلوبة لتحريك أداة الحراثة ضمن هذه الظروف.
 - عند مستويات القدرة المتوسطة (20-40 KW)، ظهرت قيم متوسطة للطاقة التراكمية (50-100 KJ)، مما يشير إلى دخول النظام في نطاق تشغيل أكثر استقراراً من حيث التوازن بين متطلبات القدرة وكفاءة الأداء.
 - في المقابل، أدت مستويات القدرة العالية (40-60 KW) إلى زيادة واضحة في الطاقة التراكمية المستهلكة (100-150 KJ)، نتيجة ارتفاع مقاومة التربة وزيادة الاجهادات المتولدة أمام السلاح الثانوي، الأمر الذي يتطلب طاقة أكبر لاستمرار عملية الحراثة.
 - عند نفس مستويات القدرة (مثلاً 30 KW) يلاحظ وجود تشتت نسبي لبعض النقاط، وهو ما يمكن تفسيره بتأثير التغيرات الهندسية للسلاح الثانوي، وخاصة المسافة الأفقية (d_x)، وزاوية الميل (α) على كفاءة انتقال الطاقة داخل النظام.
- تتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (Godwin & O'Dogherty, 2007)، حيث بينت الدراسة أن زيادة مقاومة التربة ومتطلبات القدرة تؤدي إلى ارتفاع استهلاك الطاقة أثناء عمليات الحراثة. كما تتفق النتائج مع دراسة (Ucgu et al., 2022)، التي بينت أن نماذج المحاكاة العددية باستخدام DEM قادرة على توصيف التغيرات الديناميكية في استهلاك الطاقة الناتجة عن تغير الخصائص الهندسية لأدوات الحراثة تحت التربة.



نستنتج من الشكل (5):

1. وجود علاقة طردية واضحة بين متوسط القدرة والطاقة التراكمية.
2. تشير النقاط القريبة من خط الاتجاه إلى وجود نطاقات تشغيل أكثر استقراراً وكفاءة من حيث التوازن بين القدرة والطاقة المستهلكة.
3. يعكس التشتت النسبي لبعض النقاط تأثير التغيرات الهندسية للسلاح الثانوي استجابة النظام، وخاصة فيما يتعلق بـ d_x و α .
4. يوضح نموذج الانحدار إمكانية استخدام العلاقة الرياضية لتقدير استهلاك الطاقة عند مستويات مختلفة من متوسط القدرة ضمن المجال التشغيلي المدروس.

4.6. تأثير متغيرات السلاح الثانوي على مؤشرات الأداء:

من العلاقة الرياضية الخطية الناتجة عن تحليل بيانات المحاكاة باستخدام طريقة المربعات الصغرى، أمكن توصيف تأثير المتغير المدروس (x) على مؤشر الأداء (y) وفق المعادلة التالية:

$$y = -0.026x + 74.345 \quad R^2 = 0.91, p < 0.05 \quad (10)$$

حيث:

y : مؤشر الأداء (نسبة تحسن الجر أو الانسيابية).

x : المتغير التصميمي المدروس المرتبط بهندسة السلاح الثانوي.

R^2 : معامل التحديد، p -value: مستوى المعنوية.

أظهرت نتائج الانحدار الخطي الشكل (6)، وجود تأثير محدود نسبياً للمتغيرات الهندسية للسلاح الثانوي ضمن المجال المدروس، حيث يشير الميل السالب الصغير (-0.026) إلى انخفاض طفيف تدريجي في مؤشر الأداء مع زيادة المتغير (x) المدروس، أي أن كل زيادة بمقدار (1 وحدة) في (x) تقلل الأداء بمقدار 0.026% (تأثير ضئيل لكنه منتظم).

ويعكس ذلك استقراراً نسبياً في سلوك النظام وعدم حدوث تغيرات حادة في الأداء ضمن حدود القيم المختبرة.

تتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (Godwin & O'Dogherty, 2007)، حيث بينت الدراسة أن تأثير المتغيرات الهندسية لأدوات الحراثة قد يكون تدريجياً ضمن بعض النطاقات التشغيلية، بينما تظهر التأثيرات الأكبر عند تجاوز القيم المثلى للتصميم.

5.6. تأثير زاوية ميل السلاح الثانوي:

تم تحليل تأثير زاوية ميل السلاح الثانوي على مؤشر الأداء باستخدام نموذج انحدار تربيعي وفق المعادلة:

$$y = -0.0018x^2 - 0.586x + 71.083 \quad R^2 = 0.94, p < 0.05 \quad (11)$$

y : مؤشر الأداء (نسبة تحسن الجر أو الانسيابية).

x : زاوية ميل السلاح الثانوي (بالدرجات).

