

اختبار أداء المرش الآلي العمودي المصمم محلياً لرش أشجار البساتين مقارنةً مع أداء المرش التقليدي المحمول

أ. د. محمد غانم*

د. عدنان أحمد**

شذى حسن عيسى***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٧/١٦ . قبل للنشر في ٢٠٢٥/٩/١٠)

□ ملخص □

نفذ البحث في أيار من عام 2025 في منطقة (المشتل الزراعي) بمحافظة طرطوس في بستان لأشجار الحمضيات بعمر سبع سنوات بهدف اختبار أداء المرش الآلي العمودي المصمم محلياً لرش أشجار البساتين مقارنةً مع أداء مرش تقليدي محمول على الجرار، وتم الاختبار بتقييم أداء كل مرش من خلال بعض مؤشرات الأداء، وهي: معدل استهلاك المبيد، وكفاءة استخدام المبيد، والتداخل، والإنتاجية العملية، والكفاءة الحقلية، وقد أظهرت النتائج أن المرش المصمم قد قلل استهلاك المبيد بنسبة تصل إلى (33.3%)، مما رفع من كفاءة استخدامه بنسبة بلغت (68.75%) للمرش المصمم مقارنةً بالمرش التقليدي (32.6%)، وانخفض التداخل بنسبة وصلت إلى (10%) للمرش المصمم محلياً مقارنةً بنسبة التداخل للمرش التقليدي والتي بلغت (35%)، وبلغ متوسط إنتاجية المرش المصمم محلياً (140 tr/h) وللمرش التقليدي (120 tr/h)، وهذه النتائج تظهر أن المرش المصمم يقدم أداءً محسناً من حيث تقليل الفاقد في الرش، وزيادة الإنتاجية وتحسين كفاءة استهلاك المبيد، مما يجعله أكثر ملائمة للاستخدام في البساتين مقارنةً بالمرش التقليدي.

الكلمات المفتاحية: مرش آلي عمودي، مرش تقليدي محمول، معدل الاستهلاك، الإنتاجية.

* أستاذ، قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.

** أستاذ مساعد، قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.

*** طالبة دراسات عليا (دكتوراه)، قسم المكننة الزراعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.

Performance testing of a locally designed vertical automatic sprinkler for spraying orchard trees compared with the performance of a conventional tractor-mounted sprinkler.

Dr. Mouhammad Ghanem *

Dr. Adnan Ahmad**

Shaza Hasan Issa***

(Received 16/7/2025 . Accepted 10/9/2025)

□ ABSTRACT □

The research was carried out in May 2025 in the (Agricultural Nursery) area in Tartous Governorate in a seven-year-old citrus orchard with the aim of testing the performance of the locally designed vertical automatic sprinkler for spraying orchard trees compared to the performance of a conventional tractor-mounted sprinkler. The test was carried out by evaluating the performance of each sprinkler through some performance indicators, namely: pesticide consumption rate, pesticide use efficiency, overlap, practical productivity, and field efficiency. The results showed that the designed sprinkler reduced pesticide consumption by up to (33.3%), which increased its use efficiency by (68.75%) for the designed sprinkler compared to the conventional sprinkler (32.6%). The overlap decreased by up to (10%) for the locally designed sprinkler compared to the overlap ratio for the conventional sprinkler, which reached (35%). The average productivity of the locally designed sprinkler was (140 tr/h) and for the conventional sprinkler (120 tr/h). These results show that the designed sprinkler provides improved performance in terms of reducing spraying losses and increasing Productivity and improved pesticide consumption efficiency, making it more suitable for use in orchards compared to traditional sprayers.

Keywords: Vertical automatic sprayer, traditional portable sprayer, consumption rate, productivity.

***Professor**, Department of Mechanical Agricultural Machinery, Faculty of Technical Engineering. Tartous University. Tartous. Syria.

****Assistant Professor**, Department of Mechanical Agricultural Machinery, Faculty of Technical Engineering. Tartous University. Tartous. Syria

*** **Postgraduate Student**, Department of Mechanical Agricultural Machinery, Faculty Of Technical Engineering. Tartous University. Tartous. Syria.

المقدمة:

يعد رش المبيدات من العمليات الزراعية الأساسية في بساتين الحمضيات، لما لها من دور مهم في الوقاية من الآفات وتحقيق إنتاجية وجودة عالية للمحصول، ومع ذلك فإن تقنيات الرش التقليدية، كالمرشات الظهرية أو المثبتة على الجرار، لا تزال تعاني من محدودية في كفاءتها، بسبب عدم قدرتها على التكيف مع الأشكال المتنوعة والمتغيرة لتيجان الأشجار، إن هذه المرشات غالباً ما تستخدم بطريقة ثابتة الاتجاه، مما يؤدي إلى تداخل بين مخاريط الرش وفقدان كميات كبيرة من المبيد سواء على الأرض أو في الهواء (Gil et al., 2007)، إلى جانب تغطية غير متجانسة للتاج خصوصاً في حال وجود اختلاف في الكثافة أو الارتفاع بين الأشجار (Lorens et al., 2010). تؤدي هذه التحديات إلى زيادة استهلاك للمبيدات، ارتفاع التكلفة، وتراجع كفاءة الرش الحقلية، بالإضافة إلى التأثير البيئي والصحي الناتج عن تطاير الرذاذ (Zhu et al., 2004)، وهذا ما يستدعي إيجاد حلول تقنية بديلة أكثر كفاءة ومرونة.

