Al-Mukhtar Journal of Agricultural, Veterinary and Environmental Science 4 (2): 00-00, 2026
Doi: https://doi.org/10.54172/sk0v7098

Research Article **Open Access**

تصميم وتصنيع واختبار آلة هوائية لتلقيح وتعفير اشجار النخيل ونمذجة انتاجيتها

اسعد رحمان الحلفي [1]، عبد الباسط عودة إبراهيم [2]، اثير عبد الأمير المطوري [3]، صباح مالك الشطي [1]*

الباحث الاول[1]*: قسم علوم الأغذية–كلية الزراعة–جامعة البصرة– البصرة–العراق.
الباحث الثاني: خبير النخيل في منظمة الاغذية والزراعة الدولية (الفاو) في العراق.
الباحث الثالث 2* مديرية زراعة البصرة – قسم الاستثمارات الزراعية –البصرة–عراق

First Author Asaad R.S. Al-Hilphy E-mail: aalhilphy@yahoo.co.uk ,Department of Food Science, College of Agriculture, University of Basrah, Basrah, ,Iraq

***Corresponding author:**: Sabah M.H. Al-Shatty E-mail:: sabahhabeeb@uobasrah.edu.iq

Department of Food Science, College of Agriculture, University of Basrah, Basrah, Iraq.

Second Author: Abdul Basit Awda Ibrahim, E-mail addresses: abdulbasit195@gmail.com

National Date palm expert (FAO). Iraq

Third Author
Atheer A. Al-Mutury, Email :atheerengineer85@gmail.com, Basrah Directorate Agriculture – Department of Agriculture investment - Basrah, ,Iraq

Received: 16-7-2026

Accepted: 25-10-2026

Publish online:

المستخلص: هدفت الدراسة الى تصميم وتصنيع واختبار آلة لتلقيح وتعفير اشجار النخيل بالاعتماد على الهواء المتولد من منفاخ هواء متصل بخزان المسحوق ومقارنتها بالطريقة التقليدية (اليدوية). أظهرت النتائج ان اقصى مسافة يندفع بها المسحوق بعيدا عن الالة خلال التعفير والتلقيح 5 و125 سم على التوالي. كما بينت النتائج إمكانية استخدام الالة لعمليتي التلقيح والتعفير. كما ان انتاجيتها كانت اعلى من الانتاجية اليدوية بالتلقيح والتعفير بمقدار 33.33% و37.5% على التوالي. بينت نتائج التقدير الاقتصادي أن الكلفة الكلية لتصنيع المعفرة والملقحة بلغت 71914 .17 دينار عراقي، الأمر الذي يشير إلى انخفاض الكلفة الاستثمارية الأولية وإلى الجدوى الاقتصادية العالية للآلة. لم تظهر فروق معنوية عند ***(P<0.05)*** بين الإنتاجية العملية والمتوقعة باستخدام الذكاء الاصطناعي بطريقة **ANFIS** وكان معدل مربع الخطأ 1.05×10^{-5}. استنادا الى ذلك، يمكن التنبؤ بالإنتاجية باستخدام طريقة **ANFIS**.

الكلمات المفتاحية: معفرة، ملقحة، إنتاجية، تلقيح يدوي. نمذجة ذكية

Design, Manufacturing, and Testing of a Pneumatic Instrument for Pollination and Dusting of Date Palm Trees and Modeling of Its Productivity

Abstract: The study aimed to design, manufacturing, and testing an instrument for pollinating and dusting date palm trees using air generated from a fan connected to a powder tank, and to compare it with the traditional (manual) method. The results showed that the maximum distance the powder was propelled away from the instrument during dusting and pollination was 5 cm and 125 cm, respectively. The findings also indicated the feasibility of using the instrument for both pollination and dusting processes. Additionally, its productivity was higher than manual methods by 33.33% for pollination, and 37.5% for dusting, respectively. The economic evaluation revealed that the total cost of manufacturing the dusting and pollination instrument amounted to 71914.17 Iraqi dinars, indicating a low initial investment cost and confirming the instrument strong economic viability. There are no significant differences **(*P<0.05*)** between experimental and predicted productivity by using artificial intelligent by ANFIS approach, and RMSE reached 1.05×10^{-5}. According to that, ANFIS can be used for predicting productivity.

Keywords: Duster, Pollinator, Productivity, Manual Pollination, Intelligent Modelling

The Author(s) 2025. This article is distributed under the terms of the *Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License* (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, *for non-commercial purposes only*, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

المقدمة

يعد التلقيح من اهم عمليات خدمة أشجار النخيل وان الجهد وتكلفة خدمة أشجار النخيل تمثل عملية التلقيح منها أكثر من 50%. تتم عملية التلقيح اليدوي من خلال وضع 2–3 شماريخ في قلب الطلعة الانثوية. وفيما يتعلق بطريقة التلقيح الآلية فقد استخدمت ملقحات مختلفة بعضها تعمل بضغط الهواء لكنها تحتاج إلى رافعة مزودة بسلة وتديرها ساحبة (جرار)، كما أستخدمت ألة تلقيح أخرى مثل ملقحة حمورابي التي تتطلب محرك ومنفاخ، كذلك استخدمت ملقحة عمر اليدوية ذات المنفاخ اليدوي لكنها بطيئة ويعاب عليها استخدام كمية قليلة من حبوب اللقاح وملقحة الإسكندرية التي تعمل بالهواء المضغوط تديرها ساحبة وهذه مكلفة، كذلك استخدامها محدود في الأماكن الضيقة (غالب، 1986 ؛ إبراهيم، 2019) .

اما فيما يتعلق بالمعفرات فتوجد أنواع مختلفة منها، المعفرة ذات المكبس الهوائي المتحرك داخل أسطوانة ويحرك المكبس عن طريق ذراع يدار يدويا. النوع الاخر هو المعفرات الظهرية ذات المنفاخ وتتكون من منفاخ مصنوع من الجلد يتم ضغطه بواسطة رافعة يدوية ذات حركة نصف دائرية ويندفع تيار الهواء ومادة التعفير خلال انبوبة (العوضي، 1985). يُعاب على هذه المعفرات عدم انتظام دفع الهواء مما يؤدي الى عدم انتظام المسحوق الخارج وهنالك نوع اخر من المعفرات الا وهو العفارات الصدرية المزودة بمروحة تحرك الهواء الى الخارج (الجابري ،1987). كما توجد انواع انواع اخرى من العفارات التي تربط خلف الساحبة وتأخذ حركتها من عمود الادارة الخلفي في الساحبة لكن يصعب استخدامها في البساتين التي فيها معوقات طبيعية كالسدود والانهار والتوزيع غير المنتظم لأشجار النخيل. تعمل المعفرات على توزيع مسحوق التعفير بشكل متجانس بواسطة تيار الهواء (حسين وعزت، 1978). بعيداً عن الطرق الآلية فإن طريقة التعفير السائدة في العراق هي استخدام كيس من القماش يربط على عصا ويضرب الكيس على العذوق وينتشر المسحوق .

قام إبراهيم والحلفي (2002) بتصميم الة تعفير وتلقيح لأشجار النخيل في العراق تعمل بقوة الطرد المركزي لكن مشكلتها انخفاض انتاجيتها كما صمم الحلفي (2005) معفرة ترددية لأشجار نخيل التمر تتكون من صفيحتين تتحرك الواحدة على الأخرى ترددیا وتقوم بنثر المسحوق على النخيل. تراوح تصريفها من (10.15–2.25 سم^3/ ثا). وبلغت كفاءتها 71% لكن مشكلتها بطيئة بعملية التعفير. يستخدم لتلقيح نخيل التمر الرش الميكانيكي والرش بالسوائل وأنظمة هوائية حديثة، حيث يكون التوازن الرئيسي بين توفير الايادي العاملة والسيطرة على حبوب اللقاح ونتائج الإنتاج الخاصة بالصنف **(Salomón-Torres et al., 2021; Broussard et al., 2023)**

يعتمد دراسة الآلات والملقحات وتصنيفها على ثلاثة جوانب عملية وهي أنواع الآلات، أداء الحقل، والمحددات والقيود الاخرى **(Salomón-Torres et al., 2021; Rehna et al., 2024)**

اما فيما يتعلق بأنواع الآلات فتتنوع الملقحات الميكانيكية لنخيل التمر من أجهزة الرش المحمولة باليد أو التلسكوبية إلى الرشاشات المثبتة على الساحبة، والملقحات الكهربائية، والطائرات بدون طيار، والأذرع الروبوتية **(Salomón-Torres et al., 2021).** كان وزن الملقح الكهربائي المغطى بمروحة مائية حديثا أقل من 2 كغم، واستخدم ذراعا بطول 6.5 متر، وحمل كمية كافية من حبوب اللقاح لتلقيح حوالي 140 نخلة في كل شحنة **(Akhavan et al., 2021)** تعد ملقحات أجهزة البودرة ذات الأقطاب التلسكوبية تصميما متكررا لأنها تتجنب تسلق الأشجار مع إبقاء المطبق قريبا من النورة الأنثوية **(Nourani et al., 2017; Sharma et al., 2021).**

تتميز الملقحات الآلية بقدرتها على تلقيح أكثر من 250 نخلة خلال 8 ساعات باستخدام مشغّل واحد فقط **(Salomón-Torres et al., 2021; Jamro et al., 2020)**. وفي السودان، صُمِّمت آلة لتلقيح النخيل يبلغ ارتفاعها 10 أمتار، تعمل يدويًّا بمعدل 18 شجرة في الساعة، مقابل 5 أشجار في الساعة بالطريقة اليدوية التقليدية **(Dahab et al., 2020)** . كما استُخدمت أنظمة الطائرات بدون طيار (الدرونات) في عمليات التلقيح والتعفير، غير أن إيصال حبوب اللقاح إلى الهدف بدقة لا يزال يُمثل تحديًا هندسيًّا قائمًا **(Rehna et al., 2024)**.

وفيما يتعلق بالأداء الميداني، يتفوق التلقيح الميكانيكي على التلقيح اليدوي من حيث الإنتاجية وتقليل مخاطر العمل واختصار الوقت اللازم للصعود إلى قمم النخيل **(Salomón-Torres et al., 2021; Dahab et al., 2020; Nourani et al., 2017)**. ومع ذلك، فإن النتائج البيولوجية ليست متطابقة عبر مختلف الدراسات، إذ تستجيب بعض الأصناف بشكل أفضل للتلقيح بالرش الجاف. بينما تحقق أصناف أخرى إنتاجية أعلى ونوعية أفضل بالتلقيح اليدوي باستخدام معلَّق حبوب اللقاح **(Munir, 2020; Karim et al., 2022; Dawoud & El-Rauof, 2021)**. وهذا يعني أن اختيار وسيلة التلقيح الملائمة يجب أن يُبنى على طبيعة المادة اللقاحية المستخدمة وخصائص الصنف المُستهدف، وليس على كفاءة الجهاز فحسب.