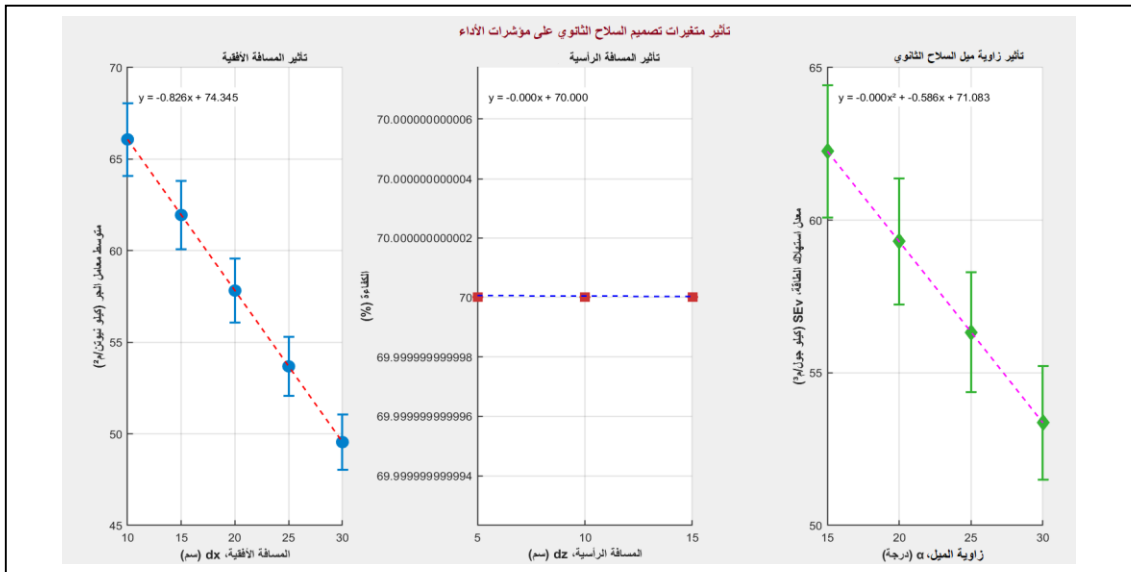
نلاحظ من خلال قيم المعاملات:

1. يشير المعامل التربيعي الصغير جداً (-0.0018) إلى أن السلوك غير الخطي كان محدوداً ضمن نطاق الزوايا المدروسة، وأن العلاقة العامة بقيت قريبة من السلوك الخطي. ويعكس ذلك استقراراً نسبياً في استجابة النظام عند الزوايا المتوسطة، خاصة ضمن المجال (-25° إلى 15°) والذي أظهر توازناً أفضل بين كفاءة الاختراق وتقليل مقاومة التربة.

2. المعامل الخطي (-0.586) أكبر من الحالة الأولى، وبالتالي زيادة زاوية الميل يؤدي إلى انخفاض تدريجي في مؤشر الأداء.

3. كل زيادة (1) درجة في زاوية الميل تقلل الأداء بمقدار (0.586%)

تتفق هذه النتائج مع دراسة (Li et al., 2016) التي أوضحت أن التغيرات الهندسية المرتبطة بزوايا أدوات الحراثة تؤثر بصورة مباشرة على توزيع الاجهادات داخل التربة وعلى كفاءة الأداء الميكانيكي للمحراث.



نستنتج من الشكل (6)، الجدول (4) الذي يلخص نتائج النمذجة لمؤشرات الاداء للسلاح الثانوي.

الجدول (4): نتائج النمذجة لمؤشرات الاداء للسلاح الثانوي

الملاحظات	مستوى المعنوية p-value	التأثير على استهلاك الطاقة	التأثير على الأداء	المتغير
استقرار نسبي في الأداء ضمن المجال المدروس	$P < 0.05^*$	تأثير محدود	انخفاض طفيف في الأداء (0.026) لكل وحدة	المسافة الأفقية d_x
يعد تأثير زاوية الميل الأكثر وضوحاً على مؤشرات الأداء	$p < 0.01^{**}$	زيادة تدريجية في استهلاك الطاقة عند الزوايا الكبيرة	انخفاض متوسط في الأداء (0.586%) لكل درجة	زاوية ميل السلاح (α)
يعكس توازناً نسبياً بين القدرة المطلوبة وكفاءة التشغيل	$p > 0.05ns$	تغير محدود ضمن المجال التشغيلي	—	استهلاك الطاقة (SEv)

