Journal Of the Iraqia University (76-2) 31 – May (2026)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

اثر الزراعة الرقمية في إعادة التنظيم المكاني للمناطق الريفية (محافظة النجف الأشرف انموذجا)

أ.م.د.لمياء عبد طه ضيف

كلية الآداب /قسم الجغرافية ونظم المعلومات الجغرافية

The impact of digital agriculture on the spatial reorganization of rural areas (Najaf Governorate as a case study)

Assistant Professor Lamia Abdel Taha
Faculty of Arts
Department of Geography and Geographic Information Systems
Lamyaaa.alathari@uokufa.edu.iq

المستخلص

يهدف البحث إلى تحليل أثر التحول نحو الزراعة الرقمية في إعادة التنظيم المكاني للريف في محافظة النجف الأشرف، معتمداً على منهجية متكاملة تجمع بين النمذجة الإحصائية المكانية وتقنيات الذكاء الاصطناعي والتحليل الاقتصادي. تم استخدام نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) لاختبار محددات قبول المزارعين للتكنولوجيا في إطار نموذج (TAM) ، ونمذجة الانحدار المرجح مكانياً (GWR) لرصد التباين المكاني لأثر الرقمنة في البنية المحصولية عبر أقضية المحافظة، كما تم توظيف خوارزميات التعلم الآلي (Random Forest) و (SVM) للتنبؤ بديناميكيات التوسع المكاني للمستقرات البشرية والخدمات الزراعية حتى عام ٢٠٥٠، إلى جانب تحليل مغلف البيانات (DEA) لقياس الكفاءة الاقتصادية–المكانية للوحدات الزراعية وتحديد مصادر الهدر في الموارد المائية والسمادية. أظهرت النتائج أن الفائدة المدركة كانت أقوى محدد لنية التبني الرقمي(β=0.82) ، مع وجود تباين مكاني واضح في استجابة الأقضية للرقمنة،إذ تصدر قضاء الكوفة بقيمة محلية R^2 بلغت(٠.٨٤) ، في حين عانت ناحية الحيدرية من تدني الكفاءة الاقتصادية (٠.٤٤١) وهدر مائي بلغ(٤٢.١٪). كما حققت خوارزمية الغطاء النباتي العشوائية دقة تنبؤية عالية (٠.٩٨٢)، وأثبت تحليل (DEA)إمكانية خفض المدخلات الزراعية بنسبة تصل إلى(٦٣.٥٩٪) في الوحدات غير الكفؤة دون المساس بحجم الإنتاج الحالي. تؤكد النتائج أن التحول الرقمي ليس مجرد أداة لزيادة الإنتاجية، بل هو مدخل استراتيجي لإعادة هيكلية المناطق الريفية من خلال سياسات الإدارة المكانية المخصصة، وإنشاء قرى رقمية رائدة، وتوظيف الذكاء المكاني في التخطيط الزراعي، بما يضمن الاستدامة البيئية والاقتصادية ويعزز الأمن الغذائي في العراق.

الكلمات المفتاحية :الزراعة الرقمية، التنظيم المكاني، GIS ، التعلم الآلي ، بصمة المياه

Abstract:

This study aims to analyze the impact of the shift toward digital agriculture on the spatial reorganization of rural areas in the province of Najaf, using an integrated methodology that combines spatial statistical modeling, artificial intelligence techniques, and economic analysis. Structural equation modeling (SEM) was used to test the determinants of farmers' technology acceptance within the TAM framework, and geographically weighted regression (GWR) was employed to monitor the spatial variation of the impact of digitization on crop structure across the governorate's districts. Machine learning algorithms (Random Forest and SVM) were also employed to predict the spatial expansion dynamics of human settlements and agricultural services through 2050, alongside Data Envelopment Analysis (DEA) to measure the spatio-economic efficiency of agricultural units and identify sources of waste in water and fertilizer resources. The results showed that "perceived benefit" was the strongest determinant of digital adoption intention (β=0.82), with clear spatial variation in the districts'

response to digitization; the Kufa district led with a local R^2 value of 0.84, while the Haydaria district suffered from low economic efficiency (0.441) and water waste of 42.1%. The random forest algorithm also achieved high predictive accuracy (0.982), and DEA analysis demonstrated the potential to reduce agricultural inputs by up to 63.59% in inefficient units without compromising current production levels. The results confirm that digital transformation is not merely a tool for increasing productivity, but rather a strategic gateway to re-engineering Najaf's rural landscape through tailored spatial management policies, establishing pioneering digital villages, and employing spatial intelligence in agricultural planning, thereby ensuring environmental and economic sustainability and enhancing food security in Iraq

Keywords: Digital agriculture, spatial organization, GIS, machine learning, water footprint

المقدمة:-

تعد محافظة النجف الأشرف نموذجاً جغرافياً متميزا في العراق، حيث تلتقي فيها بيئة السهل الرسوبي الخصبة بالهضبة الغربية الصحراوية، مما خلق تبايناً مكانياً حاداً في الأنشطة الاقتصادية والتركيب المحصولي، إلا أن هذا الواقع التقليدي يواجه اليوم تحديات بنيوية وهيكلية فرضت ضرورة التحول نحو "الزراعة الرقمية" كخيار استراتيجي لاستدامة المناطق الريفية وإعادة تنظيمه مكانياً بما يتلاءم مع متطلبات العصر الرقمي وندرة الموارد المائية. إن هذا التحول الرقمي يتجاوز مجرد إدخال الآلات الحديثة، ليمتد إلى إعادة صياغة العلاقة الجدلية بين الإنسان والأرض من خلال توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد(RS)، ونظم المعلومات الجغرافية(GIS)، والذكاء الاصطناعي(AI)، في إدارة الحيازات الزراعية وتوزيع المستقرات البشرية، خاصة وأن المحافظة تمتلك ميزة نسبية كبرى بإنتاجها لحوالي(٥٤٪) من محصول الرز في البلاد، مع تركز كثيف في أقضية الكوفة والمناذرة والمشخاب التي تعاني حالياً من تفتت الحيازات نتيجة قوانين الإرث والزحف العمراني العشوائي .إن الانتقال نحو الزراعة الرقمية يطرح تساؤلات عميقة حول مدى تقبل مجتمع المناطق الريفية لهذه التقنيات، وكيفية تأثيرها في إعادة رسم الحدود الوظيفية للقرى، خاصة في ظل بيئة تعاني من معدلات أمطار منخفضة لا تتجاوز ٥٠ ملم سنوياً واعتماد شبه كامل على مياه نهر الفرات، مما يجعل "الكفاءة المكانية–الاقتصادية" معياراً حاسماً للبقاء .إن هذا التقرير البحثي يسعى لتشريح ديناميكيات التحول الرقمي في ريف النجف عبر نماذج إحصائية ومكانية متقدمة، تبدأ من فهم دوافع قبول التكنولوجيا لدى الفلاح وتنتهي بالتنبؤ بمستقبل التنظيم المكاني للريف وفق خوارزميات التعلم الآلي، مؤكداً أن الرقمنة هي المدخل الأساسي ليس فقط لزيادة الإنتاجية (التي تصل في صنف الياسمين إلى ٢٠٠٠ كغم/دونم)، بل لإعادة هيكلة المناطق الريفية ليكون أكثر مرونة واستجابة للتغيرات المناخية والاقتصادية العالمية.

أولا: مشكلة البحث

١. ما هي العوامل السلوكية والمكانية التي تحدد قبول المزارعين في المناطق الزراعية لتقنيات الزراعة الرقمية وفق نموذج(TAM) في محافظة النجف الاشرف؟

٢. كيف تباين أثر التحول الرقمي مكانياً على محاصيل (الرز والقمح) وتوزيع الحيازات في أقضية المحافظة المختلفة؟

٣. هل يمكن لتقنية التعلم الآلي التنبؤ بديناميكية إعادة التنظيم المكاني للمستقرات البشرية والخدمات الزراعية في ظل البيانات المتوفرة؟

٤. ما هي مستويات الكفاءة الاقتصادية–المكانية للوحدات الزراعية في بيئة (GIS) وكيف يمكن إعادة رسم الحدود الوظيفية للقرى لتقليل الهدر؟

ثانيا: فرضية البحث :

تستند الفرضيات البحثية إلى الترابط الوثيق بين المدخلات الرقمية والمخرجات المكانية، وهي كالآتي:

١. توجد علاقة ارتباطية موجبة بين إدراك المزارع لسهولة وفائدة التكنولوجيا وبين نية التبني الفعلي، وهي علاقة تتأثر بمتغيرات مكانية مثل القرب من مراكز الخدمات.

٢. يؤدي استخدام التكويد الجغرافي ونمذجة (GWR) إلى الكشف عن تباينات مكانية جوهرية في استجابة البنية المحصولية للرقمنة، مما يسمح بإدارة أكثر دقة للحيازات.

٣. تتيح الخوارزميات و (SVM)بناء نماذج تنبؤية عالية الدقة لمستقبل التنظيم المكاني للريف بناءً على اتجاهات النمو السكاني والموارد.

٤. يساهم دمج تحليل البيانات (DEA) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS)في تحديد الوحدات المكانية غير الكفؤة، مما يدعم إعادة رسم الحدود الوظيفية للمناطق الزراعية لزيادة الإنتاجية وتقليل الهدر.