أظهرت الدراسات تفوّق التلقيح بالمعفّرات (التلقيح الغباري) على التلقيح التقليدي في أصناف كل من الخلاص ودقلة نور والبرحي **(Munir, 2020; Karim et al., 2022; Dawoud & El-Rauof, 2021)**. وفي إطار البحث عن بدائل أكثر كفاءة، استُخدمت تقنية التلقيح السائل في سلطنة عُمان بوصفها نهجًا حديثًا لتحسين كفاءة التلقيح وتسهيل عملياته في حقول نخيل التمر **(Al-Raisi et al., 2018)**. وقد أسفر التلقيح السائل عن نتائج مشجّعة في عدد من التجارب، لا سيّما في صنف الحلاوي عند استخدام تركيز لقاح بلغ 3 غم/لتر **(Kumawat et al., 2022; Salomón-Torres et al., 2021)**. ومن جانب أخر، بيّنت نتائج دراسة أخرى أنّ الملقّحة ذات المروحة المائية لم تُظهر فروقًا معنوية كبيرة في كفاءة تثبيت الثمار بين معاملات التلقيح المختبرة **(Akhavan et al., 2021)**.

وفيما يتعلق بالتكاليف والحدود، تُعَدُّ آليات التلقيح الميكانيكية سواءً بالرش السائل أو بالغبَار الجاف من أبرز الحلول التي أسهمت في خفض تكاليف الأيدي العاملة وتقليل الاعتماد عليها **(Salomón-Torres et al., 2021; Dahab et al., 2020)** . فعلى الرغم من أن الأنظمة الميكانيكية تُسهم في ترشيد استهلاك حبوب اللقاح بدرجة كبيرة، إلا أن بعض آلات التلقيح بالغبَار الجاف لا تزال تُعاني من هدر جزء من حبوب اللقاح أو عدم انتظام توزيعها على النخيل المرتفعة **(Dahab et al., 2020; Al-Raisi et al., 2018)**. ولهذا، اتجهت الأبحاث الحديثة نحو تطوير أنظمة تعتمد على التوصيل الدقيق لحبوب اللقاح، متجاوزةً مفهوم المكننة البسيطة إلى التحكم الدقيق في عملية التلقيح ذاتها **(Rehna et al., 2024)** .

وقد أسفرت تجربة ميدانية أُجريت في السودان عن نتائج لافتة، إذ بلغت تكلفة التلقيح الآلي 9.1 جنيه سوداني (20 دينار عراقي) للنخلة الواحدة مقارنةً بتكلفة التلقيح اليدوي التي وصلت إلى 60 جنيهًا سودانيًا (131 دينار عراقي) للنخلة. كما أظهرت التجربة أن التلقيح اليدوي يتطلب عاملَيْن لتلقيح 200 شجرة في الموسم الواحد. في حين اكتفت آلة التلقيح بعامل واحد لتلقيح 760 نخلة سنويًا بارتفاع تشغيلي بلغ 10 أمتار. ويعكس ذلك انخفاضًا جوهريًا في الوقت المستغرق والتكلفة الإجمالية للتلقيح **(Dahab et al., 2020)**.

وفي السياق ذاته، بيّنت نتائج دراسة أُجريت في سلطنة عُمان أن التلقيح السائل خفض تكلفة التلقيح بنسبة 89% تقريبًا مقارنةً بالتلقيح اليدوي التقليدي **(Al-Raisi et al., 2018)** . كما توصلت دراسة أخرى إلى أن أفضل نسبة مزج بين حبوب اللقاح والدقيق لجهاز التلقيح الغباري التلسكوبي (جزائري الصنع) هي 20% حبوب لقاح، وذلك لتحقيق التوازن الأمثل بين كفاءة التلقيح وترشيد الاستهلاك **(Nourani et al., 2017)** .

ان نظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي **(ANFIS)** هو تقنية نمذجة ذكية هجينة تجمع بين قدرات التعلم الخاصة بالشبكات العصبية الاصطناعية **(ANN)** وآلية الاستدلال في المنطق الضبابي **Fuzzy Logic (Jang, 1993)** وقد تم تطوير **ANFIS** للتغلب على القيود الموجودة في النماذج الرياضية التقليدية عند تمثيل الأنظمة غير الخطية والمعقدة **(Nayak et al., 2024)**. ويعتمد النموذج على نظام استدلال ضبابي من نوع **Sugeno** ويستخدم خوارزمية تعلم هجينة تجمع بين طريقة المربعات الصغرى **(Least Squares Estimation)** والانحدار المتدرج **(Gradient Descent)** لضبط معلمات النموذج بشكل تلقائي **(Jang et al., 1997)**. يتكون **ANFIS** من خمس طبقات حسابية رئيسية هي الطبقة الضبابية **(Fuzzification)**، وطبقة القواعد

(Rule Layer)، وطبقة التطبيع **(Normalization)**، وطبقة النتائج **(Consequent Layer)** ، وطبقة الإخراج **(Output Layer) (Jang et al., 1997)**. من خلال هذه البنية، يستطيع النظام التعلم من البيانات وبناء علاقات غير خطية بين المدخلات والمخرجات بكفاءة عالية. وبفضل دقته العالية وقدرته على التكيف، فقد تم تطبيق **ANFIS** على نطاق واسع في مجالات متعددة مثل التنبؤ بالإشعاع الشمسي، وأنظمة الطاقة المتجددة، والتنبؤ بالطقس، والهندسة الزراعية، والتحكم الصناعي، والنمذجة البيئية **(Mitra & Hayashi, 2000; Viswavandya et al., 2019; Alsaedi, et al. 2024)**.

من كل ما تقدم جاءت هذه الدراسة التي تهدف الى تصميم معفرة وملقحة سهلة الاستخدام تعمل بنظام دفع الهواء بواسطة محرك ومروحة بشكل منتظم على المسحوق في الخزان وخروجه الى النخيل. كذلك نمذجة اداء الآلة باستخدام **ANFIS** ودراسة انتاجيتها وتصريفها وتطبيقها في عملية التلقيح والتعفير مع دراسة الجدوى الاقتصادية لها.

المواد وطرق البحث

الملقحة والمعفرة

تتكون هذه الالة المبينة في شـــكل (1 و2) من مروحة كهربائية (4) تعمل بفولتية قدرها 12 فولت مزودة ببطارية 12 فولت قابلة لإعادة الشـــحن، وانبوب (5) لنقل الهواء الى أســطوانة المســحوق (8). كما انها تحتوي على غطاء مزود بأنبوب (10) يســتخدم لإخراج المسحوق من خلاله الى النخيل. توجد أيضا مجموعة اعمد تلسكوبيه (13) عدد ثلاثة مرتبطة بخزان المسحوق (8) بواسطة قفيص (11) تستخدم لإيصال الالة الى الارتفاع المطلوب.

آلية العمل

في البداية توضـــع حبوب اللقاح او مادة التعفير (كبريت) في خزان الالة وبعدها يتم زيادة طول الاعمدة التلســـكوبية وتوجيه الالة باتجاه النخلة ومن ثم تشغيلها (شكل 2). وتم دراسة صفات أداء الالة وكالاتي - :

1- مسافة النثر

حسبت مسافة النثر من خلال قياس طول المسافة من الالة الى اقصى نقطة وصل لها المسحوق بوحدة (سم)

2- مساحة النثر

حسبت مساحة النثر ($م^2$) من خلال حساب معدل مسافة النثر مضروب في معدل عرض النثر بالمتر المربع .

3- تصريف الالة

حسب تصريف الالة من خلال قسمة وزن الكمية المنثورة على الزمن المستغرق بوحدة (غم/ثا).

4- الإنتاجية

حسبت الإنتاجية من خلال قسمة عدد النخيل المعفرة او الملقحة على الزمن وحسبت بوحدة (نخلة/ساعة).

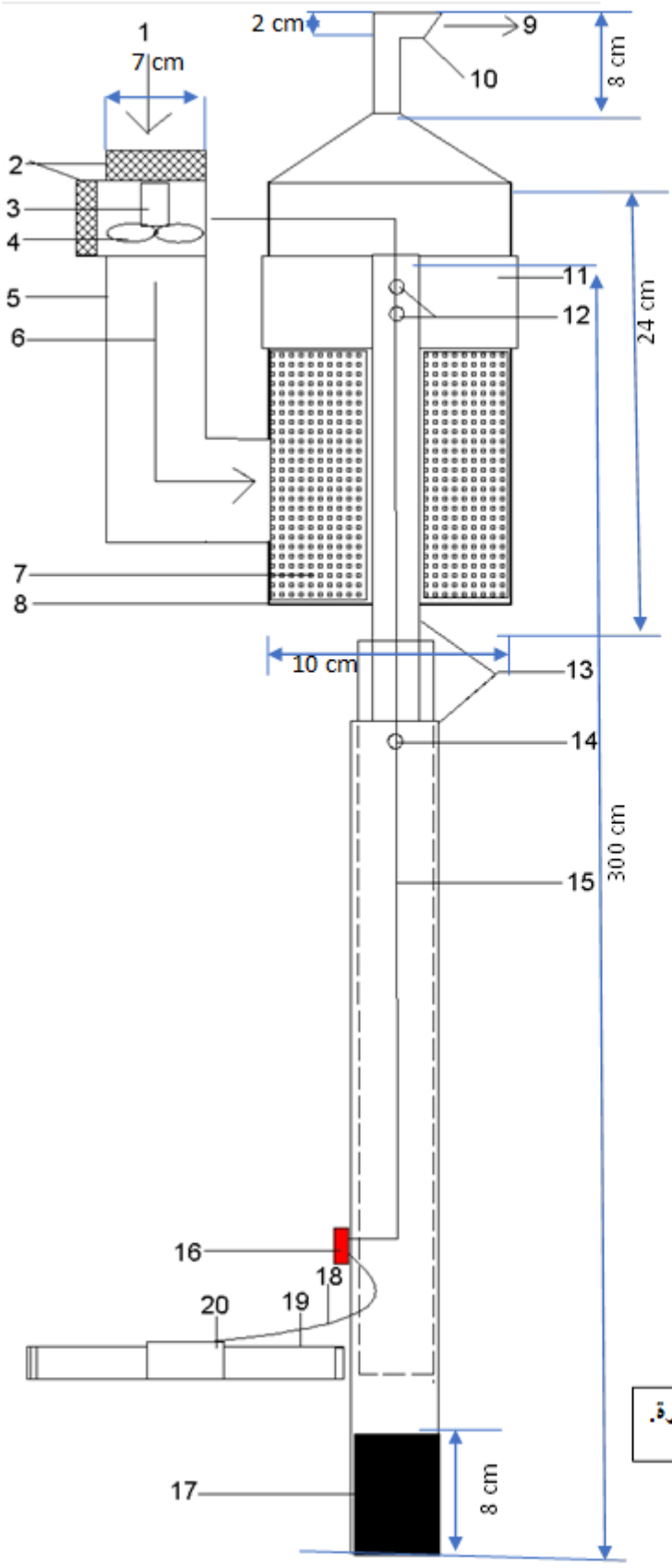
التنبؤ بالإنتاجية باستخدام نظام الاستدلال الضبابي العصبي التكيفي Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