الدراسات المرجعية

حيث استخدمت العديد من الدراسات تقنيات مختلفة ومتعددة بهدف تحسين كفاءة عمليات الرش في البساتين حيث قام (Khot, et al., 2012) بتطوير آلة رش مدعومة بالهواء للتحكم في الهواء الخارج من آلة الرش مما يساعد القطرات على التغلغل بين الأوراق والفروع، في حين أن هناك أشجار تتطلب حجماً أقل من الهواء لتقليل الانجراف المحتمل للرذاذ، مما أدى إلى محدودية استخدام هكذا أنواع من المرشات كونها تتطلب أنواعاً خاصة من الأشجار، لكنها قللت من معدل استهلاك المبيد بنسبة تصل إلى (71%) في مزارع الكروم. وطور (Martin, et al., 2017) نظام محوري لرش المبيدات والماء في البساتين والحقول، وبينت النتائج أن هذا النظام يوفر من استهلاك المبيدات بنسبة تصل إلى (85%) كما يقلل من تضرر المحصول، وقام (Li, et al., 2018) بتصميم وتجربة آلة رش البساتين ذات معدل متغير بالاعتماد على الليزر (أجهزة استشعار المساحة)، وأظهرت النتائج أنه في المتوسط تم تطبيق (46%) أقل من محلول الرش في بساتين التفاح مقارنة بالمرشات التقليدية. وبين الحلفي (2005) أن أجهزة الرش التقليدية المحمولة على الظهر أو العاملة بالبنزين تؤدي إلى هدر كبير في المبيدات نتيجة الرش العشوائي وغير الموجه مما يؤدي لضياع كميات كبيرة من المبيدات على الأرض أو في الهواء فضلاً عن الأثر البيئي السلبي لهذه المبيدات. كما درس (Wang, et al., 2021) تأثير نوع الفوهة في أداء مرشات البساتين، حيث تم استخدام نوعين من الفوهات المسطحة المروحية والمخروطية، وبينت النتائج أن الفوهات المسطحة تعطي تغطية أفضل وتوزيعاً موحداً على تاج الشجرة بأكمله مقارنةً بالفوهة المخروطية في بساتين التفاح. كما أجرى (Nasreen, et al., 2024) تحليلاً شاملاً لمعايير التصميم والتشغيل لمعدات وقاية النباتات مع التركيز على عوامل ضغط التشغيل (نوع الفوهة، كثافة الموائع، اللزوجة) باستخدام برنامج محاكاة وقد بينت نتائج الدراسة أن الفوهة المسطحة المروحية تعطي معدل رش (0.223-0.254L/min) عند مجال ضغط (1-3 bar)، والفوهة المخروطية (0.222-0.359 L/min) عند مجال ضغط (1-3 bar)، كما كان ارتفاع الرش للفوهة المسطحة المروحية (0.254-0.385 m) وللمخروطية (0.372-0.558m) مع زيادة الضغط، كما أن حجم قطرات الرش انخفض مع زيادة الضغط للفوهة المسطحة المروحية من (284

(mc) إلى (263 mc)، ولفوهة المخروطية من (336 mc) إلى (278 mc) كما أن زاوية الرش ازدادت للفوهتين بزيادة الضغط للفوهتين المسطحة المروحية والمخروطية.

مشكلة البحث وأهميته:

على الرغم من دقة الأنظمة المستخدمة في الرش، لكنها غالباً ما تتطلب انتظاماً واضحاً بأشكال تيجان الأشجار والمسافات فيما بينها مما يحد من فعاليتها في البساتين العشوائية، كما أنها تعتمد على فوهات رش ذات اتجاهات ثابتة وموزعة على أذرع رش مما يزيد من التداخل بين مخاريط الرش وكمية استهلاك المبيد، كما وترتفع التكاليف التشغيلية للجهاز ويجعل صيانته أقل مرونة، كما إن المرشات التقليدية المستخدمة محلياً تعتمد على العامل في توزيع المبيد والتحكم باتجاه الرش مما يسبب ضياعاً كبيراً في كمية المبيد المستهلك ويؤدي إلى ضرر بيئي وصحي على البيئة و العامل أيضاً، ومن هنا جاءت أهمية البحث بتقييم كفاءة نموذج مرش آلي عمودي مصنّع محلياً بحيث يلائم البيئة الزراعية المحلية ويقلل من جهد العامل ويتيح تغطية دقيقة جيدة لتاج الشجرة بكفاءة مقبولة وتداخل أقل ويمكن استخدامه في الحقول منتظمة أو غير منتظمة الزراعة، مما يسهل من عملية الرش ويحسن من كفاءتها وهذا يقلل من هدر المبيدات ويزيد من الكفاءة الإنتاجية لعملية الرش.

أهداف البحث:

بعد تصميم النموذج الأولي للمرش الآلي العمودي لرش أشجار البساتين والذي يعمل بفوهة واحدة (تركز الرش نحو المجموع الخضري). هدف البحث إلى:

1- اختبار أداء نموذج المرش المصمّم محلياً وتقييم الأداء العملي له من حيث كمية المبيد المستهلكة، كفاءة التغطية، التداخل، الإنتاجية.