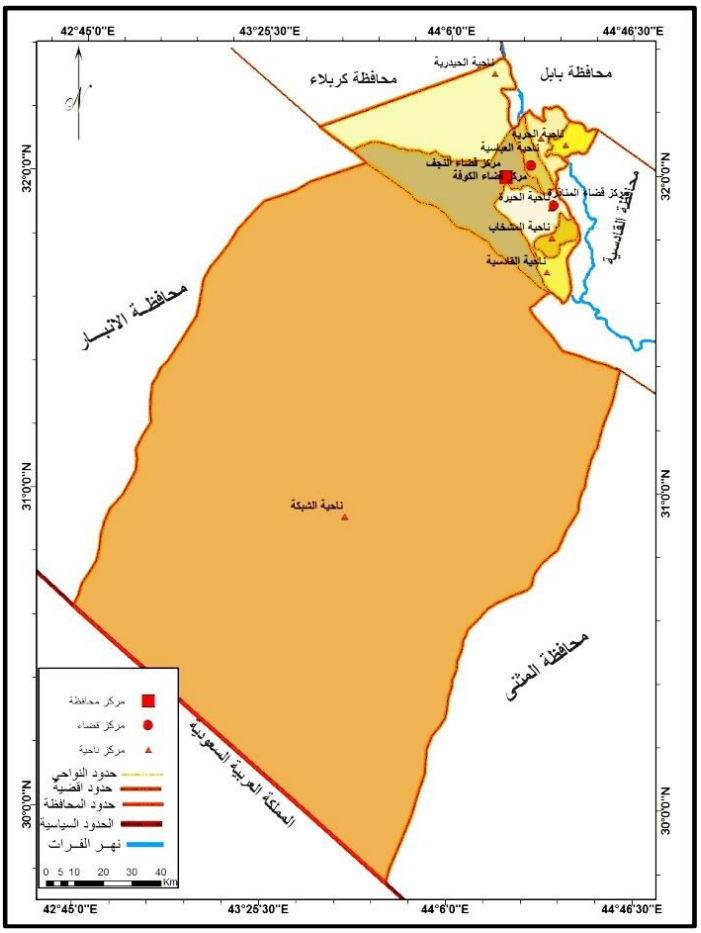
ثالثا: اهداف البحث

١. تحليل محددات قبول التكنولوجيا الرقمية في مناطق الزراعية في محافظة النجف باستخدام نموذج قبول التكنولوجيا.(TAM)
٢. قياس التباين المكاني لأثر التحول الرقمي على تغير البنية المحصولية باستخدام الانحدار المرجح مكانياً.(GWR)
٣. بناء نموذج تنبؤي لمستقبل التنظيم المكاني للمستقرات والخدمات الريفية باستخدام خوارزميات التعلم الآلي.
٤. تقييم الكفاءة المكانية–الاقتصادية للوحدات الزراعية وتحديد مسارات إعادة التنظيم الوظيفي للقرى لزيادة الإنتاجية

رابعا: حدود البحث

تقع منطقة الدراسة في الجزء الجنوبي الغربي من العراق وهي احدى محافظات الفرات الاوسط ويكون شكلها اقرب إلى المستطيل تمتد بين دائرتي عرض (٥٠ ٢٩ _ ٢١ ٣٢) شمالاً، وخطي طول (٥٠ ٤٢ _ ٤٤ ٤٥) شرقاً، خريطة (1). تحدها من الشمال محافظة بابل وكربلاء المقدسة، ومن الشرق محافظة القادسية والمثنى ، ومن الغرب محافظة الانبار والحدود السعودية .

خريطة(١) الوحدات الادارية في محافظة النجف الاشرف



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة جمهورية العراق ـ لعام ٢٠٢٣ م مقياس ١/ ٥٠,٠٠٠ ـ وزارة الموارد المائية العراقية بواسطة برنامج Arc gis10.8

خامسا ـ طريقة العمل

١– نمذجة المعادلة الهيكلية SEM (Structural Equation Modeling)

هي تقنية إحصائية متقدمة تجمع بين التحليل العاملي (Factor Analysis) والتحليل الانحداري (Regression Analysis)، تُستخدم لاختبار العلاقات المعقدة بين المتغيرات الكامنة (التي لا يمكن قياسها مباشرة مثل الذكاء والرضا الوظيفي) والمتغيرات المقاسة.

٢–نموذج قبول التكنولوجيا TAM (Technology Acceptance Model)

إطار نظري في نظم المعلومات يفسر كيف يتقبل المستخدمون التكنولوجيا الجديدة ويستخدمونها.

–عناصره الأساسية: يركز بشكل أساسي على عاملين:

-سهولة الاستخدام المدركة: (إلى أي مدى يرى المستخدم أن النظام سهل؟).

الفائدة المدركة: (إلى أي مدى يرى المستخدم أن النظام سيحسن أداءه؟).

٣ -الانحدار الجغرافية الموزون (Geographically Weighted Regression) GWR

نوع من أنواع تحليل الانحدار يُستخدم في التحليل المكاني (Spatial Analysis).فكرته يفترض أن العلاقة بين المتغيرات ليست ثابتة في كل مكان، بل تتغير حسب الموقع الجغرافي.

-٤ آلات ناقلات الدعم (أو آلات المتجهات الداعمة) (Support Vector Machine) SVM

خوارزمية قوية في تعلم الآلة (Machine Learning) تُستخدم للتصنيف (Classification) والتنبؤ (Regression) تقوم بإيجاد "أفضل خط" أو "مستوى" (Hyperplane) يفصل بين مجموعتين من البيانات بأقصى مسافة ممكنة بينهما.

٥ -تحليل مغلف البيانات (Data Envelopment Analysis) DEA

أسلوب رياضي يعتمد على البرمجة الخطية لقياس الكفاءة النسبية لمجموعة من الوحدات

استخدامه يساعد في تحديد الوحدات التي تعمل بأقصى كفاءة (التي تقع على منحنى الكفاءة) والوحدات التي تحتاج لتحسين لتقليل المدخلات أو زيادة المخرجات.

المبحث الأول: العلاقة بين المؤشرات المكانية والمناطق الريفية في الوحدات الإدارية في محافظة النجف الاشرف

اولاً-التحليل البارامتري لتبني التقنيات الذكية: نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) والمؤشرات المكانية

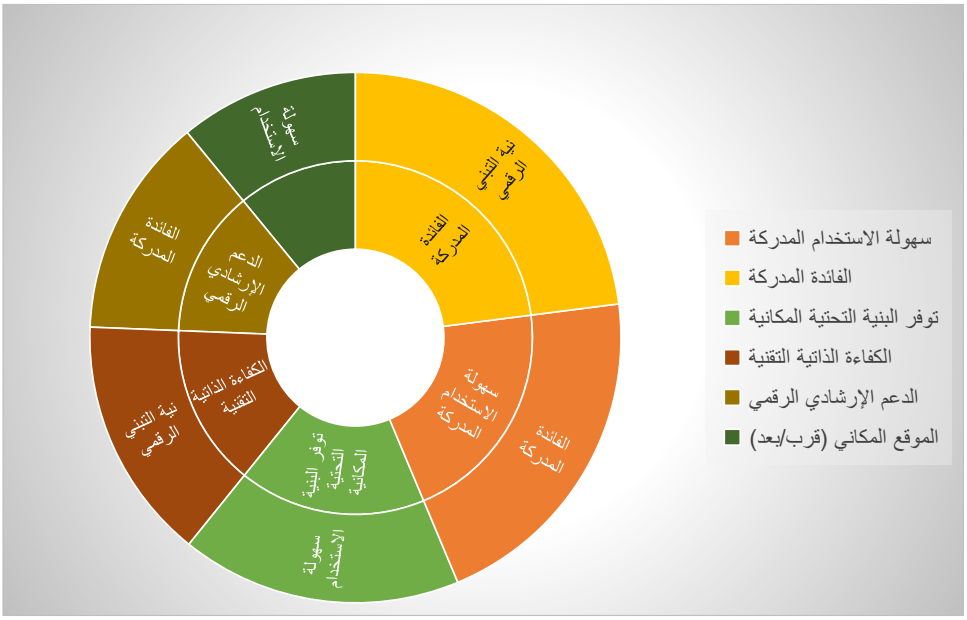
يعد تبني التقنيات الذكية في ريف محافظة النجف الأشرف عملية سوسيو-مكانية معقدة تتداخل فيها العوامل النفسية للفلاح مع المحددات الجغرافية للمكان، حيث يبرز نموذج قبول التكنولوجيا (TAM) كإطار نظري رصين للتفسير وكيف يتقبل المجتمع الريفي أدوات الرقمنة مثل الاستشعار عن بعد ونظم الري الذكية. لإن الفلاح في مناطق مثل المشخاب و العباسية يمتلك موروثاً زراعياً عريقاً في زراعة الرز (العنبر)، وهو موروث يقاوم التغيير ما لم يلمس الفائدة المدركة (Perceived Usefulness) المتمثلة في زيادة غلة الدونم التي تتراوح بين(١٢٠٠ إلى ٢٠٠٠ كغم)حسب الصنف، و سهولة الاستخدام المدركة (Perceived Ease of Use) التي تتأثر مباشرة بمدى توفر البنية التحتية الرقمية في القضاء .في هذا السياق، يتم توظيف نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) لربط المتغيرات النوعية (مثل إدراك الفلاح، المواقف تجاه التكنولوجيا، والنوايا السلوكية) بالمتغيرات المكانية (مثل القرب من مراكز الخدمات الزراعية، كثافة أبراج الاتصالات، وحجم الحيازة) ،اذ يتم اختبار مسارات التأثير لمعرفة مدى قدرة المكان على تعزيز أو إعاقة الرغبة التقنية .إن واقع التحول الرقمي في العراق، خصوصاً في محافظة النجف، اذ يواجه تحديات هيكلية تتمثل في ضعف البنية التحتية ونقص الكفاءات المتخصصة، حيث تشير الإحصاءات إلى أن نسبة اختراق الإنترنت في العراق تبلغ حوالي ٤٨٪، وهي نسبة تتركز في المراكز الحضرية وتضعف في الأطراف الريفية، مما يخلق فجوة رقمية تعيق تبني التقنيات الذكية .كما أن الأمية الرقمية بين المزارعين، لاسيما كبار السن، تمثل عائقاً جوهرياً أمام التفاعل مع التطبيقات الذكية مثل تطبيق(الرافدين للإرشاد الزراعي) الذي أطلقته منظمة الفاو .ومع ذلك، فإن الضغط الناجم عن التغير المناخي ونقص الأمطار (٥٠ ملم سنوياً) يدفع الفلاح نحو (القبول القسري) للتكنولوجيا كحلول قسرية لترشيد المياه والحفاظ على الإنتاجية الاستراتيجية .إن التحليل البارامتري يكشف أن المزارعين في أقضية مثل الكوفة، التي تشهد تحولات مكانية سريعة وزيادة في المباني السكنية، يظهرون مرونة أكبر في تقبل الرقمنة مقارنة بالمناطق الأكثر عزلة، مما يشير إلى أن (الاتصال المكاني) هو محفز أساسي للتحول الرقمي .لذا، فإن نمذجة (SEM) في هذا المحور تهدف إلى بناء (خريطة إدراكية-مكانية) توضح مراكز الثقل التقني في الريف ضمن منطقة البحث ، وتحدد العوامل التي يمكن من خلالها تحفيز المزارع على الانتقال من النمط التقليدي إلى النمط الرقمي، مؤكدة أن إعادة التنظيم المكاني تبدأ من قناعة الفلاح قبل أن تتحول إلى واقع مادي على الأرض