اعتمدت هذه الدراســـة على بيانات ميدانية تم جمعها لقياس معدلات إنتاجية نخيل التمر (نخلة/ســـاعة) أثناء تنفيذ عمليتي التعفير والتلقيح. شـملت الدراسـة تقييم إنتاجية أربع فئات رئيسـية من الأدوات المسـتخدمة في هذه العمليات، وهي: التعفير الآلي، والتعفير اليدوي، والتلقيح الآلي، والتلقيح اليدوي. تم تســـجيل معدلات الإنتاجية لكل فئة بدقة لضـــمان موثوقية البيانات المدخلة في نماذج التنبؤ (جدول 1). نظراً لأن خوارزميات التعلم الآلي تتطلب مدخلات رقمية، تم ترميز المتغير الفئوي (نوع الألة) وتحويله إلى قيم رقمية صـــحيحة لتمثيل الفئات الأربع، حيث مُنحت الأرقام (1، 2، 3، 4) للتعفير الآلي، والتعفير اليدوي، والتلقيح الآلي، والتلقيح

اليدوي على التوالي. تم تنظيم البيانات في مصفوفة رياضية ثنائية الأبعاد، يمثل العمود الأول المدخلات (نوع الألة)، ويمثل العمود الثاني الإنتاجية. تم استخدام نموذج **ANFIS** في برنامج **MATLAB 2014** للتنبؤ بالإنتاجية اعتمادًا على متغيرات التلقيح اليدوي وبالألة وكذلك التعفير اليدوي وبالألة كمدخلات للنموذج .

تم بناء وتدريب النموذج الضبابي–العصبي التكيفي باستخدام برنامج **MATLAB R2014 (MATLAB ,2014)** بالاستعانة بصندوق أدوات المنطق الضبابي (**Fuzzy Logic Toolbox**) (شكل 3). اعتمد التدريب على خوارزمية التعلم الهجين (**Hybrid Learning Algorithm**)، والتي تدمج بين طريقة المربعات الصغرى (**Least Squares Estimator**) لتحديد معاملات دوال النتيجة في الطبقة الأمامية، وخوارزمية الانتشار العكسي (**Backpropagation**) لضبط معاملات دوال الانتماء في الطبقة الخلفية. تم تحديد معاملات التدريب بحيث بلغ عدد دورات التدريب. **100 (Epochs)**. استخدمت الدالة **gbellmf** وقد تم اختيار هذا النموذج لقدرته العالية على تمثيل العلاقات غير الخطية والمعقدة بين العوامل المختلفة بدقة، مما يسهم في تحسين أداء التنبؤ بشكل فعال (**Jang, 1993; Halabi et al., 2018**). استخدم برنامج التنبؤ بالإنتاجية بواسطة **ANFIS** والمخطط الانسيابي للبرنامج موضح في الشكل (4).

تم تطوير البرنامج لدعم القرار لترجمة تنبؤات الإنتاجية بواسطة **ANFIS** إلى توصيات قابلة للتطبيق على مستوى المزرعة. بالنسبة لحجم المزرعة الذي يحدده المستخدم **(N)** نخلة وفترة العمل المتاحة **(D)** يوماً، وساعات العمل اليومية **(H)**. تم تقدير وقت التشغيل المطلوب لكل طريقة بالمعادلة **T = N / P** ، اذ ان **P** هي الإنتاجية التي يتنبأ بها **ANFIS** للطريقة الآلية أو اليدوية. تعتبر الطريقة مجدية عندما لا تتجاوز مدتها المطلوبة (بالأيام) الفترة المتاحة**.** أخذ النموذج الاقتصادي في الحسبان التكاليف الثابتة والمتغيرة للآلة وكذلك الطريقة اليدوية. تم حساب التكاليف الكلية وتكاليف النخلة الواحدة لكلتا الطريقتين. كما تم تحديد تحليل نقطة التعادل لحجم المزرعة الذي تصبح عنده الآلة قادرة على المنافسة اقتصادياً**.** ويوصي البرنامج بالبديل الحاصل على أعلى درجة إجمالية. واستُخدمت دراسة حالة لـ 500 نخلة، 20 يوماً متاحاً، 8 ساعات عمل يومياً) للتوضيح. يمكن للمستخدم تعديل جميع المعاملات لتعكس ظروف المزرعة المحلية والعملة المستخدمة. تم عمل تطبيق يعمل بالهاتف النقال والحاسبة أيضا بحيث يمكن للمزارع تحديد أفضل الة لمزرعته كما هو موضح في الشكلين (5 و6).



1. دخول الهواء
2. ثقوب
3. محرك كهربائي
4. مروحة
5. أنبوب جريان الهواء
6. اتجاه الهواء
7. حبوب اللقاح او كبريت
8. أسطوانة اللقاح او الكبريت
9. خروج الهواء
10. فتحة خروج الهواء
11. قفيص
12. براغي تثبيت العمود التلسكوبي
13. عمود تلسكوبي
14. برغي
15. سلك كهربائي
16. مفتاح تشغيل
17. مقبض
18. سلك كهربائي
19. حزام
20. بطارية

شكل 1. رسم تخطيطي للملقحة والمعفرة.

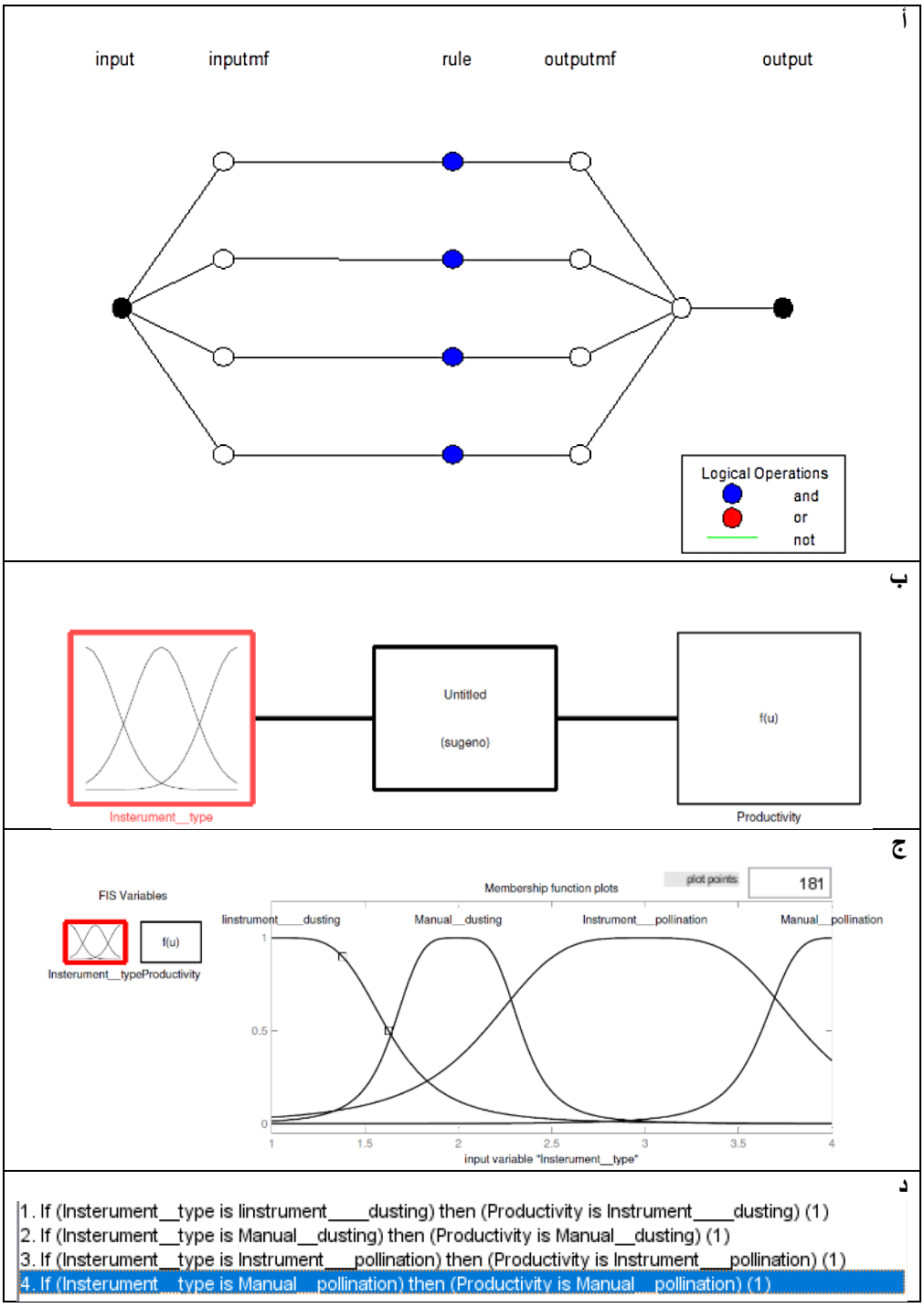


شكل (2). صور للملقحة والمعفرة.