2- مقارنة كفاءة استخدام المبيد ومقدار التداخل والإنتاجية بين النموذج المصمّم والمرش التقليدي المستخدم محلياً في بساتين الأشجار المثمرة.

الدراسة العملية

1- مواد العمل:

1- نموذج المرش المصمّم (فوهة رش مخروطية، مؤقت زمني، مضخة (2000 r.p.m) مزوّد

بمحرك

باستطاعة (2.4 kw) كما يوضح الشكل (1).



الشكل (1) نموذج المرش المصمم

آلية عمل المرش

تعتمد آلية عمل المرش المصمم على وجود خزان سعته (25 L) مثبت على قاعدة مثبتة على جرار زراعي نوع (فرات) كما يبين في الشكل (2)، يضخ منه المبيد مباشرةً عبر أنبوب الرش بواسطة مضخة (2000 r.p.m) مبنية في الشكل (3)، نحو فوهة رش مخروطية مركبة على ذراع متحرك، تتحكم محركات كهربائية تدار بواسطة أزرار تشغيل بحركة الذراع أفقياً وعمودياً، مما يسمح بتوجيه الرش نحو تاج الشجرة، ويستخدم مؤقت زمني الشكل (4) لضبط زمن الرش وضمان تغطية متجانسة.



الشكل (4) مؤقت زمني



الشكل (3) مضخة مكبسية



الشكل (2) جرار زراعي نوع فرات

2- مرش تقليدي محمول على الجرار كما يوضح الشكل (5).



الشكل (5) مرش تقليدي

3- الأدوات المستخدمة بالقياس (ميكاتية لقياس الزمن، أكواب لجمع الرذاذ، أوعية لقياس التدفق، مقياس ضغط).

4- المبيد الزراعي: حيث استخدم مبيد من نوع (دلتا مثرين) (Decis 2.5 EC) وهو مبيد حشري ذو خصائص واضحة في التغطية والالتصاق وعدم السمية العالية يحتوي على (2.5%) من مادة دلتا مثرين الفعالة، يذاب بالماء ويستخدم بمعدل (0.1-1.5 mL/L) حسب نوع الآفة.

مكان وطريقة إجراء التجربة:

تم تنفيذ التجارب في بستان الحمضيات الواقع في (المشمل الزراعي - طرطوس) مساحته (0.5 h)، مزروع بأشجار يرتقال من الصنف (Wahington Navel) على صفوف منتظمة بمسافة (5m) بين الصفوف، وبمسافة (4m) بين الأشجار ضمن الصف الواحد وهو من النوع الشائع محلياً وأشجاره متقاربة بالشكل والحجم (بمتوسط ارتفاع وعرض تاج 2m) كما يبين الشكل (6).



الشكل (6) بستان الحمضيات الذي أجريت فيه التجربة

تم تنفيذ تجربة الرش باستخدام النموذج المصمم المحمول على الجرار. نفذت التجربة على سرعة عمل (2 km/h) بحيث يتوقف الجرار أمام كل شجرة للتحكم بعملية الرش بشكل دقيق وفعال، تم الحفاظ على مسافة وسطية (2 m) بين مركز المرش ومحور جذع الشجرة خلال عملية الرش، بما يتناسب مع عرض التاج في الأشجار، وذلك لتحقيق تغطية مناسبة وفقاً لمتطلبات الرش الموضعي.

تم إجراء التجربة على ثلاثين شجرة حمضيات، قسمت إلى ستة تكرارات، بحيث تضم كل وحدة تجريبية (تكرار) خمس شجرات، وتم تطبيق معايير التقييم (معدل استهلاك المبيد، كفاءة استخدام المبيد، الإنتاجية) في كل وحدة تجريبية بشكل مستقل، ثم تم حساب متوسط القيم النهائية من خلال تحليل نتائج التكرارات الستة، في حين خضعت جميع الأشجار إلى نفس الظروف البيئية ونوع المبيد وطريقة المعاملة لضمان دقة التقييم لأداء المرش المصمم وكفاءته في ظروف حقلية واقعية، تم تحليل النتائج باستخدام برنامج SPSS لتقييم أداء المرش

المصمم ومقارنة الفروق، واعتمد اختبار LSD لأجل ذلك، ومن ثم تمت مقارنة النموذج المصمم مع مرش تقليدي كونه شائع الاستخدام في البساتين المحلية وهو المرش المعتمد فعلياً لدى معظم المزارعين وهذا ما أكد الباحثون (معلا وآخرون 1988) بغرض أن تكون هذه المقارنة مؤشراً علمياً واضحاً لقيمة التحسين الذي يمكن أن يقدمه المرش المصمم، مقارنةً بالوضع الواقعي القائم، وليس مع أنظمة متقدمة قليلة الاستخدام أو مرتفعة التكاليف لا تستخدم محلياً على نطاق واسع. تمت عملية الرش لكل شجرة على حدة، مع تزويد المرش المصمم بمؤقت زمني لضبط فترة رش كل شجرة بشكل منفصل، لتحقيق تحكم زمني ثابت يتوافق مع حجم التاج النباتي وسرعة تغطية الفوهة، خاصةً أن تيجان الأشجار في البستان المدروس كانت شبه منتظمة بالحجم والتوزيع، كما إنه يوقف الرش بين شجرتين، مما يمنع استمرار عملية الرش ويقلل الهدر ويساعد على تحسين الأداء في البساتين المنتظمة (بضبط الزمن الموحد)، وفي غير المنتظمة (بتقليل الفقد بين الأشجار).