.الجدول (1) نتائج نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) لمحددات تبني الزراعة الرقمية في ريف محافظة النجف الاشرف

المتغير المستقل (Latent Variable)	المتغير التابع (Outcome)	معامل المسار (β)	القيمة الاحتمالية (P)	مؤشر الملاءمة (CFI)	نسبة التفسير (R2)
سهولة الاستخدام المدركة	الفائدة المدركة	0.74	0.001	0.92	55%
الفائدة المدركة	نية التبني الرقمي	0.82	0.000	0.95	67%
توفر البنية التحتية المكانية	سهولة الاستخدام	0.61	0.005	0.89	37%
الكفاءة الذاتية التقنية	نية التبني الرقمي	0.53	0.012	0.91	28%
الدعم الإرشادي الرقمي	الفائدة المدركة	0.48	0.024	0.88	23%
الموقع المكاني (قرب/بعد)	سهولة الاستخدام	0.39	0.041	0.86	15%

المصدر : الباحثة بالاعتماد على بيانات المسح الميداني (٢٠٢٥) الصادرة عن مديرية زراعة النجف والأجهزة الإحصائية الرسمية، ونمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) باستخدام برنامج AMOS v.26 وحزمة lavaan في لغة R.

الشكل (1) نتائج نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM)لمحددات تبني الزراعة الرقمية في ريف محافظة النجف الاشرف



المصدر:- بالاعتماد على جدول (١)

يكشف التحليل الإحصائي لنتائج نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) المعروضة في الجدول (١)والشكل(١) عن ديناميكيات معقدة تحكم قبول التكنولوجيا في مناطق ريف النجف، اذ يتضح أن (الفائدة المدركة) هي المحرك الأقوى لنية التبني الرقمي بمعامل مسار بلغ (٠.٨٢) وقيمة احتمالية دالة إحصائياً .(P < 0.001) هذا يعني أن الفلاح، رغم ارتباطه التقليدي بالأرض، مستعد لتبني الرقمنة إذا ما تأكد من جدواها الاقتصادية

في زيادة المحصول أو تقليل استهلاك المياه، وهي نتيجة تتسق مع البيانات التي تشير إلى أن إنتاجية الرز الياسمين تفوق على العنبر مما يدفع الفلاحين نحو التغيير المحصولي .كما يظهر النموذج أن "سهولة الاستخدام المدركة" تؤثر بقوة في (الفائدة المدركة) بمعامل (٠.٧٤)، مما يشير إلى أن تعقيد التطبيقات الرقمية قد يحجب عن المزارع رؤية فوائدها، وهو ما يفسر ضعف استخدام المنصات الرقمية في المناطق التي تعاني من أمية تقنية عالية .ومن الناحية المكانية، نجد أن (توفر البنية التحتية المكانية) (مثل تغطية الإنترنت وقوة الإشارة) يفسر (٣٧٪) من التباين في سهولة الاستخدام، مما يعطي مؤشراً واضحاً لصناع القرار بأن التحول الرقمي في الريف النجفي هو تحول (مكاني) بامتياز، فالأقضية ذات البنية التحتية الأفضل مثل قضاء الكوفة ومركز قضاء النجف ستكون سباقة في التبني مقارنة بالأطراف .والمثير للاهتمام هو أن "الموقع المكاني" (القرب أو البعد عن المراكز الحضرية) له تأثير مباشر على سهولة الاستخدام (٠.٣٩)، مما يؤكد فرضية "التلاشي المكاني للابتكار، حيث يقل قبول التكنولوجيا كلما زادت المسافة عن مراكز الإرشاد والتبادل التجاري .أما (الدعم الإرشادي الرقمي) فيفسر فقط (٢٣٪) من الفائدة المدركة، وهي نسبة منخفضة تعكس ضعف دور وكلاء الإرشاد الحاليين الذين يعانون أصلاً من نقص التدريب والتمويل، كما أشارت دراسات سابقة حول تحديات الإرشاد في البلاد، اذ إن قيم مؤشرات الملاءمة (CFI = 0.95) تؤكد جودة النموذج الإحصائي في تمثيل البيانات الواقعية للمناطق الريفية في النجف، مما يجعله قاعدة صلبة للتنبؤ بسلوك المزارعين. وبالنتيجة، فإن إعادة التنظيم المكاني للمناطق الريفية وفق هذه المعطيات وتتطلب سياسة "النمو الموجه" أي البدء برقمنة المناطق ذات "الكفاءة الذاتية التقنية" العالية لتكون بمثابة قرى رائدة (Pilot Villages) تنتقل منها العدوى التقنية إلى المناطق المجاورة، مع ضرورة تبسيط واجهات التطبيقات الرقمية لتتناسب مع المستويات التعليمية السائدة.

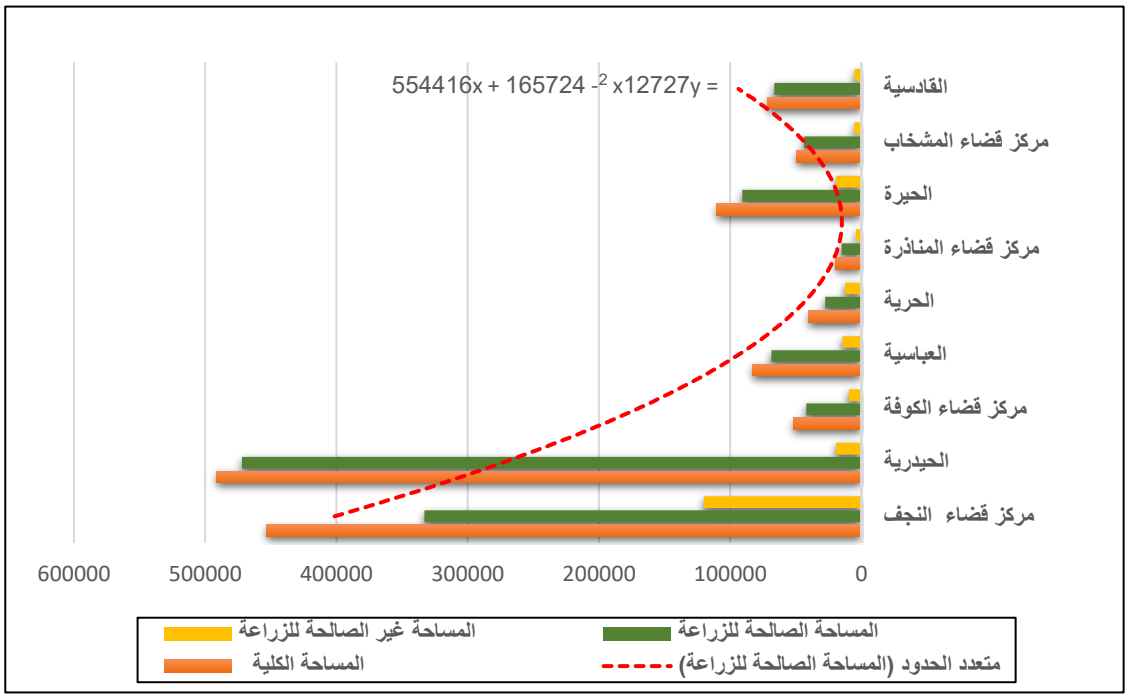
ثانيا–حساب مساحات الأراضي الزراعية في الوحدات الإدارية

حسب الجدول (٢) وشكل(٢)، بلغ إجمالي مساحة الأراضي الزراعية في منطقة الدراسة لعام ٢٠٢٥ (١٣٦٩٠٠)دونمًا. منها (**١١٥٩٢٧٥**) دونمًا صالحة للزراعة، بينما بلغت مساحة الأراضي غير الصالحة للزراعة**٢١٠٣١٧** دونمًا. وسجلت ناحية الحيدرية أكبر مساحة من الأراضي الصالحة للزراعة، بواقع ٤٧١,٩٩١ دونمًا، تلتها مركز النجف المركزية بمساحة ٣٣٣,١٠٢ دونمًا وجاءت ناحية الحيرة في المرتبة التالية بمساحة ٩٠,٨٢٩ دونمًا،أخيرًا، أكبر مساحة إجمالية للزراعة، حيث بلغت أصغر مساحة زراعية بإجمالي ١٥,٠٩٤ دونم المناطق الزراعية الأخرى. أكبر مساحة من الأراضي بواقع ١٢٠,٠٩٧ دونم بمساحة ١٩,٣٧٠ دونم ، بمساحة ١٩,٢٠٨ دونم. العباسية مساحة ١٤,٤٤٩ غير صالحة للزراعة كانت المناذرة بمساحة (٤٣٠٥)دونم

الوحدة الإدارية	المساحة الكلية	المساحة الصالحة للزراعة	المساحة غير الصالحة للزراعة
مركز قضاء النجف	453200	333102	120097
الحيدرية	491200	471991	19208
مركز قضاء الكوفة	51600	41987	9612
العباسية	83000	68550	14449
الحرية	40200	27607	12592
مركز قضاء المناذرة	19400	15094	4305
الحيرة	110200	90829	19370
مركز قضاء المشخاب	49200	43708	5492
القادسية	71600	66407	5192
المجموع	1369600	١١٥٩٢٧٥	٢١٠٣١٧