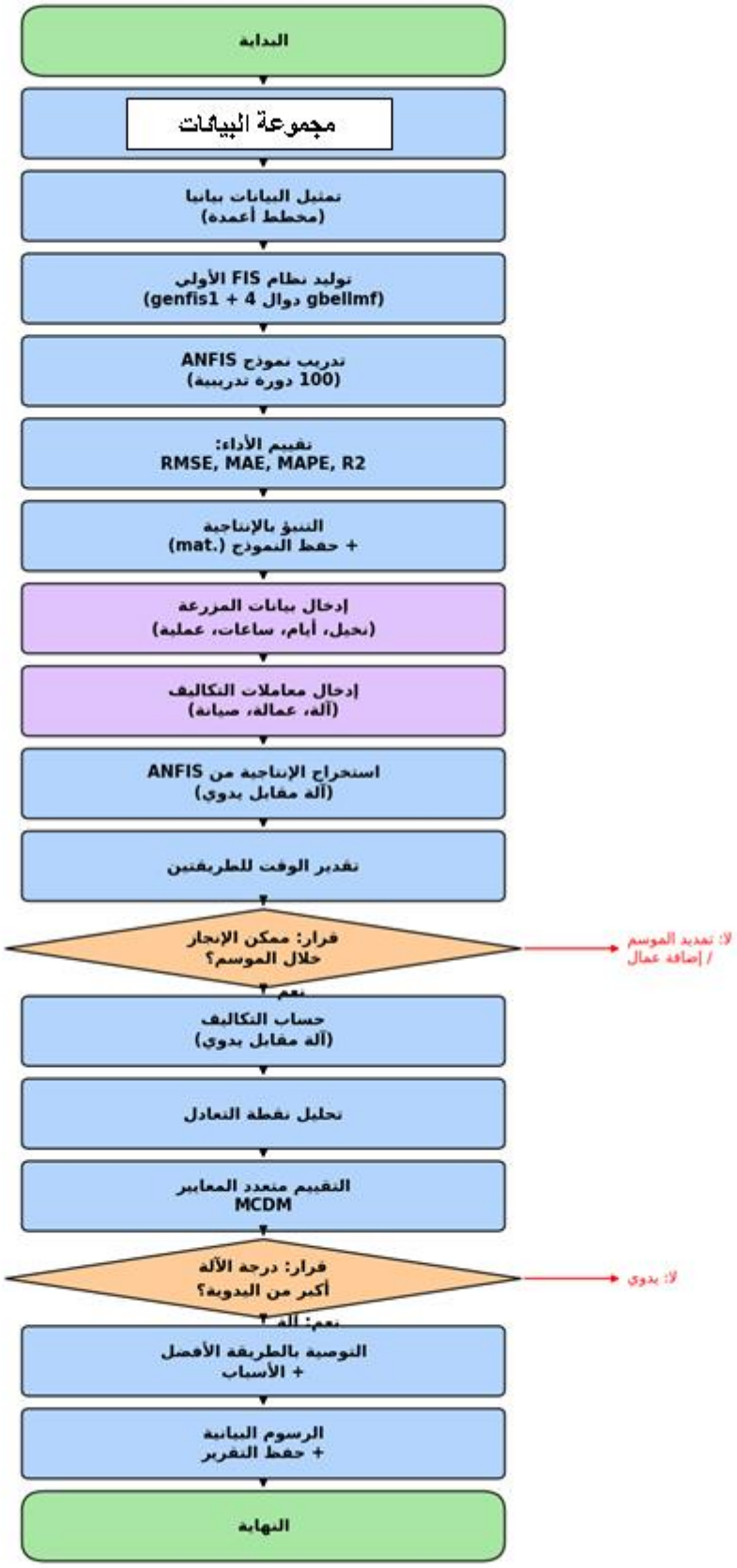
جدول (1). تأثير نوع الالة في الإنتاجية.

التسلسل	نوع الالة	الإنتاجية (نخلة/ساعة)	التسلسل	نوع الالة	الإنتاجية (نخلة/ساعة)
1	1	11.00	21	3	11.98
2	1	11.00	22	3	12.00
3	1	11.00	23	3	12.00
4	1	11.00	24	3	12.00
5	1	10.99	25	3	12.01
6	1	11.00	26	3	12.00
7	1	10.99	27	3	11.99
8	1	11.01	28	3	11.99
9	1	10.99	29	3	11.99
10	1	10.99	30	3	11.99
11	2	9.00	31	4	9.40
12	2	9.00	32	4	9.40
13	2	9.01	33	4	9.40
14	2	9.01	34	4	9.40
15	2	8.99	35	4	9.39
16	2	9.02	36	4	9.41
17	2	9.02	37	4	9.39
18	2	9.01	38	4	9.41
19	2	9.02	39	4	9.38
20	2	9.00	40	4	9.41

1: تعفير بالالة، 2: تعفير يدوي، 3: تلقيح بالألة، 4: تلقيح يدوي.

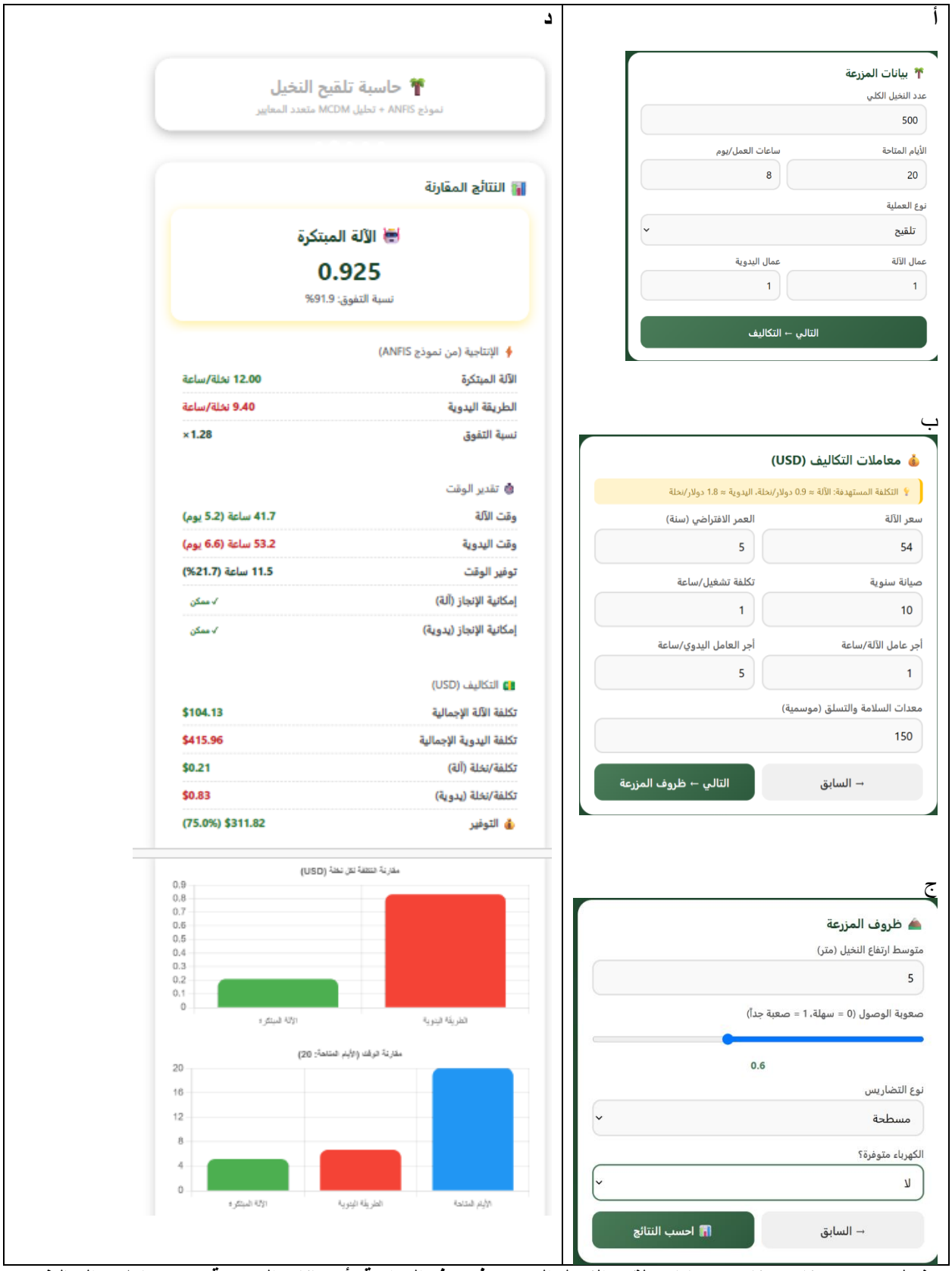


شكل(3) أداء برنامج ANFIS. أ: رسم تخطيطي للنموذج العصبي الغامض (neuro-fuzzy) المستخدم في الدراسة، ب: نظام الاستدلال الضبابي Fuzzy Inference System (FIS)، ج: مخطط دالة الانتماء membership function plot، د. القواعد الضبابية Fuzzy rules.