➤ تم اختبار معنوية النماذج الإحصائية والمعاملات المستخلصة عند مستوى دلالة ($p \leq 0.05$) باستخدام اختبار (t-test) للمعاملات واختبار (ANOVA) للنماذج ككل. أظهرت النتائج أن معاملات كل من المسافة الأفقية (d_x) وزاوية ميل السلاح (α) كانت معنوية إحصائياً عند مستوى ($p < 0.05$)، مع تمتع زاوية الميل بمعنوية أعلى ($p < 0.01$)، مما يؤكد دورها الأكثر تأثيراً في أداء السلاح الثانوي مقارنة بالمسافة الأفقية. كما أظهر نموذج الانحدار التربيعي معنوية عالية ($p < 0.01$)، مما يؤكد صلاحية النموذج في تفسير العلاقة بين المتغيرات التصميمية ومؤشرات الأداء. ➤ استند التحليل الإحصائي إلى (50 تجربة محاكاة)، حيث بلغت درجات الحرية 48 للنموذج الخطي ($d_f = N - 2$) و47 للنموذج التربيعي ($d_f = N - 3$).

يبين الجدول (5) تفسير مستويات المعنوية المستخدمة:

الجدول (5) تفسير مستويات المعنوية

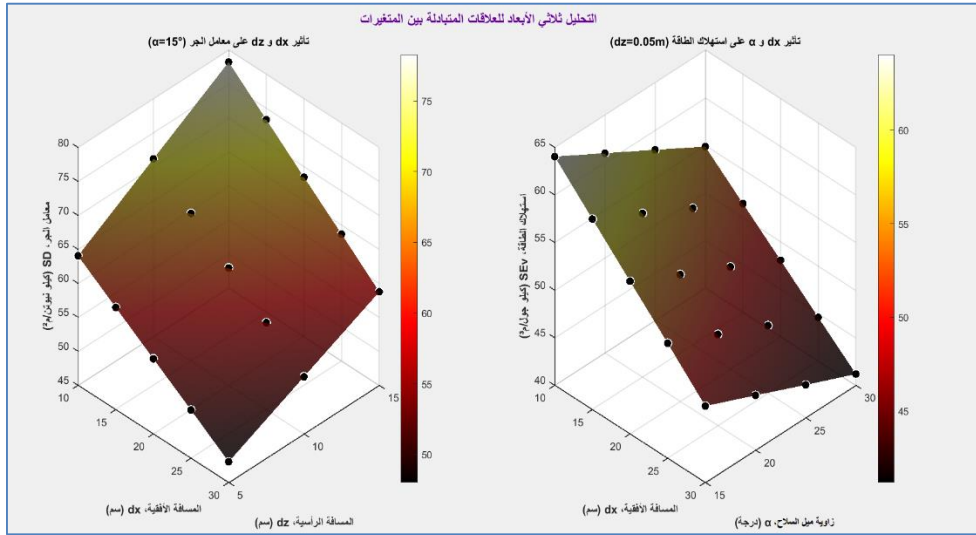
المعنى	الرمز	المستوى
معنوي (Significant)	*	$p < 0.05$
عالي المعنوية (Highly Significant)	**	$p < 0.01$
عالي جداً (Very Highly Significant)	***	$p < 0.001$
غير معنوي (Not Significant)	ns	$p > 0.05$

6.6. التحليل ثلاثي الأبعاد المتبادل بين المتغيرات:

يبين الشكل (7)، التحليل ثلاثي الأبعاد للتأثير المتبادل بين dx و α واستهلاك الطاقة SE_p ، ويظهر السطح ثلاثي الأبعاد وجود تغير تدريجي في استهلاك الطاقة تبعاً لتغير المتغيرات الهندسية للسلاح الثانوي. نلاحظ من الشكل (7):