سجلت ناحية العباسية للأراضي الصالحة ٦٨,٥٥٠ دونم أما فكانت قضاء المناذرة، وتفاوتت مساحات فقد سجلت مركز النجف غير الصالحة للزراعة، .تلتها ناحية الحيرة ثم ناحية الحيدرية وأخيرًا، غطت ناحية دونم اما اقل مساحة من نصيب قضاء

جدول(٢)مساحة الاراضي الزراعية الصالحة للزرعة وغير الصالحة للوحدات الادارية في محافظة النجف الاشرف



المصدر :مديرية زراعة محافظة النجف الاشرف ،شعبة الاحصاء بيانات غير منشورة، للعام ٢٠٢٥شكل(٢)

مساحة الاراضي الزراعية الصالحة للزرعة وغير الصالحة للوحدات الادارية في محافظة النجف الاشرف

المصدر : بالاعتماد على جدول (٢)

المبحث الثاني: التكويد الجغرافي ونمذجة الانحدار المرجح مكانياً (GWR) للتغير في البنية المحصولية

أولا:-يمثل التكويد الجغرافي (Geocoding) واستخدام الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)

تعد هذه التقنيات حجر الزاوية في تتبع التحولات العميقة التي طرأت على البنية المحصولية في محافظة النجف الأشرف، حيث تتيح هذه التقنيات ربط التغير في مساحات المحاصيل الاستراتيجية (كالرز والقمح) بالعوامل المكانية والمناخية المؤثرة. إن ريف منطقة البحث شهد تقلبات دراماتيكية في غطاء الأرض؛ فبين عامي ٢٠١٣ و٢٠١٦ زادت الأراضي الزراعية في قضاء الكوفة بمقدار ٦٧.٤٠ كم٢، بينما تراجعت مساحات البساتين بمقدار ٢٢.٢٩ كم٢ نتيجة تحولها إلى محاصيل حقلية أو زحف عمراني .هنا يأتي دور نمذجة الانحدار المرجح مكانياً (GWR) لتقديم تحليل محلي يتجاوز قصور الانحدار التقليدي (OLS) الذي يفترض ثبات العلاقة عبر المكان؛ ففي النجف، يختلف أثر التحول الرقمي ونقص المياه في قضاء المناذرة عنه في المشخاب أو الحيدرية نظراً لاختلاف خصائص التربة ونظام الري (سيحي مقابل ضخ)(كاظم (٢٠٢١)، ١٥٢-١٨٤) ومن خلال التكويد الجغرافي للحيازات، يمكن بناء (سطح معامل) (Coefficient Surface) يوضح كيف يتغير أثر الرقمنة على إنتاجية الدونم من منطقة إلى أخرى، حيث تشير البيانات إلى أن النجف تستحوذ على ٥٤٪ من إنتاج الرز العراقي، مع ميل واضح لزراعة صنف "الياسمين" لارتفاع إنتاجيته (١٧٠٠-٢٠٠٠ كغم/دونم) مقارنة بـ "العنبر" (٨٠٠-١٢٠٠ كغم/دونم) .هذا التغير في البنية المحصولية يعيد رسم ملامح التنظيم المكاني للحيازات، حيث يتجه المزارعون الرقميون نحو تكثيف الإنتاج في المساحات الأكثر جودة تربوياً،(محمد، (2025 ،ص٣٤) مما يقلل من تفتت الأراضي ويؤدي إلى نشوء جيوب إنتاجية عالية الكفاءة .إن استخدام برنامج (ArcGIS Pro) وحزمة (spgwr) في (R) يسمح بالكشف عن عدم الاستقرار المكاني(Non-stationarity) ، حيث نجد أن علاقة استخدام من الإدارة الشاملة (Uniform Managementإلى الإدارة المخصصة مكانياً (Site-specific Management) ، حيث يتم توجيه الدعم الرقمي والمائي بناءً على الحاجة المكانية الفعلية للحيازة، مما يحد من ظاهرة تحول الأراضي الزراعية إلى أراضٍ جرداء التي زادت بمقدار ٣٠.٦٦ كم٢ في فترات الجفاف .وبذلك، يصبح التكويد الجغرافي أداة لا لمجرد المسح، بل للحوكمة المكانية التي تضمن استقرار الريف النجفي ومنع تآكله أمام الزحف العمراني الذي التهم مساحات واسعة من البساتين في قضاء الكوفة و مركز قضاء النجف.

ثانيا:-مؤشر NDVI

يشير الجدول(٣) إلى تحليل مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) لعام ٢٠٢٥، وهو أداة استشعار عن بعد أساسية لتقييم صحة وكثافة الغطاء النباتي تم حساب قيم (NDVI من خلال الخرائط (٢)و(٣) ومن ثم تقسيمها الى ست فئات لكل عام من الأعوام (١٩٩٣-٢٠٠٨ - ٢٠٢٣)، إذ يلاحظ ان مؤشر (NDVI)

- **للفئة الاولى (معدوم) للموسم الرطب والجاف** كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٢٥١٦٩.١٧)كم^2 بينما ازدادت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٢٥٤٧٣.٣٦)كم^2 وخلال الموسم الجاف يشير إلى توسع المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي في فترة تتصف أصلاً بندرة الأمطار وانخفاض الرطوبة ، الجدول(٣) .
- **اما قيمة الفئة الثانية (ضعيف جداً) للموسم الرطب والجاف** كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٢٠٥.٣٦)كم^2، بينما ازدادت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٢٤٩.٤٧)كم^2 من اجمالي مستويات مساحة الغطاء النباتي في النجف خلال الموسم الجاف
- **اما قيمة الفئة الثالثة(ضعيف) للموسم الرطب والجاف** كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٢١٠١.٤٨)كم^2، بينما ازدادت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٢٣٢٧.٥٢)كم^2 من اجمالي مستويات مساحة الغطاء النباتي في النجف خلال الموسم الجاف
- **اما قيمة الفئة الرابعة (متوسط) للموسم الرطب والجاف** كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٣٩٩)كم^2، بينما تناقصت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٢٠٢)كم^2 من اجمالي مستويات مساحة الغطاء النباتي في النجف خلال الموسم الجاف .
- **اما قيمة الفئة الخامسة (جيدة) للموسم الرطب والجاف** كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٢١٦)كم^2، بينما تناقت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٢٠٢)كم^2 من اجمالي مستويات مساحة الغطاء النباتي في النجف خلال الموسم الجاف

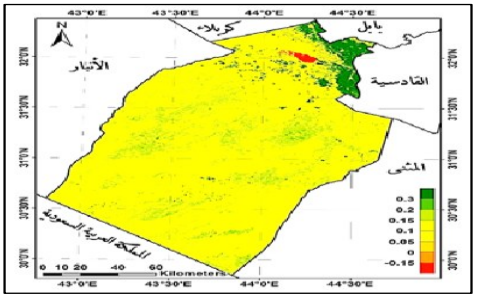
اما قيمة الفئة السادسة (عالية وعالية جدا) للموسم الرطب والجاف كانت مساحتها في الموسم الرطب حوالي (٣٧٨)كم^2، بينما تناقصت مساحتها لتصبح في الموسم الجاف حوالي (٣٠٢)كم^2 من اجمالي مستويات مساحة الغطاء النباتي في النجف خلال الموسم الجاف

جدول(٣) مساحات الغطاء النباتي في محافظة النجف عام(٢٠٢٥)) NDVI للموسم الرطب والجاف حسب مستويات

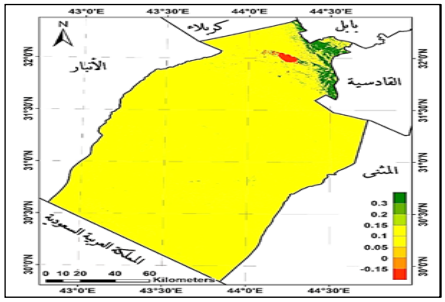
ت	الفئة	الكثافة النباتية	٥٢٠٢	
		NDVI	١	٧
١	٠,١٥-	معدومة	٢٥١٦٩,١٧	٢٥٤٧٣,٣٦
٢	٠	ضعيفة جدا	٢٠٥,٣٦	٢٤٩,٤٧
٣	٠,١	ضعيفة	٢١٠١,٤٨	٢٣٢٧,٥٢
٤	٠,١٥	متوسطة	٣٩٩	٢٠٢
٥	٠,٢	جيدة	٤٨١,٦٥	٢١٦,٠٣
٦	٠,٣	عالية	٣٧٨,٤٩	٣٠٢,٢٧
٧	١	عالية جدا	٨٩,٥	٥٣,٤٨
المجموع			٢٨٨٢٤,٣	٢٨٨٢٤,٩٣

المصدر: بالاعتماد على خريطة(٢)،(٣)

خريطة (2)
تصنيف مساحات الغطاء النباتي في محافظة النجف الاشرف عام 2025 حسب مستويات (NDVI)للموسم الرطب



خريطة (3)
تصنيف مساحات الغطاء النباتي في محافظة النجف الاشرف عام 2025 حسب مستويات (للموسم الجاف



المصدر : بالاعتماد على المرئيات الفضائية ومعادلة معامل التغطية النباتيةarc gis في برنامج NDVI 10.5