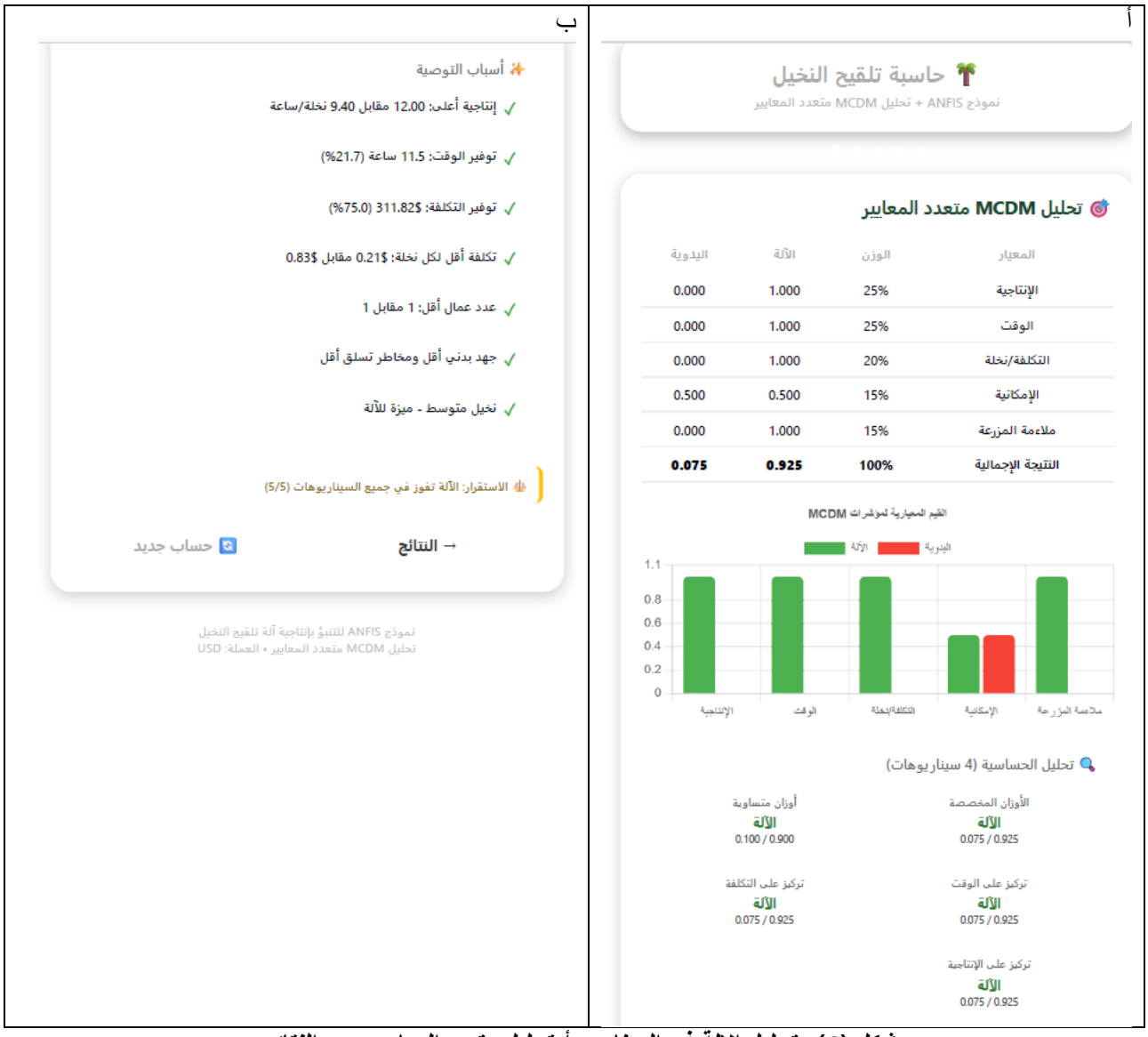


شكل (4).

المخطط الانسيابي للتنبؤ بالإنتاجية بواسطة ANFIS.



شكل (5): مكونات برنامج حسابات تلقيح النخيل المصمم في هذه الدراسة. أ: بيانات المزرعة، ب: معاملات التكاليف، ج: ظروف المزرعة، د. النتائج والمقارنة.



شكل (6): تحليل الالة في البرنامج. أ:تحليل متعدد المعايير، ب: النتائج.

الجدوى الاقتصادية

تُعد عملية جمع المعلومات المتعلقة بالمشروع المقترح من الخطوات الرئيسة اللازمة لتحديد مدى الجدوى الاقتصادية له، إذ تساعد على تقييم فرص نجاح المشروع أو خسارته مقارنةً بالسوق المحلي واحتياجاته، فضلًا عن بيان إمكانية تنفيذه، وتقليل المخاطر المحتملة، وتقدير مستوى ربحيته (الكواليت، 2020).

تم تقدير الجدوى الاقتصادية للمعفرة والملقحة بالاعتماد على مقارنة كلفة التصنيع مع الجدوى الفائدة المتحققة من استخدامها، وتشمل الفائدة توفير كلفة اليد العاملة، وتقليل الزمن اللازم للتلقيح، وزيادة الإنتاج المتوقعة. وان هذه المقاربة من الأساليب الشائعة في دراسات الجدوى الاقتصادية للمشاريع (بكة، 2025) وكما يلي:

كلفة تصنيع المعفرة والملقحة

حسبت الكلفة الكلية للجهاز من مجموع كلف الأجزاء المختلفة كما يلي:

$$TC = \sum Ci \qquad (1)$$

حيث:

TC: الكلفة الكلية للتصنيع.

Ci :كلفة كل جزء من أجزاء الجهاز.

حساب كلفة اليد العاملة في التلقيح اليدوي

تُحسب كلفة اليد العاملة كما يلي:

$$LC = N \times H \times W \qquad (2)$$

حيث:

LC: كلفة اليد العاملة.

N:عدد العمال.

H:عدد ساعات العمل.

W: أجر الساعة الواحدة.

مقدار التوفير باستخدام المعفرة الآلية

يُحسب التوفير الناتج عن استخدام المعفرة والملقحة مقارنة بالتلقيح اليدوي كما يلي:

$$S = LC - TC \qquad (2)$$

حيث:

S: مقدار التوفير.

LC: كلفة اليد العاملة.

TC:كلفة المعفرة والملقحة.

يمكن حساب نسبة التوفير المئوية كما يلي:

$$S\% = \frac{LC - TC}{LC} \times 100 \qquad (4)$$

العائد المتحقق من زيادة الإنتاج

تم حساب الزيادة الكمية في الإنتاج من المعادلة:

$$\Delta P = P_O \times r \qquad (5)$$

حيث:

ΔP : الزيادة في الإنتاج.

P_O: الإنتاج الكلي الأساسي .

r : نسبة الزيادة المتوقعة.

تُحسب القيمة المالية للزيادة كما يلي:

$$BV = \Delta P \times EP \qquad (6)$$

حيث:

BV: القيمة المالية للزيادة.

ΔP : الزيادة في الإنتاج.

EP : سعر المنتج (دينار/كغم)

حساب العائد الصافي المتوقع

يُحسب العائد الصافي بعد خصم كلفة الجهاز كما يلي:

$$NP=BV-TC \qquad (3)$$

حيث:

NP: العائد الصافي.

BV:القيمة المالية للزيادة.

TC: الكلفة الكلية للجهاز.

نسبة العائد إلى الكلفة

تُحسب نسبة العائد إلى الكلفة كما يلي:

$$BCR = \frac{BV}{TC} \qquad (4)$$

حيث:

BCR: نسبة العائد إلى الكلفة.

BV:القيمة المالية للزيادة.

TC:الكلفة الكلية.

فترة الاسترداد

يمكن التعبير عن فترة الاسترداد بصيغة مبسطة كما يلي:

$$PB = \frac{TC}{PV}$$

حيث:

PB :فترة الاسترداد.

TC:الكلفة الكلية للجهاز.

PV :العائد السنوي أو الموسمي.

التحليل الاحصائي

استخدم التصميم العشوائي الكامل للإنتاجية واختبار t للمسافة التي يندفع بها المسحوق بعيدا عن الالة ومساحة النثر وخلال عملية التغير والتلقيح وتصريف الالة في تحليل بيانات التجارب تم تحليل البيانات باستخدام برنامج (SPSS , 2020) SPSS version 27. البيانات مثلت معدلات ثلاث مكررات. تمت المقارنة بين المتوسطات باستخدام اختبار اقل فرق معنوي LSD عند مستوى معنوية 0.05.

النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (7) فروقاً معنوية **($p \leq 0.05$)** في المسافة التي يندفع فيها المسحوق بعيداً عن الآلة خلال عمليتي التلقيح والتعفير. بلغت مسافة الاندفاع في معاملة التلقيح 125 سم، متفوقةً على معاملة التعفير (94 سم) بفارق مقداره 31 سم، أي بزيادة مقدارها 33%. وجد **إبراهيم والحلفي (2001)** ان اقصى مسافة يندفع فيها مسحوق التعفير والتلقيح بعيدا عن الالة تراوح بين(1.4–6.0 و1.3–0.5) م على التوالي. ان الانحراف المعياري كان صغيرا نسبياً مما يعكس ثباتاً عالياً في أداء الآلة. ان تفسير تفوق معاملة التلقيح في مسافة الاندفاع بحسب مبادئ ديناميكا الجسيمات في التيار الهوائي واستنادا الى قانون ستوكس اذ تخضع الجسيمات المحمولة في التيار الهوائي لسرعة ترسيب نهائية تُوصف بعلاقة ستوكس للجسيمات الكروية الدقيقة. وكلما صغر قطر الجسيم وانخفضت كثافته، انخفضت سرعة ترسيبه، وبقي معلقاً في التيار الهوائي مدة أطول، ومن ثم اندفع لمسافة أبعد **(White, 2016 ; Matthews et al., 2014).**

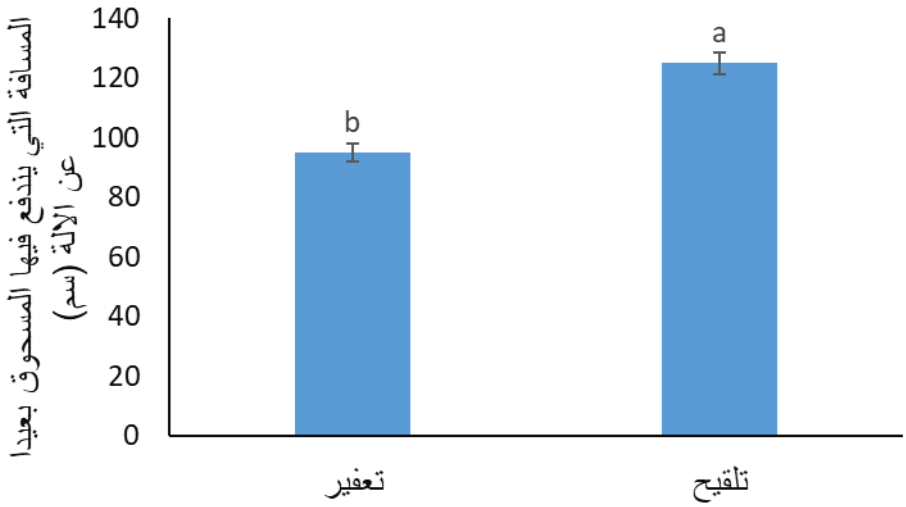
أما من حيث الخصائص الفيزيائية للمسحوقين، فان خليط التلقيح (حبوب اللقاح المخلوطة مع النخالة لتحسين الانسيابية والتوزيع) يتميز عادةً بتدرج حبيبي أنعم وكثافة ظاهرية أقل. هذا يمنحه سرعة ترسيب منخفضة ويجعله أكثر "اتباعاً" لخطوط التيار الهوائي. بالنسبة لمسحوق التعفير فأنه يمتلك كثافة أعلى، فيرتفع رقم ستوكس الخاص به. وتميل الجسيمات إلى الانفصال عن التيار الهوائي والترسب مبكراً، مما يقلل مسافة الاندفاع **(Solimani et al., 2022)**. كما انها تتفق مع البحوث المنشورة حول المرشات الهوائية التي أثبتت أن سرعة الاندفاع وانخفاض حجم او كثافة الجسيم يعملان على زيادة مسافة الاختراق والانتشار داخل الهدف، بينما تنخفض المسافة بزيادة قطر الجسيم وكثافته **(Lipiński et al., 2025; Solimani et al., 2022)**.