استُخدم مبيد من نوع (دلتا مثرين)، ونفذت التجربة تحت ظروف مناخية مستقرة نسبياً، حيث بلغت درجة الحرارة (21c)، وسرعة الرياح (1-2 m/sec)، وهي ظروف مناسبة للرش وتقلل من الانجراف الهوائي للمبيد، مما يسمح بتقييم أداء المرش بدقة أفضل.

مؤشرات اختبار الأداء المدروسة:

1- معدل تدفق الفوهة (Flow Rate):

تم تشغيل المرش عند ضغط تشغيل محدد ولفترة زمنية محددة (دقيقة)، تم وضع وعاء مدرج تحت الفوهة ثم تم قياس حجم المبيد الخارج من المرش خلال وحدة الزمن وحسب معدل تصريف الفوهة من العلاقة (Li, et al., 2018):

$$q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

حيث أن:

V: حجم المبيد الخارج من فوهة المرش (L).

t: وحدة الزمن (sec).

2- معدل استهلاك المبيد: (Derksen et al., 2007)

حُسب بدلالة كمية المبيد المفقودة أو المنصرفة من الخزان أثناء التجربة ويعطى من العلاقة:

$$Qq = V_{before} - V_{after} \quad (2)$$

حيث أن:

V_{before}: كمية المبيد في الخزان قبل الرش (L).

V_{after}: كمية المبيد في الخزان بعد الرش (L).

وبالتالي تحسب كمية المبيد اللازمة لرش شجرة واحدة من العلاقة:

$$Q = \frac{Qq}{N} \quad (3)$$

حيث أن:

Qq: كمية المبيد المستهلكة الكلية (L/tr).

N: عدد الأشجار .

3- كفاءة استخدام المبيد (*Spray Efficiency*): (Derksen et al., 2007)

وُزعت أكواب بين أوراق الشجرة في مستويات مختلفة (علوي، سفلي، وسطي)، وبعد عملية الرش، جُمع المحلول المترسب داخل الأكواب، حاصل جمع هذه الكمية يمثل الكمية الفعلية المترسبة على التاج (Qn) وتُحسب من العلاقة:

$$Qn = \sum_{i=1}^n qi \quad (4)$$

حيث أن:

qi : كمية المبيد المترسب في الكوب رقم i (L).

n : عدد الأكواب الموضوعة على الشجرة.

وتحسب كفاءة استخدام المبيد من العلاقة:

$$SE\% = \frac{Qn}{Q} \quad (5)$$

حيث أن:

Qn : كمية المبيد التي تصل فعلياً لتاج الشجرة (L).

Q : معدل استهلاك المبيد (L/tr).

4- نسبة التداخل (*Overlap Rate*) أو الفقد الكلي: (Grella et al., 2017)

$$Intra - tree overlap = \frac{\sum (\min(Qi; Qi+1))}{\sum Qi} \quad (4)$$

حيث أن:

Intra-tree overlap: نسبة الجزء المتداخل (الكمية المشتركة بين الأكواب المتجاورة إلى إجمالي الكمية

المجمعة في كل الأكواب) (%).

Qi : كمية المبيد في الكوب رقم i (L).

$Qi+1$: كمية المبيد في الكوب المجاور له مباشرة (L).

$\min(Qi, Qi+1)$: القيمة الأصغر بين الكوبين المتجاورين (L).

5- إنتاجية الآلة:

وتمثل عدد الأشجار المكافحة فعلياً في واحدة الزمن (الحلبي 2005)

$$p = \frac{N*3600}{t} \quad (5)$$

حيث أن:

P : إنتاجية المرش الفعلية (Tr/h).

N : عدد الأشجار المكافحة في كل معاملة (tr).

T : الزمن الفعلي اللازم لمكافحة الأشجار في كل معاملة (h).

النتائج والمناقشة:

1- معدل تدفق الفوهة للمرش المصمم:

تم استخدام فوهة مخروطية بزاوية (26°) لأنها من الفوهات المنتشرة محلياً وتستخدم في رش أشجار البساتين (Nasreen et al., 2024) عند عدة ضغوط رش (1, 3, 5, bar) وتكرار كل تجربة ثلاث مرات وأخذ القيم المتوسطة للمكررات الثلاثة، لأن توصيات منظمة الزراعة الأمريكية (Lavers et al.; 2001) تشير أن الضغوط بين المجال (1-4 bar) مناسبة للرش الموجه في البساتين، حيث لا تستخدم ضغوطاً عالية جداً لضمان التحكم بعملية الرش والتقليل من انجراف المبيد، وتم تسجيل النتائج التالية:

الجدول (1) معدل تدفق الفوهة بالعلاقة مع ضغط الرش وعمق نصف تاج الشجرة

زاوية الرش للفوهة المخروطية	ضغط الرش (bar)	معدل تدفق الفوهة (q) (L/sec)	عمق الرش (m)
26°	1	0.097	0.38
	3	0.135	0.97
	4	0.164	1.94