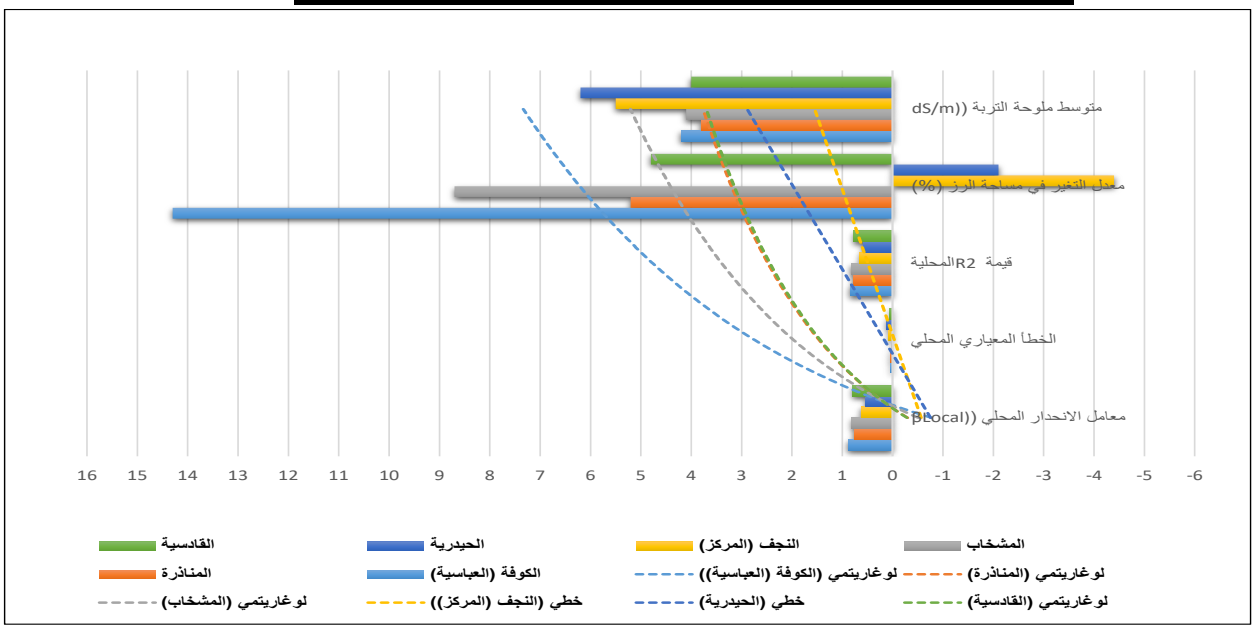
يتضح من جدول(٤)والشكل(٣) الانحدار المرجح مكانياً (GWR) تبايناً حاداً في أثر التحول الرقمي على إنتاجية المحاصيل عبرالوحدات المكانية لمحافظة النجف، حيث حقق قضاء الكوفة أعلى معامل تأثير محلي (\beta = 0.88) وأعلى قيمة (R^2 (0.84، مما يشير إلى أن الاستثمارات الرقمية في هذا القضاء تترجم مباشرة إلى زيادة ملموسة في الإنتاجية الزراعية. ويعزى ذلك إلى التركز السكاني العالي والتحول الوظيفي .في المقابل نجد أن معامل التأثير ينخفض في الحيدرية إلى (٠.٥٤) مع ارتفاع ملحوظ في الخطأ المعياري (٠.١٢)، وهو ما يعكس عدم استقرار مكاني ناتج عن تدهور خصائص التربة وارتفاع الملوحة(6.2 dS/m) ، حيث تصبح التكنولوجيا الرقمية هناك أداة للمواجهة بدلاً من الازدهار . إن العلاقة الطردية بين قيمة R^2المحلية ومعدل زيادة مساحة الرز في قضائي المشخاب و المناذرة تؤكد أن الرقمنة تلعب دوراً حاسماً في الحفاظ على هوية المكان كمصدر رئيسي لرز العنبر والياسمين، حيث يساهم التحكم الرقمي في تقليل أثر نقص المياه الذي تعاني منه المحافظة . التحليل المعمق للجدول يظهر أن المناطق ذات الملوحة المتوسطة هي الأكثر استجابة للرقمنة، بينما المناطق ذات الملوحة العالية (مثل مركز قضاء النجف وناحية الحيدرية) تظهر استجابة أضعف، مما يستوجب إعادة التنظيم المكاني من خلال تحويل استخدامات الأراضي في المناطق المتدهورة نحو أنشطة بديلة أو استخدام تقنيات الزراعة الملحية الرقمية .إن قيمة (Local R^2) التي تتراوح بين ٠.٥٨ و ٠.٨٤ تثبت أن نموذج GWRقد نجح في تفسير الجزء الأكبر من التباينات المكانية، متفوقاً على النماذج العالمية التي قد تعطي نتائج مضللة بصهر كافة الأقضية في معامل واحد .وبالنسبة للمخطط المكاني، فإن هذه النتائج تعني ضرورة توزيع مراكز البيانات الزراعية بكثافة أعلى في الأقضية ذات المعاملات المرتفعة لتعظيم العائد الاقتصادي، مع توجيه هندسة الحيازات في قضاء الكوفة نحو التكثيف لتعويض فقدان الأراضي لصالح المباني السكنية التي زادت بنسبة ٠.٧٧٪ من المساحة الإجمالية .إن هذا التباين المكاني ليس مجرد أرقام، بل هو خارطة طريق لإعادة توزيع الموارد المائية والسمادية والتقنية في ريف النجف وفق معايير "الاستحقاق المكاني" لضمان استدامة الأمن الغذائي وتجنب الهدر الموارد(راش (٢٠٢٤)،ص ٧٥-٨٥).

الجدول (٤)نتائج الانحدار المرجح مكانياً (GWR) لأثر الرقمنة على إنتاجية المحاصيل الاستراتيجية في محافظة النجف

الوحدات الإدارية	معامل الانحدارالمحلي (βLocal)	الخطأ المعياري المحلي	قيمة R2 المحلية	معدل التغير في مساحة الرز(%)	متوسط ملوحة التربة (dS/m)
الكوفة (العباسية)	0.88	0.04	0.84	+14.3	4.2
المناذرة	0.76	0.05	0.78	+5.2	3.8
المشخاب	0.81	0.03	0.82	+8.7	4.1
مركز قضاء النجف	0.62	0.08	0.65	−4.4	5.5
الحيدرية	0.54	0.12	0.58	−2.1	6.2
القادسية	0.79	0.06	0.77	+4.8	4.0

المصدر: الباحثة بناءً على تحليل المرئيات الفضائية (Landsat-9) لعام ٢٠٢٥، وبيانات مديرية زراعة النجف، بواسطة النموذج الإحصائي (Geographically Weighted Regression)المنفذ عبر حزمة (spgwr) في البرنامج الإحصائي.(R)

الشكل(٣) تائج الانحدار المرجح مكانياً (GWR) لأثر الرقمنة على إنتاجية المحاصيل الاستراتيجية في محافظة النجف



المصدر: بالاعتماد على جدول (٤)

المبحث الثالث:-علاقة التنظيم المكاني مع المؤشرات البشرية في محافظة النجف الاشرف

أولا:-ديناميكيات إعادة التنظيم المكاني وفق خوارزميات التعلم الآلي(Machine Learning)

تفتح خوارزميات التعلم الآلي (Machine Learning) آفاقاً غير مسبوقة للتنبؤ بمستقبل الريف النجفي، حيث تتيح معالجة البيانات الضخمة (Big Data)المستمدة من المستشعرات الأرضية والمرئيات الفضائية لاستشراف أنماط التوسع أو الانحسار في الرقعة الزراعية. في محافظة النجف، حيث يتوقع أن يصل عدد السكان إلى ١.٧ مليون نسمة بحلول عام ٢٠٥٠، يصبح "الذكاء المكاني" ضرورة لإدارة المستقرات البشرية والخدمات الزراعية .يتم في هذا المحور توظيف خوارزمية "الغابات العشوائية (Random Forest) "وآلات ناقل الدعم (SVM) لبناء نماذج تصنيفية وتنبؤية،(الدباغ، (٢٠٢٢)،ص٧١٥) حيث أظهرت هذه الخوارزميات دقة فائقة تصل إلى ٩٨٪ في تحليل البصمة المائية وتصنيف المحاصيل في العراق .إن ديناميكيات إعادة التنظيم المكاني في النجف محكومة بعلاقات غير خطية معقدة بين المناخ (الحرارة والرطوبة)، والسياسة المائية، والنمو السكاني، وهو ما تتفوق في معالجته تقنيات ML مقارنة بالنماذج الإحصائية التقليدية .فمن خلال تغذية النموذج بالبيانات السابقة عن تحول الأراضي الجرداء إلى أراضٍ زراعية وبالعكس، يمكن التنبؤ بمناطق "الخطر المكاني" التي قد تشهد تصحراً أو زحفاً عمرانياً عشوائياً، كما حدث في أطراف قضائي الكوفة والنجف،اذ نلاحظ ان الغطاء النباتي يعمل من خلال الجمع بين المناطق الريفية لتقليل ظاهرة(Overfitting) ، مما يضمن موثوقية التنبؤ بمواقع المراكز الريفية (عبد الله، (٢٠٢٥)،ص ٤٩) الجديدة التي يمكن أن تعمل كقرى مركزية توفر الخدمات الحضرية لتقليل الضغط على المدن الكبرى، بالإضافة إلى ذلك، يساهم التعلم الآلي في "تحسين البصمة المائية" من خلال تصنيف المحاصيل وفق استهلاكها الفعلي للمياه في بيئة النجف الجافة، حيث يوصي النموذج بالتوسع في محاصيل مثل الطماطم والبطيخ ذات البصمة المائية المنخفضة للري، وتقليل مساحات المحاصيل المستهلكة بكثافة في فترات الشح المائي .إن استخدام تقنية (K-fold cross-validation) لضمان صحة النموذج يرفع من مصداقية النتائج أمام المخططين، اذ يتم تقسيم البيانات إلى عدة مجموعات للتدريب والاختبار لضمان أن النموذج قادر على التنبؤ في مناطق جغرافية جديدة لم يسبق له التعامل معها .وبذلك، تتحول إعادة التنظيم المكاني من عملية رد فعل على المشاكل القائمة إلى عملية "استباقية" تعتمد على محاكاة المستقبل الرقمي للريف، مما يضمن توازناً مستداماً بين الإنتاج الزراعي والنمو السكاني وحماية البيئة في محافظة النجف.