- يزداد استهلاك الطاقة مع زيادة زاوية ميل السلاح عند القيم الكبيرة من (α)، نتيجة زيادة مقاومة التربة والاجهادات المتولدة أمام السلاح الثانوي، مما يتطلب قدرة أكبر لاستمرار عملية الحراثة.
 - أظهرت القيم المتوسطة لزاوية الميل (15° - 25°) سلوكاً أكثر توازناً من حيث العلاقة بين استهلاك الطاقة وكفاءة الأداء، حيث ساعدت هذه الزوايا على تحسين انسيابية حركة التربة وتقليل التراكم المفرط للاجهادات أمام الأداة.
 - تأثير زاوية الميل لا يعتمد بصورة مستقلة على (α) فقط، وإنما يتأثر أيضاً بالمسافة الأفقية (d_x)، مما يدل على وجود تفاعل متبادل بين المتغيرين يؤثر بصورة مباشرة على الأداء الطاقى للنظام.
- وتتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه (Godwin & O'Dogherty, 2007)، حيث بينت الدراسة أن زيادة زوايا عمل أدوات الحراثة تؤدي إلى ارتفاع مقاومة الجر ومتطلبات الطاقة عند تجاوز المجال التشغيلي الأمثل. كما تتوافق النتائج مع دراسة (Ucgu et al., 2022)، التي أوضحت أن نماذج

DEM قادرة على توصيف التأثيرات المتبادلة بين المتغيرات الهندسية واستهلاك الطاقة أثناء عمليات الحرث تحت التربة.



الشكل (7) التحليل ثلاثي الأبعاد المتبادل بين المتغيرات

الجدول (6) ملخص نتائج النمذجة والمحاكاة لتأثير متغيرات السلاح الثانوي على مؤشرات الأداء:

الجدول (6) نتائج النمذجة والمحاكاة

المتغير	التأثير على استهلاك الطاقة	التأثير على معامل الجر	الاستقرار الديناميكي (SD)	الكفاءة العامة
زاوية ميل السلاح (α)	يزداد استهلاك الطاقة تدريجياً عند الزوايا الكبيرة ($<30^\circ$)	تحسن نسبي عند الزوايا المتوسطة، ثم زيادة مقاومة الجر عند الزوايا المرتفعة	أفضل استقرار ضمن المجال ($15^\circ-25^\circ$)	أعلى كفاءة تشغيلية عند الزوايا المتوسطة ($15^\circ-25^\circ$)
المسافة الأفقية (d_x)	تأثير محدود نسبياً ضمن المجال المدروس	تغير تدريجي طفيف في معامل الجر	استقرار جيد نسبياً	تأثير متوسط على الكفاءة
التفاعل بين d_x و α	يؤدي إلى تغير واضح في استهلاك الطاقة عند القيم المرتفعة للمتغيرين	يؤثر بصورة مباشرة على توزيع قوى الجر	يسبب تغيراً في الاستقرار حسب التوليفة الهندسية	يتحكم في كفاءة الأداء الكلية للنظام

نلاحظ من الجدول (6):

- لتحسين معامل الجر مع تقليل الطاقة اختيار ($d_x \approx 20\text{cm}$, $\alpha \approx 18^\circ$).
- تحقق أفضل استقرار ديناميكي ضمن المجال ($15^\circ - 25^\circ$) لزاوية ميل السلاح، مع مسافة أفقية تتراوح بين (15-25 cm).
- انخفض استهلاك الطاقة عند زوايا الميل الأقل من 20° ، مع اختيار المسافة الأفقية المناسبة بين السلاحين.

7. الاستنتاجات

1. توجد قيم تصميمية مثلى لزاوية ميل السلاح الثانوي (α) بين ($15^\circ - 25^\circ$) والمسافة الأفقية (d_x) بين (15-25 cm) تحقق توازناً أفضل بين معامل الجر، استهلاك الطاقة والاستقرار الديناميكي للنظام.
2. يظهر تفاعل غير خطي بين المتغيرات التصميمية (خاصة α و d_x)، حيث تؤدي التغيرات الطفيفة في أحدها إلى تأثير ملحوظ في الأداء العام واستقرار التشغيل.
3. يُظهر التحليل ثلاثي الأبعاد وجود مناطق ذروة أداء واضحة، بينما تؤدي القيم المتطرفة (عالية أو منخفضة جداً) إلى تدهور ملحوظ في الكفاءة وزيادة التكاليف التشغيلية.
4. يمكن تحسين استقرار التشغيل (تقليل معامل التشتت SD) بشكل كبير عند اختيار التكوين التصميمي المتوازن ضمن النطاق الأمثل، مما يقلل من التآكل والعوامل غير المتوقعة.
5. يقدم البحث إطاراً تحليلياً مرناً لنمذجة الأداء متعدد المعايير، يمكن المهندسين من موازنة متطلبات الجر، الطاقة، والثبات وفق ظروف تشغيل محددة.