ومن الجدول (1) نجد أن فوهة الرش بزاوية (26°) عندما تكون على مسافة تقريبية (0.45 m) من تاج الشجرة (تيجان الأشجار متقاربة بالحجم والكثافة في البستان عند إجراء التجربة) عند ضغط (3 bar) تنتج معدل تدفق يعادل القيمة (0.135 L/Sec)، وهو متوافق مع الخصائص الهيدروليكية للفوهة المخروطية، وهذا التدفق ساعد على إنتاج قطرات متوسطة الحجم (150-250 mec) وهو النطاق الذي يوصى به لرش أشجار متوسطة الكثافة (Privitera et al., 2023)، كما أن هذا الضغط يضمن وصول المبيد إلى كافة أجزاء تاج الشجرة ويصل إلى عمق رش تقريباً (0.97 m) ويحقق أفضل كفاءة رش. وهذا أيضاً ما أشارت إليه نتائج النمذجة حيث كانت قيمة معدل تدفق الفوهة (0.14 L/sec) عند فوهة بزاوية رش (26°) وضغط (3 bar) وعمق رش (1 m) (عيسى وآخرون 2025). ليكون فارق الخطأ (3%) وهي ضمن المجال المسموح به للخطأ.

2- معدل استهلاك المبيد وكفاءة استخدام المبيد:

تم قياس معدل استهلاك المبيد لكل شجرة، وتحديد الكمية الفعلية من المبيد التي وصلت للتاج وتسجيل النتائج

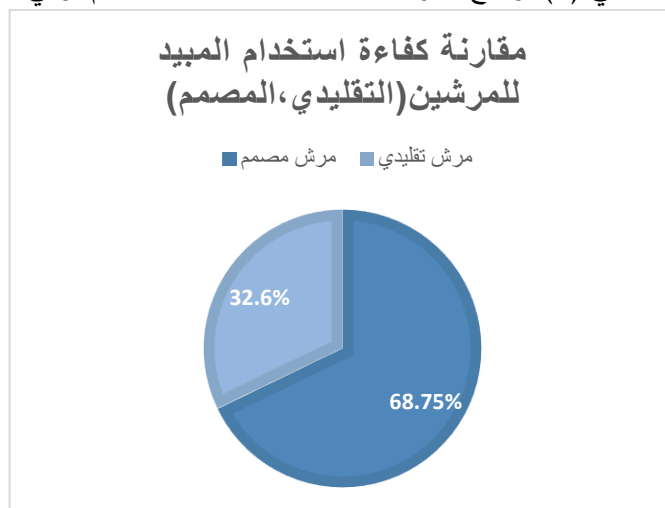
التالية:

الجدول (2) معدل استهلاك المبيد وكفاءة استخدام المبيد للمرشين (التقليدي، المصمم)

رقم المعاملة	عدد الأشجار	متوسط معدل استهلاك المبيد لكل معاملة للمرش المصمم (L/tr)	متوسط معدل استهلاك المبيد لكل معاملة للمرش التقليدي (L/tr)	متوسط نسبة التوفير في استهلاك المبيد	متوسط كمية المبيد الفعلية الواصلة للتاج لكل معاملة للمرش المصمم (L/tr)	متوسط كمية المبيد الفعلية الواصلة للتاج لكل معاملة للمرش التقليدي (L/tr)
1	5	3.1	4.7	33.3%	2.3	1.2
2	5	3.2	5		2.2	1.4
3	5	3.2	4.9		2.3	1.3

1.4	2.2		5.2	3.1	5	4
1.7	2.3		4.9	3.1	5	5
1.2	2.2		4.1	3.4	5	6
1.4	2.2		4.8	3.2		القيمة المتوسطة للمعاملات الستة

من الجدول (2) نجد أن متوسط معدل استهلاك المبيد في المرش التقليدي ($4.8L/tr$) كان أعلى مقارنةً بالمرش المصمم ($3.2L/tr$)، ويعزى ذلك إلى طبيعة عمل المرش التقليدي الذي يفتقر إلى التوجيه الدقيق لفوهات الرش ويعتمد على تحكم العامل بالرش، حيث يتم توزيع المبيد على مساحة واسعة دون تركيز مباشر على تاج الشجرة. مما يؤدي لزيادة التداخل في تاج الشجرة كما إن جزءاً كبيراً من المبيد يتعرض للتطاير أو التساقط خارج محيط تاج الشجرة، الأمر الذي يستدعي زيادة الكمية الكلية المستهلكة لضمان وصول حد أدنى من المبيد إلى التاج، بالمقابل فإن المرش المصمم يعتمد على فوهة تتحرك لتغطي التاج بشكل مركّز، مما قلل بشكل ملحوظ من كمية الفاقد والتداخل داخل تاج الشجرة، وزاد من الكمية الفعلية الواصلة إلى أجزاء التاج المختلفة. وبالتالي انعكس ذلك في انخفاض معدل استهلاك المبيد بنسبة تصل إلى (33.3%) مع تحسن واضح في كفاءة الاستخدام بنسبة بلغت (68.75%) مقارنةً ب (32.6%) للمرش التقليدي، وهذا يتفق مع ما أشار إليه الباحث (*et al., Hong 2018*). والمخطط البياني (1) يوضح مقارنة كفاءة استهلاك المبيد باستخدام نوعي المرشات.