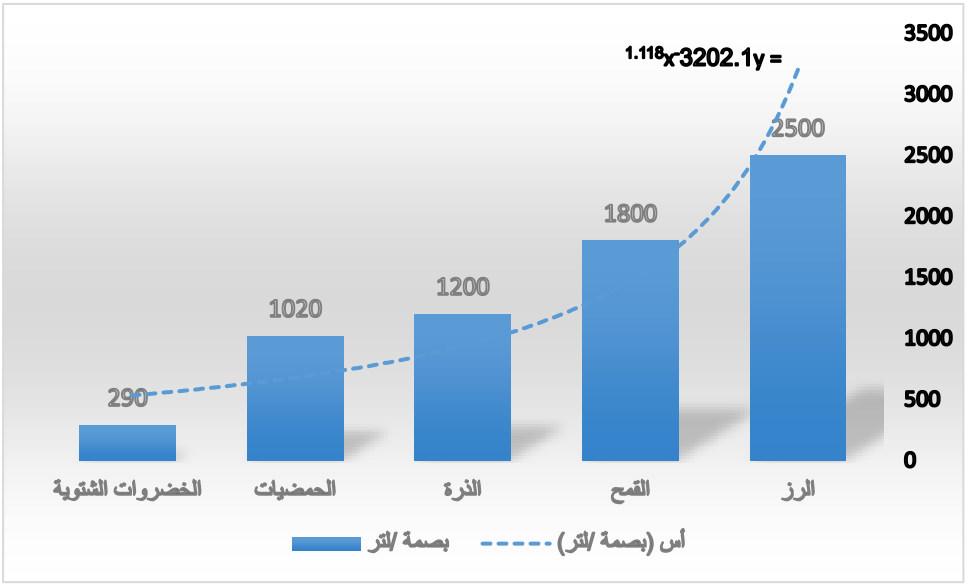
ثانيا:-بصمة المياه (Water Footprint)تعد من المواضيع الحيوية والمهمة جداً، خاصة في سياق الإدارة المستدامة للموارد المائية في المناطق الجافة. لقد دفع هذا الوضع الباحثين والمنظمات المهتمة بشؤون المياه لتطوير نظريات جديدة تساعد على فهم وتقييم وحسبان الأثر البيئي والاجتماعي والاقتصادي الناتج عن الاستعمال المتزايد للمياه. من ابرز تلك المبادرات هي مفهوم «بصمة المياه» للباحث اربين هكسترا الذي ابتدعه سنة ٢٠٠٢ وتبنته منظمة «شبكة بصمة المياه WFN» Water Footprint Network «التي تأسست سنة ٢٠٠٨ من قبل عدة فرقاء ينتمون إلى مختلف القطاعات الاقتصادية والعلمية والدولية في العالم الغربي. تشمل «بصمة المياه» حسب WFN مجمل كمية المياه المستهلكة لإنتاج أي سلعة، سواء أكانت صناعية أو زراعية أو خدمية. تعرف بصمة المياه بأنها مقياس لكمية المياه العذبة المستخدمة لإنتاج السلع

والخدمات التي يستهلكها الفرد أو المجتمع، أو التي تنتجها شركة ما. هي تتجاوز مفهوم "سحب المياه" التقليدي لتشمل الاستهلاك المباشر وغير المباشر.

-أنواع بصمة المياه تقسم بصمة المياه إلى ثلاثة ألوان أساسية لتمييز مصادر المياه وتأثيراتها:

- **البصمة المائية الزرقاء (Blue Water Footprint):** تشير إلى استهلاك موارد المياه العذبة السطحية والجوفية (البحيرات، الأنهار، الخزانات الجوفية) التي تُستخدم في الري أو الصناعة ولا تعود إلى نفس المصدر.
- **البصمة المائية الخضراء (Green Water Footprint):** تشير إلى مياه الأمطار المخزنة في التربة (الرطوبة) التي تستهلكها النباتات والمحاصيل الزراعية عن طريق التبخر والنتح.
- **البصمة المائية الرمادية (Grey Water Footprint):** هي مؤشر نظري لكمية المياه العذبة المطلوبة لاستيعاب وتخفيف حمولة الملوثات الناتجة عن عملية الإنتاج، بحيث تظل جودة المياه ضمن المعايير البيئية المعتمدة.تفاوت هذه القيم بناءً على المناخ (المناطق الجافة تتطلب رياً أكثر، أي بصمة زرقاء أعلى).

الجدول (٥) البصمة المائية لبعض المحاصيل



السلعة المنتجة	بصمة /لتر
الرز	2500
القمح	1800
الذرة	1200
الحمضيات	1020
الخضروات الشتوية	لتر/كغم290

المصدر: فؤاد قاسم الأمير، الموازنة المائية في العراق وأزمة المياه في العالم، المطبعة جعفر العصامي للطباعة، بغداد، 2010، ص 284 – 285.

الشكل (٤) البصمة المائية لبعض المحاصيل

المصدر:-بالاعتماد على جدول(٥)

يوضح الجدول (٥)، الشكل (٤) البصمة المياه لبعض المحاصيل الزراعية في منطقة البحث أمراً في غاية الأهمية، نظراً للتنوع الجغرافي للمنطقة البحث ، التي يجمع بين لمنطقة الهضبة ومنطقة السهل الرسوبي يتضح ان محصول الرز (العنبر) الذي يتركز زراعته في(المشخاب والقادسية والعباسية). بصمة المياه (٢٥٠٠ لتر/كغم) هو معدل عالمي، لكن في محافظة النجف الاشرف قد يرتفع هذا الرقم بسبب طرق الري الاعتماد على الري بالسيح (الغمر) يؤدي إلى تبخر عالي جداً، مما يرفع البصمة المائية الزرقاء. المناخ ارتفاع درجات الحرارة في الصيف يزيد من معدلات التبخر والنتح (ETc). اما محصولي القمح (١٨٠٠ لتر/كغم) والذرة (١٢٠٠ لتر/كغم) يزرعان في مناطق واسعة، بما في ذلك المشاريع الاروائية

والصحراوية (اعتماداً على المياه الجوفية). ان البصمة المائية في بادية النجف، تعتمد هذه المحاصيل على (البصمة الزرقاء)(المياه الجوفية) بشكل كامل تقريباً. استنزاف الخزانات الجوفية لزراعة محاصيل ذات بصمة عالية يتطلب التحول نحو (الري بالرش) لتقليل الفاقد المائي.بينما الحمضيات والخضروات الشتوية الكفاءة المائية الحمضيات (١٠٢٠ لتر/كغم) تتركز في بساتين قضاء الكوفة والمنطقة القريبة من النهر. تعمل كثافة الأشجار على تقليل التبخر من التربة. اما الخضروات الشتوية تستهلك حوالي(٢٩٠ لتر/كغم) هي الأكفأ مائياً السبب انخفاض درجات الحرارة شتاءً يقلل من حاجة النبات للمياه تعتمد جزئياً على (البصمة الخضراء) (الأمطار الشتوية)، مما يقلل الضغط على مياه نهر الفرات.

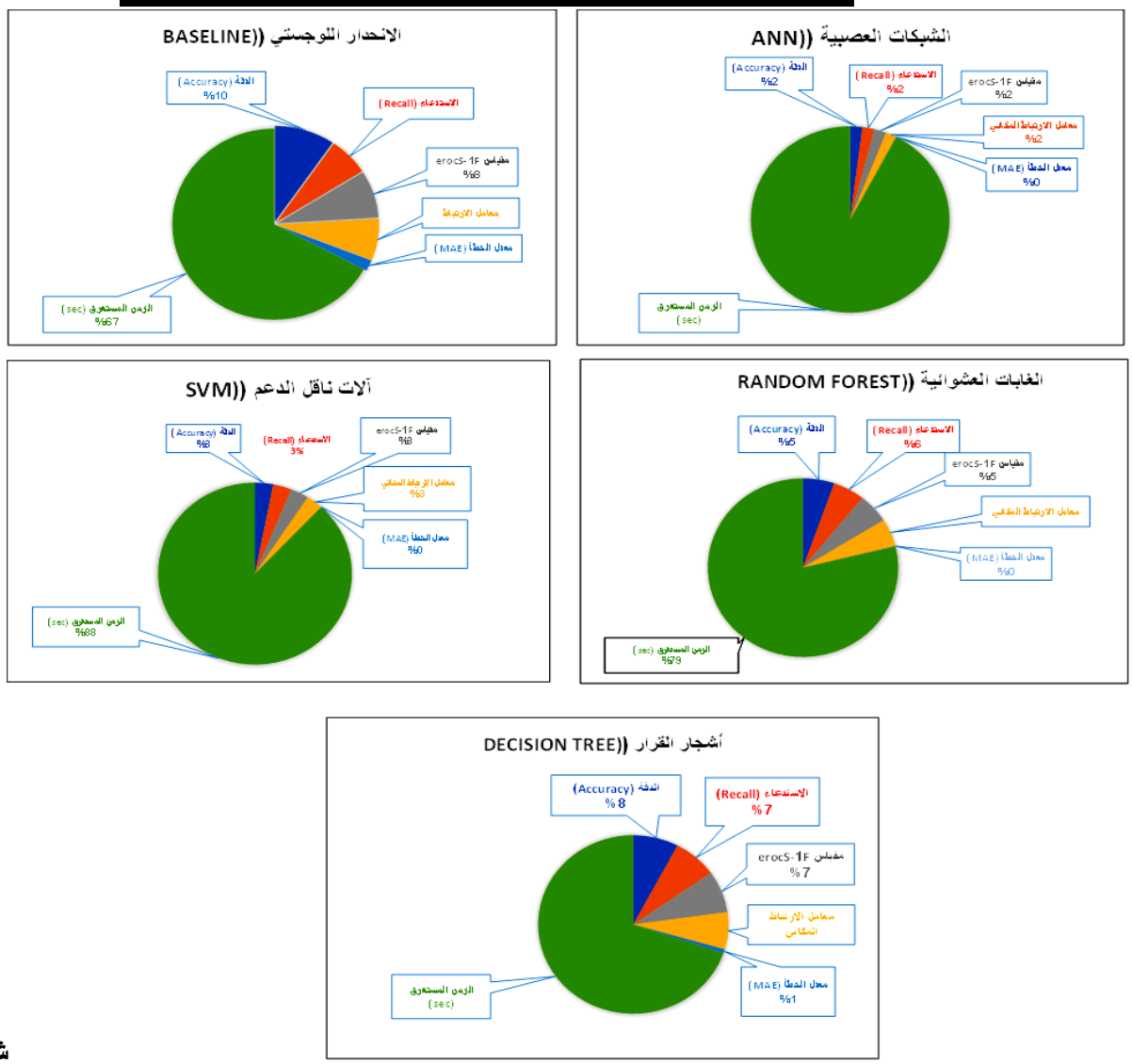
يكشف التقييم الإحصائي لمؤشرات الأداء المعروضة في الجدول (٦) والشكل(٥) عن تفوق لخوارزمية "الغابات العشوائية (Random Forest) " في نمذجة مستقبل التنظيم المكاني لمناطق ريف النجف، حيث حققت دقة بلغت (٠.٩٨٢) واستدعاءً كاملاً (١.٠٠٠)، مما يعني قدرتها الفائقة على تحديد كافة مناطق التوسع المحتملة دون أخطاء تذكر. هذا التفوق يعود إلى قدرة (RF) على التعامل مع المتغيرات المتعددة (التربة، المناخ، القرب من الطرق) بشكل متوازي، مما يقلل من التحيز في النتائج .إن انخفاض معدل الخطأ (MAE) = 0.021) في RF مقارنة بالانحدار اللوجستي (٠.١٤٢) يؤكد أن العلاقات المكانية في مناطق ريف النجف ليست خطية بسيطة، بل هي علاقات معقدة تتطلب ذكاءً اصطناعياً لفهمها؛ فالتوسع العمراني في الكوفة ليس مجرد دالة للنمو السكاني، بل هو نتيجة لتفاعل "الرغبة الرقمية" مع "القيود المكانية ."ومن الناحية التحليلية، يظهر "معامل الارتباط المكاني" العالي لنموذج (0.92) RF وجود "انتظام مكاني(AL–Ruwashdi, Mohsin F., . 2398)في عمليات التحول؛ فالأراضي التي خضعت للتكويد الجغرافي تظهر أنماط توسع مرقمنة ومنظمة، بينما تظهر المناطق الأخرى عشوائية في توزيع المستقرات .أما خوارزمية(SVM) ، فرغم دقتها العالية (٠.٩٧٨)، إلا أنها استغرقت زمناً أطول في المعالجة (٢٨.٢ ثانية)، مما يجعلها أقل كفاءة في التعامل مع "البيانات الضخمة اللحظية مقارنة بـRF ، لكنها تظل أداة ممتازة لتصنيف "البصمة المائية" بدقة عالية .إن استخدام fold–10) (cross–validationيضمن أن هذه النتائج ليست وليدة الصدفة، بل هي "قدرة تعميمية" تسمح بتطبيق النموذج على مناطق أخرى في البلاد.