يبين الشكل (8) مساحة النثر اثناء التعفير والتلقيح. بلغت مساحة النثر اثناء التعفير والتلقيح 0.5 و6.9 م^2. ربما يعود السبب في اتساع مساحة النثر في التلقيح يعود إلى أن خليط حبوب اللقاح مع الحامل الذي يتميز بحبيبات أنعم وكثافة ظاهرية أقل، مما يخفض سرعة الترسيب النهائية للجسيمات فيبقيها معلقةً مدة أطول وتنتشر على مساحة أكبر قبل الترسيب. بينما مسحوق التعفير أعلى كثافة، فيترسب أسرع ويغطي مساحة أصغر. أكد **Ghonimy et al. (2026)** في دراستهم على نظام تلقيح هوائي دقيق أن سرعة التدفق الهوائي كانت العامل الهندسي الرئيسي المتحكم في أداء النثر، وان زيادتها من 8.5 إلى 13.5 م/ث رفعت مدى التلقيح الفعّال من 3.13 إلى 3.93 م وخفضت التشتت. كما أن خصائص مادة الحامل (الكثافة الظاهرية، سرعة الترسيب، سلوك الانسياب) ونسبة الخلط أثرت معنوياً في مدى النثر وانتظامه **(Wang, et al., 2025)** . وهو ما يفسر الفرق بين مسحوقي التلقيح والتعفير في دراستنا الحالية. وفي الملقحات الهوائية بشكل عام، يمنح التدفق الهوائي السريع الجسيمات طاقة حركية إضافية تحقق اختراقاً أعمق وترسيباً أكثر انتظاماً على الأسطح المستهدفة **(Akhavan et al., 2021)** . اتفقت النتائج مع الدراسات الحديثة التي اكدت أن عمليات التلقيح بمساعدة الهواء تعزز الاختراق والتغطية في اجزاء الاشجار مثل عذوق النخيل. كما أشار الباحثون الى انه لخصائص حبوب لقاح النخيل وتقنيات تطبيقها، والتي أبرزت أهمية طريقة التلقيح في كفاءة التلقيح واستهلاك اللقاح **(Salomón-Torres et al., 2021)**. أكد **Karim (2022)** أن الطريقة المستخدمة تنعكس مباشرة على الصفات الزراعية والإنتاجية، مما يؤدي الى تحسين مساحة النثر في الآلة المقترحة.

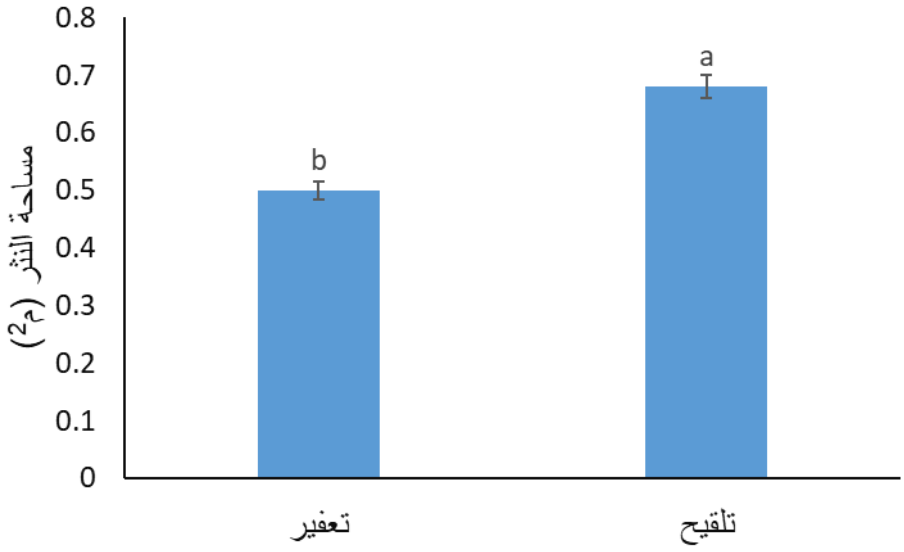
أظهرت النتائج الموضحة في الشكل **(9)** فروقاً ذات دلالة إحصائية **($p \leq 0.05$)** في معدل تصريف الآلة خلال عمليتي التعفير والتلقيح. ان معاملة التلقيح أعطت اعلى تصريف اذ بلغ 40 غم/دقيقة متفوقةً بفارق يقارب خمسة أضعاف على معاملة التعفير التي بلغت 8 غم/دقيقة. وبلغت النسبة المئوية للزيادة 400% لصالح التلقيح، في حين يعكس صِغَر أشرطة الانحراف المعياري استقراراً عالياً في نظام التغذية الهوائية وثباتاً جيداً في التدفق الكتلي للمسحوق عبر الآلة قيد الدراسة. ان تصريف الالة كان اعلى مما وحده الحلفي (2005) من ان تصريف المعفرة الترددية لأشجار النخيل بلغ 10 سم^3 / دقيقة. يعكس هذا الفرق الكبير اختلاف المتطلبات

الزراعية والخصائص الفيزيائية للمسحوقين وإعدادات التشغيل معاً. ففي معاملة التلقيح يتم خلط اللقاح بحامل خفيف لتحسين الانسيابية والتوزيع، وأن الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والهوائية لمادة الحامل، مثل الكثافة الظاهرية وسلوك الانسياب وسرعة الترسيب عامل حاسم في تحقيق نقل هوائي مستقر وتوزيع منتظم للتلقيح **(Ghonimy et al., 2026)** . كما أن سرعة التدفق الهوائي كانت العامل الهندسي الرئيسي المتحكم في معدل تصريف المادة، إذ ارتفع معدل التصريف من 9.57 غم/ثانية عند سرعة 8.5 م/ث إلى 12.19 غم/ثانية عند 13.5 م/ث **(Ghonimy et al., 2026)** . ومن ثم فإن معدل التصريف الأعلى في وضع التلقيح يعكس استخدام تدفق هوائي وإعدادات تغذية أعلى لضمان إيصال كمية كافية من خليط اللقاح والحامل إلى العذوق الأنثوية.

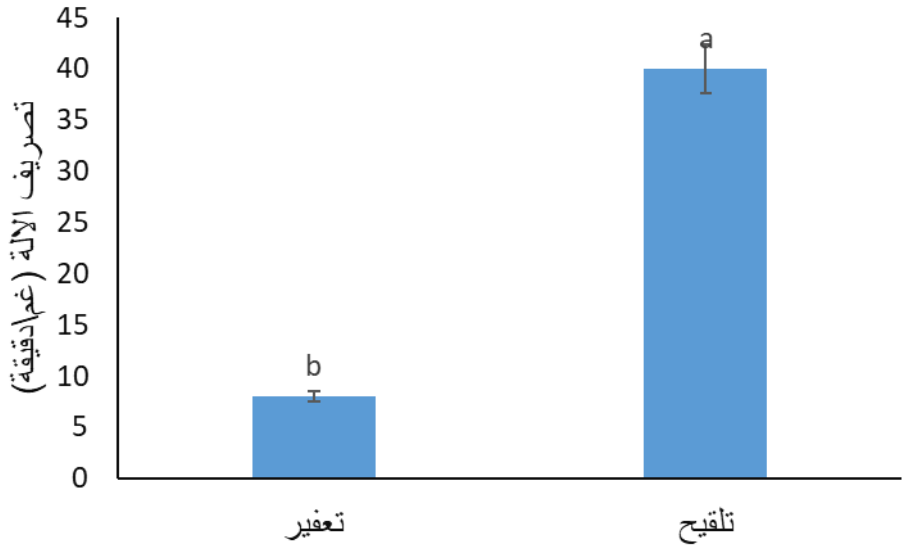
اما بالنسبة الى انتاجية الالة العملية والمتوقعة باستخدام برنامج **ANFIS** (شكل 10)، فقد أظهرت النتائج ان إنتاجية الالة العملية والمتوقعة باستخدام برنامج **ANFIS** عند استخدامها كمعفرة كانت 11 و10.99 نخلة / ساعة على التوالي، بينما إنتاجية الطريقة اليدوية فقد كانت 8 و7.96 نخلة /ساعة على التوالي، كما بلغت إنتاجية الالة عند استخدامها كملقحة والطريقة التقليدية 12 و 11.99 نخلة/ ساعة، 9 و 8.97 نخلة / ساعة على التوالي. يتضح من النتائج ان الإنتاجية اثناء التلقيح والتعفير زادت بمقدار 37.5% و33.33%على التوالي مقارنة بالطريقة اليدوية. أوضح إبراهيم والحلفي (2002) ان إنتاجية المعفرة والملقحة تراوحت بين 4-25 نخلة / ساعة عند زيادة زاوية الزوائد في مروحة المعفرة الترددية من(0-90) درجة على التوالي عند استخدامها كملقحة (الحلفي،2005) لم تظهر فروق معنوية **(P<0.05)** بين الإنتاجية العملية والمتوقعة باستخدام الذكاء الاصطناعي بطريقة **ANFIS.**وكان معدل مربع الخطأ 1.05×10^{-5} كما هو موضح في شكل (10). اما شكل(11) يوضح القواعد **(rules)** الخاصة بالتنبؤ بالإنتاجية ببرنامج**ANFIS.**



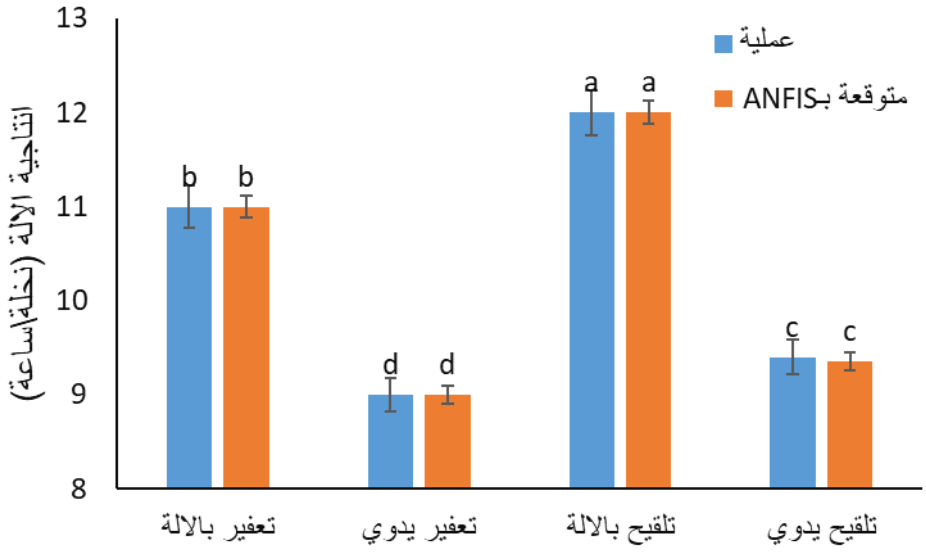
شكل (7). المسافة التي يندفع بها المسحوق بعيدا عن الالة اثناء التلقيح والتعفير.