المخطط البياني (1)

3- نسبة التداخل (Overlap):

تم قياس مقدار التداخل في توزيع الرش داخل تاج الشجرة الواحدة وبين الأشجار المتجاورة على نفس الصف باستخدام طريقة الأكوام المثبتة على مسافات محددة، بالاستناد إلى ما ورد في الدراسات ذات الصلة (Zhu et al., 2004; Gil et al., 2007)، وتسجيل النتائج التالية:

الجدول (3) نسبة التداخل داخل الشجرة وبين الأشجار للمرشين (المصمم، التقليدي)

رقم المعاملة	عدد الأشجار	متوسط نسبة التداخل داخل الشجرة للمرش المصمم (%)	متوسط نسبة التداخل داخل الشجرة للمرش التقليدي (%)	متوسط نسبة التداخل بين الأشجار للمرش المصمم (%)	متوسط نسبة التداخل بين الأشجار للمرش التقليدي (%)
1	5	26	55	12	31
2	5	25	56	10	30
3	5	28	50	9	28
4	5	23	60	11	40
5	5	26	50	8	39
6	5	28	59	10	42
القيمة المتوسطة للمعاملات الستة		25	55	10	35

من الجدول (3) نجد أن متوسط نسبة التداخل داخل الشجرة في المرش المصمم (25%) هي نسبة مقبولة وفقاً لما أشار الباحث (Womac et al., 2001)، ويعزى ذلك إلى آلية الرش الموجهة والمتحكم بها ميكانيكياً، (عرض الرش واتجاه الرش يبقى ثابت) بحيث تغطي الفوهة فقط التاج المطلوب وتتفق هذه النتائج مع ما ورد في الدراسات (Zhu et al., 2004; Gil et al., 2013). أما نسبة التداخل في المرش التقليدي فكان (55%) نتيجة التكرار في توجيه الفوهة يدوياً، مما يؤدي إلى زيادة التداخل وعدم تجانس الرش ضمن تاج الشجرة. وبلغ متوسط التداخل بين الأشجار للمرش المصمم (10%) نظراً لتثبيت الفوهة على ذراع يتبع أبعاد التاج عرضياً وعمودياً بالإضافة إلى الحركة الموجهة للفوهة وإيقاف الرش بين الأشجار، بينما في المرش التقليدي بلغت نسبة متوسط التداخل (35%)، نتيجة لطبيعة حركة العامل أثناء الرش، حيث يتم توجيه الفوهة يدوياً بشكل عام وغير دقيق، مما يؤدي إلى تناثر المبيد نحو الأشجار المجاورة، وخاصةً في البساتين ذات المسافات الزراعية غير المنتظمة وهذا يتفق مع ما أكده الباحث (Gil et al., 2013) أن الرش الموجه يقلل التداخل بنسبة (50-70%) مقارنةً بالرش اليدوي

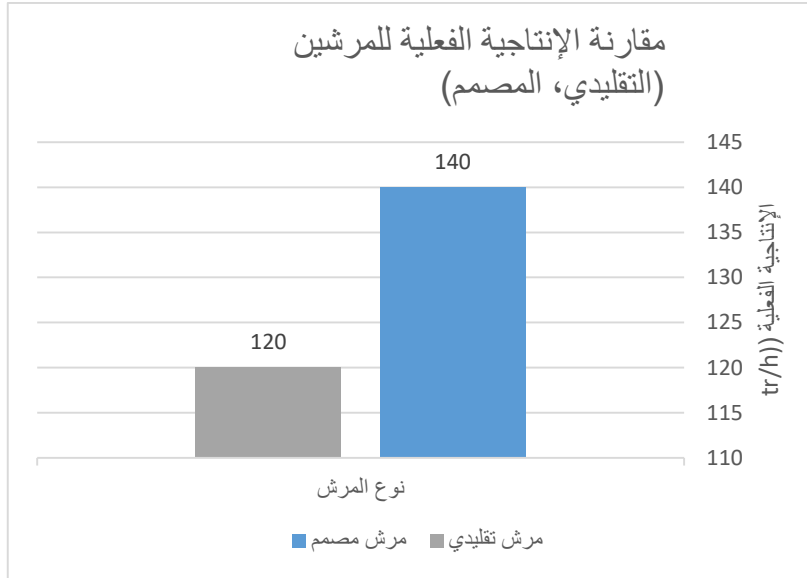
4-الإنتاجية العملية وزمن رش الشجرة الواحدة:

تم قياس زمن رش الشجرة عملياً باستخدام ساعة توقيت وتحديد عدد الأشجار التي يمكن رشها فعلياً في واحدة الزمن لحساب الإنتاجية العملية لكل من المرشين، وتسجيل النتائج التالية:

الجدول (4) الإنتاجية العملية وزمن رش الشجرة للمرشين (المصمم، التقليدي)