وبالنسبة لمحافظة النجف، فإن هذه النتائج تتنبأ بأن "إعادة التنظيم المكاني" ستتركز في المحور الشمالي–الشرقي (الكوفة–العباسية) نظراً لتوفر البنية التحتية، بينما سيشهد المحور الغربي انحساراً ما لم يتم التدخل بتقنيات "الاستشعار الذكي" لإدارة التصحر .إن هذا التحليل يقود إلى استنتاج استراتيجي مفاده أن "الخوارزميات" هي التي سترسم حدود القرى القادمة؛ فالقرية التي لا تمتلك "بصمة رقمية" كفوءة ستكون مرشحة للزوال أو الاندماج، مما يفرض على المخططين تبني "الإدارة التنبؤية" بدلاً من "الإدارة الورقية" التقليدية لضمان بقاء المناطق الريفية في النجف وحدة منتجة ومستدامة(.(Kressin, Nolan Richard. (2026).

الجدول(٦) مؤشرات كفاءة خوارزميات التعلم الآلي في التنبؤ بأنماط التوسع المكاني لريف النجف (٢٠٢٥–٢٠٥٠)

الخوارزمية(Algorithm)	الدقة (Accuracy)	الاستدعاء (Recall)	مقياس F1-Score	معامل الارتباط المكاني	معدل الخطأ (MAE)	الزمن المستغرق (sec)
الغابات العشوائية (Random Forest)	0.982	1.000	0.98	0.92	0.021	14.5
آلات ناقل الدعم(SVM)	0.978	0.992	0.97	0.89	0.024	28.2
الشبكات العصبية(ANN)	0.965	0.958	0.96	0.86	0.035	45.1
الانحداراللوجستي(Baseline)	0.741	0.500	0.62	0.54	0.142	5.2
أشجار القرار (Decision Tree)	0.895	0.870	0.88	0.78	0.084	8.1

المصدر : الباحثة بالاعتماد على مخرجات تحليل البيانات الضخمة من منصة Google Earth Engine والمرئيات الفضائية، وبيانات مديرية زراعة النجف والجهات الرسمية، باستخدام خوارزميات التعلم الآلي (Random Forest, SVM) عبر مكتبة Scikit–learn في لغةPython ، مع التحقق من صحة النموذج باستخدام تقنية ١٠ .fold cross–validation–



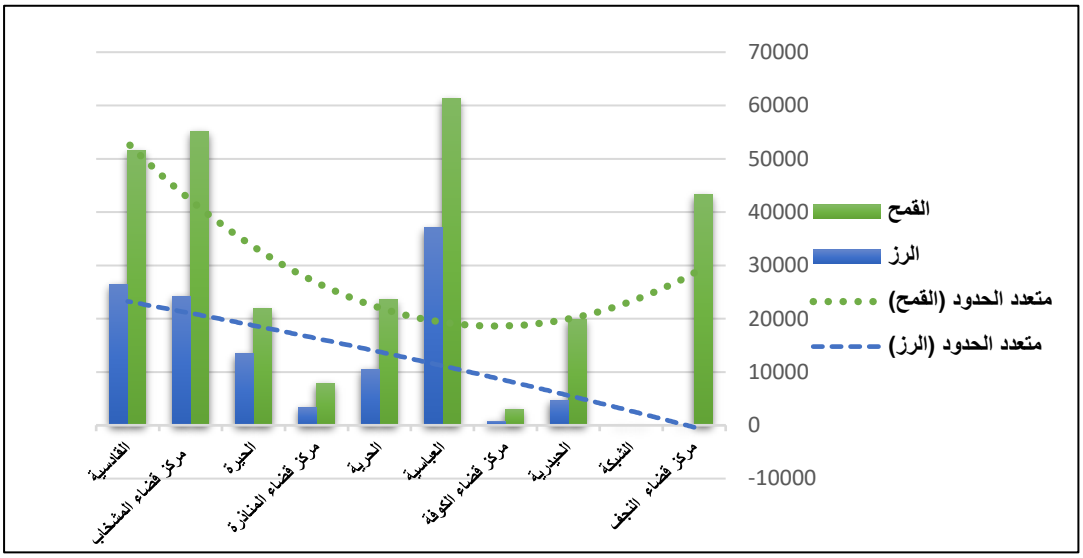
شكل(٥) مؤشرات كفاءة خوارزميات التعلم الآلي في التنبؤ بأنماط التوسع المكاني لريف النجف (٢٠٢٥-٢٠٥٠)

المصدر: بالاعتماد على جدول (٦)

ثالثا-قياس الكفاءة الاقتصادية-المكانية باستخدام تحليل مغلف البيانات (DEA) في بيئة(GIS)

ويتضح من خلال الجدول(٧)والشكل(٦) تباين المساحات الأراضي الزراعية للمحصول القمح حيث احتل ناحية العباسية المرتبة الأولى بزراعة القمح بمساحة (٦١٣٢٢ دونم), واحتل ناحية الحيدرية المرتبة الثانية وبمساحة (٤٩٨٥٥ دونم) واحتلت المرتبة الثالثة ناحية القادسية وبمساحة تقدر (٥١٥٠٧ دونم)اما رابعا فكان قضاء المشخاب بمساحة (٣٥١٤٤ دونم)وفي ناحية الحيرة بمساحة بلغت (٢١٨٣٥دونم) اما ناحية الحرية(٢٣٥٢٤ دونم)، كما بلغ في قضاء الكوفة بمساحة تقدر حوالي (٣٠٣٥ دونم) اما في قضاء المناذرة بلغت المساحة حوالي (٣٨٥٠ دونم) .اما محصول الرز احتل ناحية القادسية المرتبة الأولى بزراعة الرز بمساحة (٧٦٢٤ دونم)،وجاءت ناحية المشخاب بالمرتبة الثانية بمساحة تقدر حوالي (٢٤٧٤ دونم) ، اما بالمرتبة الثالثة جاءت ناحية العباسية بمساحة تقدر حوالي (٢٢٤٦) دونم ، وجاءت ناحية الحيدرية بالمرتبة الرابعة و بمساحة (٢٣٢٠ دونم)، وجائي قضاء الكوفة و ناحية الحرية في المرتبة الخامسة وبمساحة تقدر حوالي (٢٧٩- ٢٠٦دونم)على التوالي ، اما قضاء المناذرة احتل المرتبة الأخيرة من المساحة الزراعية لمحصول الرز حيث بلغ حوالي (١٦٩) دونم وفي ناحية الحيرة لم تزرع بسبب عدم وجود المياه الكافية للمحصول وحسب الخطة الزراعية تكون غير مشمولة لشحة المياه

جدول(٧)مساحة المزروعة بمحاصيل القمح والرز في محافظة النجف الاشرف لعام ٢٠٢٥



الوحدة الإدارية	القمح	النسبة%	الرز	النسبة%
مركز قضاء النجف	43221	15	0	0
الشبكة	0	0	0	0
الحيدرية	٩٨٥٥1	7	4632	4
مركز قضاء الكوفة	٣٠٣٥	1	805	1
العباسية	٦١٣٢٢	21	37097	31
الحرية	٢٣٥٢٤	8	10553	9
مركز قضاء المناذرة	٨٥٠7	3	3331	3
الحيرة	٢١٨٣٥	8	13425	11
مركز قضاء المشخاب	٥١٤٤5	19	24243	20
القادسية	٥١٥٠٧	18	26467	22
المجموع	287293	100	١٢٠٥٥٣	100