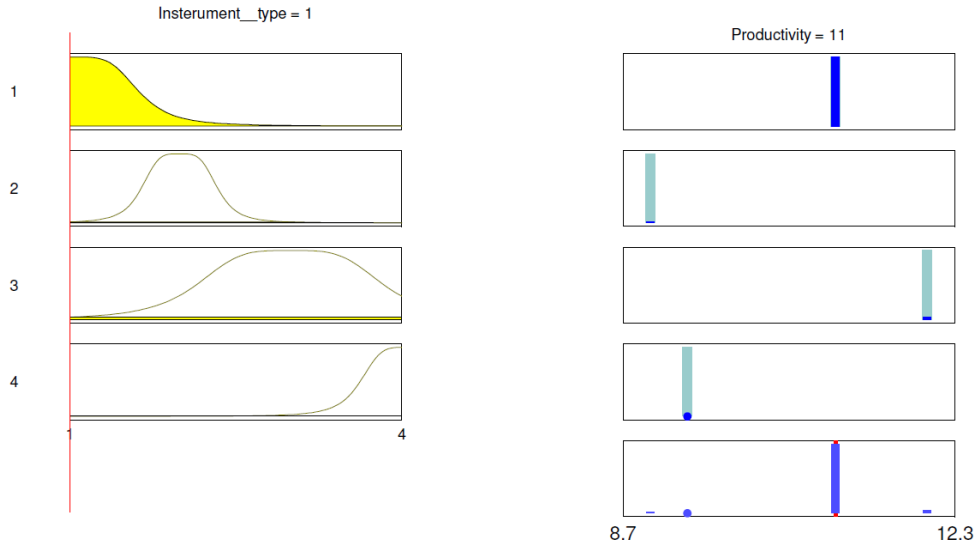
شكل (8). مساحة النشر للمسحوق اثناء التلقيح والتعفير.



شكل (9). تصريف الالة للمسحوق اثناء التلقيح والتعفير.



شكل (10). إنتاجية الالة العملية والمتوقعة ب ANFIS اثناء التلقيح والتعفير.



شكل (11). القواعد (rules) الخاصة بالتنبؤ بالإنتاجية ببرنامج ANFIS.

الجدوى الاقتصادية

يوضـــح جدول (2) مكونات الالة واســـعارها بالدينار العراقي والكلفة الكلية بالدينار العراقي وبالدولار. بلغت الكلفة الكلية لتصـــنيع المعفرة والملقحة 71914 دينارًا عراقيًا. وتُعد هذه الكلفة منخفضـة نسبيًا، مما يدل على الجدوى الاقتصـادية الجيدة للجهاز وإمكانية اعتماده في عمليات تلقيح النخيل مع تقليل الجهد والوقت.

تظهر النتائج المستحصلة في جدول (3) والذي يمثل الجدوى الاقتصادية للملقحة والمعفرة قيد الدراسة ل500 نخلة ،أن التلقيح بالآلة الهوائية حقق زيادة متوقعة قدرها 11% في الإنتاجية مقارنة بالتلقيح اليدوي. هذه النتيجة تتوافق مع ما توصلت إليه عدة دراسات منشورة في مجال التلقيح الميكانيكي للنخيل

بالنسبة الى قيمة الزيادة المالية، تُمثل هذه القيمة العائد المالي الناتج عن زيادة إنتاج 1,782 كغم من التمور بسعر 640،2 دينار/كغم. هذا العائد هو لموسم واحداً فقط، مما يعني أن العائد السنوي المتوقع 4,704,480 دينار/موسم والعائد التراكمي على مدى العمر الافتراضي للآلة (5 سنوات) 23,522,400 دينار. أن تحسين عمليات التلقيح في مزارع النخيل يمكن أن يزيد الإنتاجية و يوفر عوائد مالية كبيرة للمزارعين، خاصة في الدول المنتجة للتمور مثل العراق.

تُمثل الكلفة الكلية للجهاز 71,914 دينار عراقي (54.48 دولار أمريكي) استثماراً منخفضاً جداً مقارنة بالآلات الزراعية الأخرى. هذا الانخفاض في التكلفة يعود الى بساطة التصميم اذ الآلة تعتمد على مبدأ الهواء المدفوع بمنفاخ صغير بدلاً من المحركات الكهربائية. كذلك استخدام مواد محلية أدت الى تقليل تكاليف الاستيراد والنقل، وعدم الحاجة إلى قطع غيار معقدة مما يقلل من تكاليف الصيانة.

تُعد نسبة العائد إلى الكلفة البالغة 8.35 نسبة عالية. هذه الزيادة تعزى إلى انخفاض التكلفة الاستثمارية الأولية (914،71 دينار) مقابل العائد المالي المرتفع (4,704,480 دينار). فترة الاسترداد البالغة 0.107 موسم تعني أن المزارع يسترد تكلفة الجهاز في حوالي 4% من الموسم الواحد. بالنسبة للتوفير في التكاليف فقد بلغ 57.7% مقارنة بالتلقيح اليدوي وهذا يُعد توفيراً كبيراً وملموساً. هذا التوفير ناتج عن تقليل العمالة والآلة تحتاج إلى عامل واحد مقابل عاملين للطريقة اليدوية وأيضا تقليل الوقت لإتمام التلقيح مما يعني أجور أقل وتقليل معدات السلامة لعدم الحاجة إلى معدات التسلق الباهظة.. بلغ التوفير في الوقت 21.7% اذ له أهمية خاصة في سياق زراعة النخيل، حيث النافذة البيولوجية للتلقيح محدودة (10–20 يوماً) كذلك الظروف الجوية قد تقلل هذه الفترة.ان السرعة في التلقيح تعني إتمام العملية في الوقت الأمثل.

جدول (2). مكونات الالة واسعارها

ت	الاجزاء	الكلفة	
1	منفاخ الهواء	5000	دينار عراقي
2	عكس قائم الزاوية	1000	دينار عراقي
3	سلك كهربائي بطول 5 م	1250	دينار عراقي
4	مفتاح تشغيل	1000	دينار عراقي
5	خزان الالة	3000	دينار عراقي
6	بطارية	5000	دينار عراقي
7	براغي	1000	دينار عراقي
9	عمود تلسكوبي	5000	دينار عراقي
10	المجموع	22250	دينار عراقي
11	تكاليف العمالة والتصميم والنقل	49664	دينار عراقي
10	المجموع	71914	دينار عراقي
11	المجموع بالدولار	54.5	دولار امريكي

جدول (3). الجدوى الاقتصادية للملقحة والمعفرة قيد الدراسة لـ500 نخلة.

الصفات	القيم
عدد النخيل الملقحة	500
وزن المنتج في النخلة الواحدة (كغم/نخلة)	32.4
الإنتاج الكلي لـ 500 نخلة (كغم)	16200
نسبة الزيادة المتوقعة*	%11
كمية الزيادة (كغم)	1,782
سعر الكيلوغرام (دينارعراقي/كغم)	2640
قيمة الزيادة المالية (دينار عراقي)	4,704,480
الكلفة الكلية للجهاز (دينارعراقي)	71,914
العائد الصافي المتوقع (دينارعراقي)	4,201,693
نسبة العائد إلى الكلفة	8.35
فترة الاسترداد	0.107 موسم
نسبة التوفير مقارنة بالتلقيح اليدوي (%)	57.7
نسبة التوفير في الوقت (%)	21.7

* حسبت الزيادة المتوقعة في الإنتاج من العينة التجريبية (10 نخلات):

نسبة الزيادة المتوقعة = ((متوسط وزن العذق (تلقيح بالألة) - متوسط وزن العذق (تلقيح باليدوي) \متوسط وزن العذق (تلقيح باليدوي))×100

المحددات الميدانية والنطاق المستقبلي

على الرغم من الجدوى للملقحة والمعفرة قيد الدراسة الحالية، الا انها تواجه تحديات ميدانية تشمل انجراف المسحوق بالرياح ومحدودية ارتفاع الملقحة والمعفرة (5 أمتار) وتكتل المواد بسبب الرطوبة واحتمال تأثر حيوية اللقاح وضوضاء التشغيل. ولتجاوز هذه المحددات، سيركز النطاق المستقبلي على دمج دروع هوائية وأذرع تلسكوبية أو أنظمة طائرات مسيرة وتحسين انسيابية المسحوق وهندسة الفوهات عبر محاكاة ديناميكا الموائع (CFD). إضافة الى ذلك، إجراء تجارب حقلية موسعة لإتمام التقييمين الاقتصادي والبيئي اثناء العمل.

استنتاج

تبين من خلال النتائج المستحصلة انه يمكن تلقيح وتعفير أشجار النخيل بهذه الالة المصنعة محليا، مما أدى الى تحسين إنتاجيتها في عمليتي تلقيح وتعفير أشجار النخيل. تميزت الالة بان انتاجيتها في عمليتي التلقيح والتعفير اعلى من الطريقة اليدوية. بلغت الكلفة التصنيعية للآلة 71,914 دينار عراقي مع امكانية التنبؤ بالإنتاجية باستخدام الذكاء الاصطناعي بطريقة ANFIS وبمقدار خطأ منخفض جدا. وخلصت الدراسة إلى أن آلة التلقيح هذه تتمتع بموثوقية وكفاءة عاليتين في التحكم في معدل تطبيق حبوب اللقاح، مما يقلل من فقدان حبوب اللقاح إلى الحد الأدنى، ويوفر التكلفة والوقت، ويتغلب على العيوب المرتبطة بالتلقيح اليدوي.

الشكر والتقدير

يقدم الباحثون الشكر والتقدير لكلية الزراعة وبالخصوص قسم البستنة وهندسة الحدائق وقسم علوم الاغذية في تسهيل اجراءات البحث

الاخلاقيات البحثية: يؤكد الباحثين على معالجة اية قضايا اخلاقية قد تنشأ بعد نشر هذا البحث.

ازدواجية الاهتمام: نحن الباحثين نعلن بانه ليس لدينا ازدواجية اهتمام مرتبطة بهذا البحث.