رقم المعاملة	عدد الأشجار	متوسط زمن رش الشجرة للمرش المصمم (sec)	متوسط زمن رش الشجرة التقليدي (sec)	متوسط الزمن الكلي لرش الأشجار للمرش المصمم (sec)	متوسط الزمن الكلي لرش الأشجار التقليدي (sec)	الإنتاجية للمرش المصمم (Tr/h)	الإنتاجية للمرش التقليدي (Tr/h)
1	5	26	25	127.4	149	141	121
2	5	25	26	128.5	142	140	127
3	5	26	28	129.4	148	139	122
4	5	27	23	128.5	156	140	115
5	5	27	26	127.4	150	141	120
6	5	26	28	127.4	155	141	116
القيمة المتوسطة للمعاملات الستة		25.5	25	128.4	150	140	120

من الجدول (4) نجد أن متوسط زمن رش الشجرة الواحدة للمرش المصمّم أطول بقليل نسبياً مقارنةً بالمرش التقليدي فإن الفارق يعود إلى وجود أكثر من حركة ميكانيكية بالمرش المصمم كما إن فوهة الرش تركز الرش نحو تاج الشجرة وترش بزوايا متوسطة نسبياً، حيث يهدف التصميم إلى خفض معدل استهلاك المبيد وتقليل الهدر في عملية الرش، كما أن الدراسة المرجعية التي قام بها (Chen et al., 2019) أشارت إلى أن زيادة زمن الرش تكون مقبولة إذا ترافق ذلك في تحسين كفاءة التغطية وتقليل الفاقد من محلول الرش، وعلى الرغم من ذلك كان متوسط إنتاجية المرش المصمّم (140 tr/h) أعلى من متوسط إنتاجية المرش التقليدي (120 tr/h)، ويعود ذلك إلى تنظيم حركة الفوهة التي تركز على تاج الشجرة، مما وفر توزيعاً أكثر تجانساً للمبيد، وقلل الحاجة إلى التوقف أو التعديل اليدوي مما ينعكس على كفاءة أداء الآلة وهذا ما أكدته الباحثة (Sedlar et al., 2013) بأن الإنتاجية العملية تعتمد على عدة عوامل غير زمن رش الشجرة (تقليل الهدر، تحسين التغطية، انتظام الرش، وضبط زاوية الفوهة، ومعدل التدفق، وضغط الرش) وتؤثر في الأداء الكلي للآلة. والمخطط البياني (2) يوضح مقارنة بين الإنتاجية الفعلية للمرشين.



المخطط البياني (2)

التحليل الإحصائي باستخدام التباين الأحادي لمقارنة أداء المرش المصمم مع المرش التقليدي استنادا إلى المؤشرات المدروسة تم تسجيل النتائج التالية:

1- معدل استهلاك المبيد:

الجدول (1) تحليل التباين الأحادي لمقارنة معدل استهلاك المبيد بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.680	1	7.680	93.659	.000
Within Groups	.820	10	.082		
Total	8.500	11			

2- كمية المبيد الفعلية الواصلة للتاج:

الجدول (2) تحليل التباين الأحادي لمقارنة كمية المبيد الفعلية الواصلة للتاج بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
كمية المبيد الفعلية الواصلة للتاج					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.253	1	2.253	58.276	.000
Within Groups	.387	10	.039		
Total	2.640	11			

3- زمن رش الشجرة:

الجدول (3) تحليل التباين الأحادي لمقارنة زمن رش الشجرة بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
زمن رش الشجرة					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.000	1	3.000	.385	.549
Within Groups	78.000	10	7.800		
Total	81.000	11			

4- إنتاجية المرش:

الجدول (4) تحليل التباين الأحادي لمقارنة الإنتاجية بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
إنتاجية المرش					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1200.000	1	1200.000	95.491	.000
Within Groups	125.667	10	12.567		
Total	1325.667	11			

5- التداخل داخل الشجرة:

الجدول (5) تحليل التباين الأحادي لمقارنة التداخل داخل الشجرة بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
التداخل داخل الشجرة					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2523.000	1	2523.000	229.364	.000
Within Groups	110.000	10	11.000		
Total	2633.000	11			

6- التداخل بين الأشجار:

الجدول (6) تحليل التباين الأحادي لمقارنة التداخل بين الأشجار بين المرش المصمم والتقليدي

ANOVA					
الأشجار بين التداخل					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1875.000	1	1875.000	98.684	.000
Within Groups	190.000	10	19.000		
Total	2065.000	11			

أظهرت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين المؤشرات المدروسة حيث كانت قيمة $(0.05 > sig)$ مما يثبت تفوق المرش المصمم في هذه المؤشرات بالمقارنة مع المرش التقليدي [3] في حين كانت قيمة $(0.05 < sig)$ عند زمن رش الشجرة مما يعني عدم وجود فروق معنوية بين المرشين التقليدي والمصمم (المرشان متقاربان بالأداء).

الاستنتاجات:

أظهرت نتائج الدراسة التجريبية فعالية المرش الآلي العمودي المصمم مقارنةً بالمرش التقليدي من خلال المؤشرات المدروسة. إذ حقق النتائج التالية:

1- خفض معدل استهلاك المبيد بنسبة تصل إلى (33.3 %) مقارنةً بالمرش التقليدي، بالتالي تقليل الفاقد بالرش ويزيد من الكفاءة الإنتاجية لعملية الرش.

2- كفاءة أعلى في استخدام المبيد بنسبة تصل إلى (68.75%)، مقارنةً بالمرش التقليدي حيث بلغت النسبة (32.6%)، مما يشير إلى تغطية أكبر لتاج الشجرة (أكثر فعالية للمجموع الخضري) ، بالتالي تحسين فعالية وكفاءة عملية الرش.