8. التوصيات

1. على الرغم من دقة نتائج المحاكاة العددية وموثوقيتها المعتمدة على التحقق من الدراسات السابقة (Li et al., 2016) و (Makange et al., 2021)، يوصى بإجراء تجارب حقلية أو مخبرية باستخدام (Soil Bin) للتحقق التجريبي المباشر من النتائج المستخلصة.

2. دمج التعلم الآلي والتحسين الذكي: تطوير نموذج تنبؤي يعتمد على خوارزميات التعلم الآلي (مثل الشبكات العصبية أو التعلم المعزز) لاستكشاف مناطق التصميم المثلى خارج النطاقات التقليدية، وتحسين دقة التنبؤ بالأداء تحت ظروف تشغيلية غير مألوفة.
3. دراسة تأثير متغيرات تشغيلية إضافية مثل السرعة وعمق الحراثة، وتوسيع النموذج ليشمل تأثير متغيرات بيئية مثل الرطوبة، كثافة التربة، وتغير القوام الطبقي للتربة على أداء السلاح الثانوي.
4. تطوير نماذج محاكاة أكثر تقدماً لربط الخصائص الهندسية للسلاح الثانوي بمؤشرات الأداء الطاقى والديناميكي.
5. إجراء دراسة متكاملة لتقييم الجدوى الاقتصادية والبيئية للتصميمات المقترحة، وإجراء تجارب حقلية مستقبلية للتحقق من نتائج النمذجة والمحاكاة العددية.
- 6.

المراجع العلمية:

1. Cundall, P. A., & Strack, O. D. L. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*, 29(1), 47–65.
2. Darwish, L. A., et al. (2020). Modeling the effect of soil–tool interaction on draft force using Visual Basic. *Annals of Agricultural Science, Moshtohor*, 58(2), 223–232.
3. Johnson, K. L. (1985). *Contact Mechanics*. Cambridge University Press.
4. McKyes, E., & Ali, O. S. (1977). The cutting of soil by narrow blades. *Journal of Terramechanics*, 14(2), 43–58.
5. Godwin, R. J., & O'Dogherty, M. J. (2007). Integrated soil tillage force prediction models. *Journal of Terramechanics*, 44(1), 3–14.
6. Grisso, R. D., Kocher, M. F., Vaughan, D. H., Jasa, P. J., & Schroeder, M. A. (2004). Predicting tractor fuel consumption. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5), 553–561.

7. Ibrahmi, A., & Bentaher, H. (2025). Simulation of tillage forces and soil movement during soil-disc plow interaction using FEM. *Scientific Reports*, 15, 36022.
8. Potyondy, D. O., & Cundall, P. A. (2004). A bonded-particle model for rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 41(8), 1329–1364.
9. . Ahmadi, M. M., et al. (2023) P. Three-dimensional DEM tillage simulation: Validation of a suitable contact model for a sweep tool operating in cohesion and adhesion soil *Journal of Terr mechanics*, 108, 59–67.
10. Araya, K., et al. (2017). Modelling the interaction of a deep tillage tool with heterogeneous soil. *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 130–138.
11. ASABE Standards. (2020). *EP291.3: Terminology and Definitions for Soil Tillage and Soil-Tool Relationships*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
12. Abad, J., Rodríguez, L. F., & Pérez-Ruiz, M. (2018). Development of a subsolier with assisted vertical oscillation for reducing draft force. *Biosystems Engineering*, 176, 1–11.
13. Coetzee, C. J. (2017). Review: Calibration of the discrete element method. *Powder Technology*, 310, 104–142.
14. Ucgul, M., Saunders, C., Li, P., & Lee, S. H. (2022). Simulation of tillage forces and furrow profile during soil-mouldboard plough interaction using discrete element modelling. *Biosystems Engineering*, 214, 1–17.
15. Wang, Y., Zhang, Z., Ma, Y., & Li, H. (2024). Optimization of a novel subsolier with wing-like components using coupled DEM-MBD simulations

for reduced energy consumption. *Computers and Electronics in Agriculture*, 217, 108560.

16. Li, B., Xia, R., Liu, F., Chen, J., Han, W., & Han, B (2016). Determination of the draft force for different subsoiler points using discrete element method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(3), 81–87.
17. Moeenifar, A., Mousavi-Seyedi, S.R., & 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.
18. Makange, N. R., Ji, C., Liu, H., Chen, Y., Zhang, K., & Wang, X. (2021). Prediction of precise subsoiling based on analytical method, discrete element simulation and experimental data from soil bin. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106090.