مساهمات المؤلف: قام الباحث الأول اسعد رحمان الحلفي بتطوير وتصميم الدراسة وجمع البيانات المساهمة أو أدوات التحليل، وصياغة الورقة العلمية والمراجعة للسياق الفكري المهم اما الباحث الثاني عبد الباسط عودة إبراهيم:قام بجمعالبيانات المساهمة و أدوات التحليل والموافقة على النسخة النهائية للمخطوطة صياغتها مع المراجعة للسياق الفكري المهم، اما الباحث الثالث اثير عبد الأمير عبد الجبار فقد جمع البيانات، وأجرى تحليل وتفسير البيانات، والموافقة على النسخة النهائية للمخطوطة، في حين قام الباحث الرابع صباح مالك الشطي بمراجعة الكتابة وتدقيقها وتوثيق المراجع الواردة فيها مع تدقيق الجداول والاشكال ومراسلة المجلة والمتابعة ، مع الموافقة على النسخة النهائية للمخطوطة.

التمويل: لم يتلقى هذا البحث أي تمويل خارجي او دعم مالي لا بل هو جهد شخصي للباحثين المشتركين في البحث

المراجع

إبراهيم، عبد الباسط عودة (2019). زراعة النخيل وجودة التمور بين عوامل البيئة وبرامج الخدمة والرعاية. الامانة العامة لجائزة خليفة الدولية لنخيل التمر والابتكار الزراعي. دائرة خليفة الدولية لنخيل التمر والابتكار الزراعي. رقم التصنيف الدولي للكتاب . ISBN 978-9948-37-107-6. 432 صفحة.

ابراهيم، عبد الباسط عودة والحلفي، أسعد رحمان (2001). تصميم وتصنيع واختبار آلة تلقيح وتعفير أشجار نخيل التمر. مجلة البصرة لأبحاث نخلة التمر، المجلد 1، العدد2، ص 8-18.

إبراهيم، عبد الباسط عودة والحلفي، اسعد رحمان (2002). الة تعفير وتلقيح كهربائية لأشجار النخيل. براءة اختراع المرقمة 3045 في 2002/5/2. الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية. بغداد. العراق.

الجابري، إبراهيم عبد الرسول (1987). أسس مكافحة الآفات. مطبعة جامعة الموصل. العراق.614 صفحة.

الحلفي، أسعد رحمان (2005). تصميم معفرة ترددية الأشجار نخيل التمر. مجلة أبحاث البصرة (العلميات)، العدد31، الجزء الثاني، ص50-63.

العوضي، محمد نبيل (1985). هندسة الات الرش وتوزيع المواد الحقلية. قسم الهندسة الزراعية كلية الزراعة، جامعة عين شمس، مصر.136 صفحة

الكواليت، نايل (2020). الجدوى الاقتصادية لإنشاء مشروع اقتصادي.

https://www.unescwa.org/sites/default/files/event/materials/%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%AF%D9%88%D9%89%20%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF%D9%8A%D8%A9_0.pdf

تاريخ الدخول 27-6-2026

بكه (2025). دراسة الجدوى الاقتصادية – الأهمية والمراحل ومعايير التقييم وأبرز القيود. شركة رائدة في تقديم خدمات التعليم المهني والتطوير. المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني– الرياض –المملكة العربية السعودية

https://bakkah.com/ar/knowledge-center/%D8%AF%D8%B1%D8%A7%D8%B3%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%AC%D8%AF%D9%88%D9%89-%D8%A7%D9%84%D8%A7%D9%82%D8%AA%D8%B5%D8%A7%D8%AF%D9%8A%D8%A9

تاريخ الدخول 27-6-2026.

حسين، لطفي وعزت، عبد السلام محمود (1978). مكننة المحاصيل الحقلية، مطبعة جامعة بغداد، العراق.

غالب، حسام حسن علي (1986). النخيل العملي. مطبعة جامعة البصرة، العراق،409 صفحة.

Akhavan, F., Kamgar, S., Nematollahi, M. A., Golneshan, A., Nassiri, S., & Khaneghah, A. M. (2021). Design, development, and performance evaluation of a ducted fan date palm *(Phoenix dactylifera* L.) pollinator. Scientia Horticulturae,. 277, 109808. pp: 1-6 https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109808

Al- Raisi, Y., Ben-Salah, M., Al-Sabahi, S., Al -Amri, S., Al- Bousaidi, I., & Dhehibi, B. (2018). Liquid pollination technology as new technology to ameliorate date palm pollination and facilitate date palm field operations. The Sixth International Date Palm Conference (SIDPC) Abu Dhabi -UAE: 19 – 21 March, 2018.

Alsaedi, A. W. M., Al-Hilphy, A. R., Al-Mousawi, A. J., & Gavahian, M. (2024). Artificial intelligence-based modeling of novel non-thermal milk pasteurization to achieve desirable color and predict quality parameters during storage. Journal of Food Process Engineering, 47(6), e14658. https://doi.org/10.1111/jfpe.14658

Broussard, M.A., Coates, M. T., & Martinsen, P. (2023). Artificial pollination technologies: A review. Agronomy. 13(5), 1351 .https://doi.org/10.3390/agronomy13051351

Dahab, M. H., Osman, M. S., & Abdalla, O. A. (2020). Comparison of locally developed date palm pollination machine with manual pollination under shambat condition – Sudan. Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research, 7(2), 16–25. https://doi.org/10.9734/ajahr/2020/v7i230091

Dawoud, D., & El-Rauof, F. A. (2021). Effect of different pollination techniques on fruit set, fruit

quality and yield of Barhi date palm cultivar. Egyptian International Journal of Palms, 1(2), 34-42 . https://doi.org/10.21608/esjp.2021.247989

Ghonimy, M., Ibrahim, M. M., & Abd El Rahman, E. (2026). Precision pneumatic pollination for sustainable agricultural practices in date palm cultivation. *Sustainability*, *18*(15), 7650. https://www.mdpi.com/2071-1050/18/15/7650

Halabi, L. M., Mekhilef, S., & Hossain, M. (2018). Performance evaluation of hybrid adaptive neuro-fuzzy inference system models for predicting monthly global solar radiation. Applied Energy, 213, 247-261. https://doi.org/ 10.1016/j.apenergy.2018.01.035

Jamro, M. M. U. R., Sirohi, M. H., Mirbahar, A. A., Lal, S., & Saand, M. A. (2020). Production and quality of Date fruit in response to pollination methods. Pure and Applied Biology. 9(3):1737-1742.https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90184

Jang, J. S. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665-685. https://doi.org/ 10.1109/21.256541

Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997) Neuro-fuzzy and soft computing: A computational approach to learning and machine intelligence. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.614p .

Karim, K., Karim, A., Hamza, H., Manar, A., Karmous, C., & Bettaieb, T. (2022). Effect of pollination technique on agronomic and physicochemical characteristics of date palm fruits (*Phoenix dactylifera* L.) cv. 'Deglet Nour'. Korean Journal of Horticultural Science and Technology. 40(2), 121-133. https://doi.org/10.7235/hort.20220012

Kumawat, P., Rathore, R., Singh, R., & Kumar, S. (2022). Study the effect of different pollination techniques on date palm production. Sugar Tech., 24, 1887 - 1893. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01152-0

Lipiński, S., Kaliniewicz, Z., Markowski, P., & Szczyglak, P. (2025). Evaluation of air-assisted spraying technology for pesticide drift reduction. Sustainability, 17(11), 5036.; **https://doi.org/10.3390/su17115036**

MATLAB: MATrix LABorator (2014). MATLAB version 8.3 (R2014a). Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.

Matthews, G., Bateman, R., & Taylor, P. (2014). Pesticide Application Methods. (4th ed.). Wiley-Blackwell.

Mitra, S., & Hayashi, Y. (2000). Neuro-fuzzy rule generation: Survey in soft computing framework. IEEE Transactions on Neural Networks, 11(3), 748-768. https://doi.org/10.1109/72.846746

Munir, M. (2020). A comparative study of pollination methods effect on the changes in fruit yield and quality of date palm cultivar Khalas. Asian Journal of Agriculture and Biology, 8, 147-157. https://doi.org/10.35495/ajab.2019.11.537

Nayak, J. G., Patki, V. K., Nayak, R. J., Sahu, R., Patil, M. B., & Patil, Y. (2024). Adaptive neuro fuzzy inference system-based water quality index for Godavari river (India). International Journal of

Multiphysics, 18 (3) :1003-1011. https://doi.org/10.52783/ijm.v18.1398

Nourani, A., Kadri, A., Benguiga, Z., Mehenni, M., Salem, A., & Kaci, F. (2017). Réalisation d'un pollinisateur du palmier dattier . Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires**,** 5 (3):319-324. (In France)

Rehna, V., Naik, S., Siddique, A., Al-Shammakhi, N., Al-Muqrashi, N., & Al-Shukri, S. (2024). Maximizing date palm yield: Automatic extension sprinklers for enhanced aerial pollination. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1401. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1401/1/012011

Salomón-Torres, R., Krueger, R., García-Vázquez, J. P., Villa-Angulo, R., Villa-Angulo, C., Ortiz-Uribe, N., Sol-Uribe, J. A., & Samaniego-Sandoval, L. (2021). Date palm pollen: Features, production, extraction and pollination methods. Agronomy, 11(3), 504. https://doi.org/10.3390/agronomy11030504

Sharma, K. M., Baidiyavadra, D. A., & Chaudhary, H. (2021). Artificial pollination in date palm: A review. Indian Journal of Arid Horticulture. 3(1&2):1-7 https://doi.org/10.48165/ijah.2021.3.1.1

Solimani, F., Rahnama, M., Asoodar, M. A., Raini, M. G. N., & Hormozi, M. A. (2022). Influence of the nozzle type, air-assisted velocity, and wind velocity on the measurements of spray drift potential of boom sprayers. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *24*(2). 13p. AgricEngInt: CIGR Journal Open access at http://www.cigrjournal.org

SPSS**:** Statistical Package for the Social Sciences (2020). IBM SPSS Statistics for Windows (Version 27.0) [Computer software]. IBM Corp

Viswavandya, M., Sarangi, B., Mohanty, S., & Mohanty, A. (2019). Short term solar energy forecasting by using fuzzy logic and ANFIS. In: Computational Intelligence in Data Mining: Proceedings of the International Conference on ICCIDM 2018 (pp: 751-765). Singapore: Springer, Singapore.

Wang, G., Li, Z., Jia, W., Ou, M., Dong, X., Zhang, Z. A. (2025). Review on the evolution of air-assisted spraying in orchards and the associated leaf motion during spraying. *Agriculture*. 2025; 15(9):964. https://doi.org/10.3390/agriculture15090964

White, F. M. (2016). Fluid Mechanics. (8th ed.). McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, ISBN 978-9-38-596549-4