3- خفض مقدار التداخل بين الأشجار بنسبة (10 %) مقارنةً بالتقليدي (35 %)، مما يقلل من هدر المبيد ومن التلوث البيئي والصحي.

5- إنتاجية فعلية أعلى بلغت حوالي (140 tr/h) مقارنةً بالتقليدي (120 tr/h)، مما يعكس تحسناً لأداء عملية الرش وكفاءتها.

بناءً على ما سبق، يعد المرش المصمم خياراً مناسباً للبيئات غير المنتظمة، إذ يحقق توازناً بين الكفاءة والإنتاجية والتقليل من الهدر.

التوصيات:

1- دمج نظام تحكم آلي (PLC) بهدف تنظيم حركة الفوهة بدقة أكثر وأيضاً من أجل رفع كفاءة التشغيل خاصةً في الحقول كبيرة المساحة.

2- تطوير نظام استشعار بصري (كاميرا، OCR) لرصد وجود الشجرة وموقعها، وإيقاف الرش تلقائياً عند غياب الأشجار.

3- اختبار أداء المرش على أنواع أخرى من الأشجار مثل الزيتون أو التفاح لمعرفة مدى توافق التصميم مع مختلف تيجان الأشجار

المراجع الأجنبية:

- 1- Chen, C., Xue, X., Zhou, Q., Gu, W., Zhang, S., & Wu, C. (2023). Fixed spraying systems application in citrus orchards: nozzle type and nozzle position effects on droplet deposition and pest control. *Agronomy*, 13(11), 2828.
- 2- Derksen, R. C., Zhu, H., Ozkan, H. E., Krause, C. R., & Reding, M. E. (2007). Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. *HortTechnology*, 17(3), 349–354
- 3- Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P., & Gil, E. (2017). Ground deposition and airborne spray drift assessment in vineyard and orchard: The influence of environmental variables and sprayer settings. *Sustainability*, 9(5), 728
- 4- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J. R., Planas, S., & Val, L. (2013). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26(8), 1287–1297
- 5- Hong, S. W., Zhao, L., & Zhu, H. (2018). CFD simulation of pesticide spray from air-assisted sprayers in an apple orchard: Tree deposition and off-target losses. *Atmospheric Environment*, 175, 109-119
- 6- Khot, L. R., Ehsani, R., Albrigo, G., Larbi, P. A., Landers, A., Campoy, J., & Wellington, C. (2012). Air-assisted sprayer adapted for precision horticulture: Spray patterns and deposition assessments in small-sized citrus canopies. *Biosystems Engineering*, 113(1), 76-85
- 7- Li, L., He, X., Song, J., Liu, Y., Zeng, A., Liu, Y., ... & Liu, Z. (2018). Design and experiment of variable rate orchard sprayer based on laser scanning sensor. *Internation*.
- 8- Lorens, J., Gil, E., Llop, J., & Escolà, A. (2010). Ultrasonic and LIDAR sensors for electronic canopy characterization in vineyards: Advances to improve pesticide application methods. *Sensors*, 10(5), 5028–5041.
- 9- Lavers, A. (2001). Guidelines on good practice for aerial application of pesticides.
- 10- Martin, D., Kranz, W., Smith, T., irmak, S., Burr, C., & Yoder, R. (2017). Center pivot irrigation handbook.
- 11- Nasreen, S., Kumar, A., & Singh, T. P. (2024). Performance Characterization of Spray Nozzles Based on CFD Simulation. *Indian Journal of Ecology*, 51(2), 401-409.
- 12- Privitera, S., Manetto, G., Pascuzzi, S., Pessina, D., & Cerruto, E. (2023). Drop Size Measurement Techniques for Agricultural Sprays: A State-of-The-Art Review. *Agronomy* 2023, 13, 678.d and Agriculture Organization of the United Nations.
- 13- Sedlar, A. D., Bugarin, R. M., Nuyttens, D., Turan, J. J., Zoranovic, M. S., Ponjican, O. O., & Janic, T. V. (2013). Quality and efficiency of apple orchard protection affected by sprayer type and application rate. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(4), 935-944.
- 14- Womac, A. R., Ozkan, E., Zhu, H., Kochendorfer, J., & Jeon, H. (2022). Status of spray penetration and deposition in dense field crop canopies. *Journal of the ASABE*, 65(5), 1107-1117.yer settings." *Sustainability* 9, no. 5 (2017): 728.

15- Zhu, H., Salyani, M., & Fox, R. D. (2004). A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture*, 43(2), 121–128.

المراجع العربية:

- 16- الحلفي، اسعد رحمن (2005) تصميم معفرة ترددية لأشجار نخيل التمر. مجلة أبحاث البصرة، العدد (31)، الجزء (2).
- 17- عيسى ، شذى، غانم، محمد، أحمد، عدنان. (2025). تصميم ونمذجة مرش آلي عمودي لرش أشجار البساتين. مجلة جامعة طرطوس، العدد (6)، المجلد (9).
- 18- معلا، شعبان؛ جراد، سمير. (1988). المكننة الزراعية - مديرية الكتب والمطبوعات - جامعة تشرين - اللاذقية.