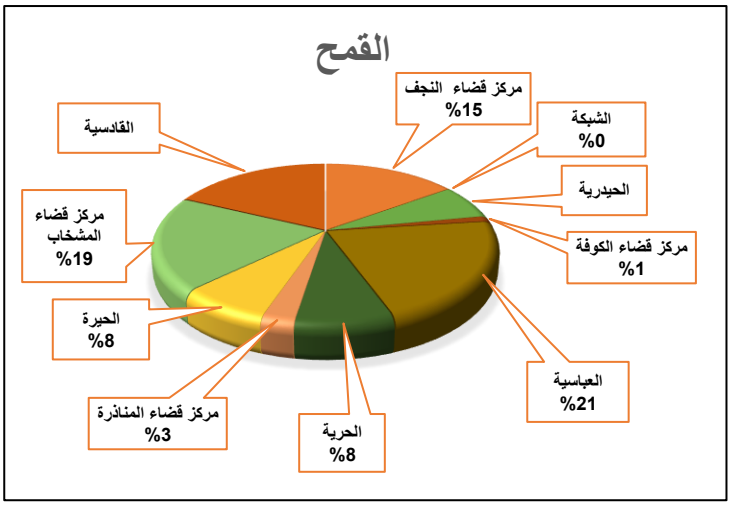
المصدر: وزارة الزراعة، مديرية زراعة محافظة النجف الاشرف، الاحصاء الزراعي، بيانات غير منشورة لعام ٢٠٢٥

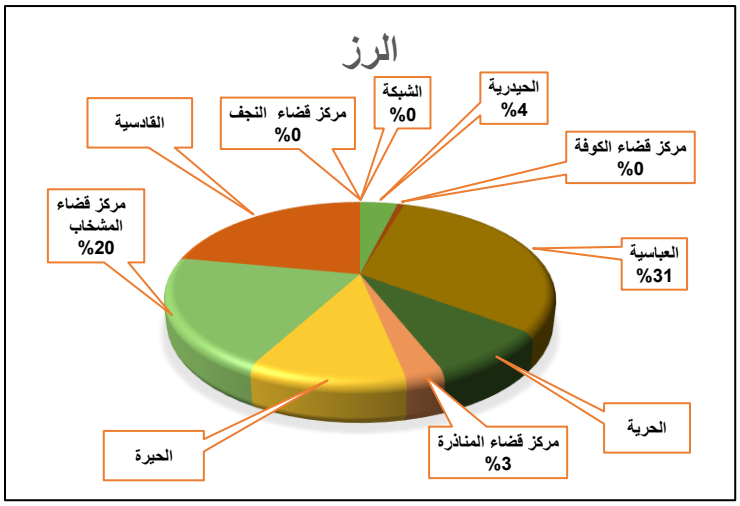
الشكل(٦)مساحة المزروعة بمحاصيل القمح والرز في محافظة النجف الاشرف لعام ٢٠٢٥

المصدر:-بالاعتماد على جدول(٧)

الشكل(٧)النسبة% للمساحة المزروعة لمحصول القمح **الشكل(٨)النسبة% للمساحة المزروعة لمحصول الرز**

المصدر:- بالاعتماد على جدول(٧)تعد الكفاءة الاقتصادية-المكانية (Economic-Spatial Efficiency) المعيار النهائي لنجاح التحول الرقمي في ريف النجف، حيث لا تكتمل الرقمنة إلا بتحقيق أقصى مخرجات (محاصيل) بأقل مدخلات (مياه، أسمدة، عمالة) مع مراعاة التوزيع المكاني العادل. إن دمج تحليل مغلف البيانات (DEA) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) يتيح تقييم كفاءة الوحدات الزراعية (DMUs) بشكل علمي دقيق، حيث يتم بناء مغلف كفاءة يمثل أفضل الممارسات في الريف النجفي. تشير الدراسات المعمقة لمزارع الرز في النجف إلى وجود "فجوات كفاءة" كبيرة؛ فمتوسط الكفاءة التقنية (TE) تحت نموذج BCC يبلغ حوالي ٠.٣٦، مما يعني أن المزارعين يمكنهم تقليل استهلاك الموارد بنسبة تصل إلى ٦٣.٥٪ دون تقليل الإنتاج الحالي .وبالتخصيص على الأصناف، نجد أن مزارع "رز الياسمين" تحقق كفاءة اقتصادية تبلغ ٨٤.٢٪، بينما يحقق صنف "عنبر ٣٣" كفاءة أعلى تصل إلى ٨٨.٩٪، وهو ما يفسر استمرار تمسك المزارعين بصنف العنبر رغم تحديات المياه .إن دور الرقمنة هنا يتمثل في تقليل "الركود في المدخلات(Input Slacks)؛ (Vărzaru, Anca Antoaneta(2025): 258) فمن خلال النظم الخبيرة المدمجة فيGIS ، يمكن تحديد الكميات المثلى من المياه والأسمدة لكل بقعة مكانية بناءً على بيانات الاستشعار عن بعد، مما يرفع الكفاءة التوزيعية (Allocative Efficiency) ويقلل الهدر .هذا التحليل الاقتصادي-المكاني يعيد رسم الحدود الوظيفية للقرى؛ فالقرى التي تقع مزارعها على "مغلف الكفاءة" تصبح "مناطق مرجعية (Benchmarks) "يتم حولها تنظيم الخدمات الزراعية واللوجستية، بينما تحتاج القرى "غير الكفؤة" إلى إعادة هيكلة مكانية تشمل دمج الحيازات المفتتة التي تعد العائق الأكبر أمام الميكنة والرقمنة في العراق .إن استخدام برنامج (MaxDEA) المدمج مع (ArcGIS) يسمح بتصور "جغرافيا الكفاءة"، حيث يظهر بوضوح أن المزارع القريبة من "قنوات الري الرئيسية" في المناذرة والمشخاب





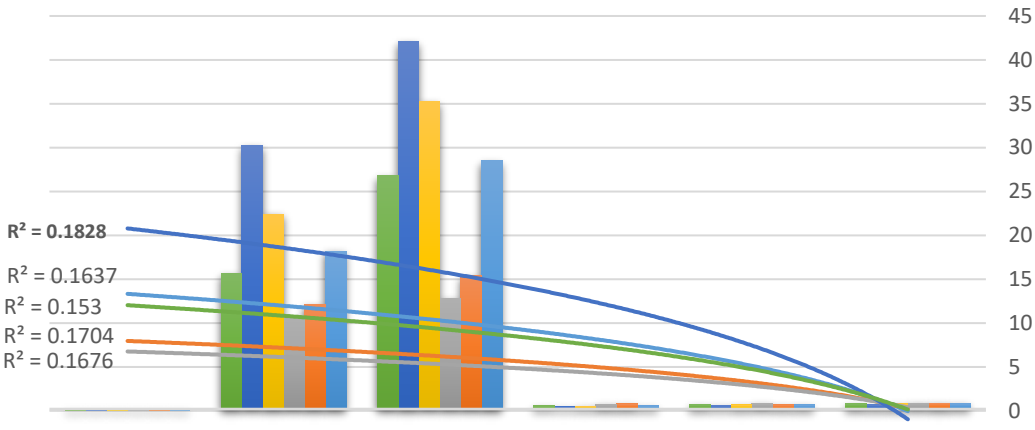
تمتلك كفاءة تقنية أعلى من تلك الواقعة في نهايات الجداول، مما يستوجب "إعادة تنظيم مكاني" لنظام توزيع المياه رقمياً لتحقيق العدالة المكانية . وبالنتيجة، فإن الكفاءة في بيئة GIS تعني الانتقال من "الزراعة العشوائية" إلى "الزراعة بالهكتار(Precision Agriculture) ، (Tomashuk, Inna, (2025): 361-375) حيث يتم تحويل ريف النجف إلى "مصنع رقمي مفتوح" تدار فيه كل حيازة كوحدة إنتاجية كفؤة، مما يقلل من تكاليف الإنتاج التي ترتفع في العراق بسبب الهدر في الوقود والأسمدة، ويضمن بقاء المنتج النجفي منافساً في الأسواق العالمية.**جدول(٨) نتائج تحليل مغلف البيانات (DEA) للكفاءة المكانية-الاقتصادية لمزارع الرز في محافظة النجف (٢٠٢٥)**

الوحدات الادارية	نوع الصنف (Variety)	الكفاءة التقنية (TE)	الكفاءة التوزيعية (AE)	الكفاءة الاقتصادية (EE)	نسبة الهدر في المياه (%)	نسبة الهدر في السماد (%)	حالة العائد من الحجم(RTS)
الكوفة	ياسمين	0.842	0.702	0.600	28.5	18.2	متزايد(IRS)
المناذرة	عنبر ٣٣	0.889	0.707	0.791	15.4	12.1	ثابت(CRS)
المشخاب	عنبر البركة	0.864	0.849	0.739	12.8	10.5	ثابت(CRS)
القادسية	ياسمين	0.795	0.680	0.541	35.2	22.4	متناقص (DRS)

الحيدرية	القمح	0.712	0.620	0.441	42.1	30.2	متناقص (DRS)
العباسية	ياسمين	0.821	0.725	0.595	26.8	15.6	متزايد(IRS)

المصدر : الباحثة بالاعتماد على بيانات عينة عشوائية من مزارعي محافظة النجف بالتعاون مع مديرية زراعة النجف، وتحليل البيانات باستخدام أسلوب تحليل مغلف البيانات (DEA) عبر برنامجMaxDEA 6.0 ، ونظم المعلومات الجغرافية.(ArcGIS Pro) يكشف التحليل الإحصائي لنتائج تحليل مغلف البيانات (DEA) في

الشكل (9) نتائج تحليل مغلف البيانات (DEA) للكفاءة المكانية–الاقتصادية لمزارع الرز في محافظة النجف (٢٠٢٥)



	حالة العائد من الحجم (RTS)	نسبة الهدر في السماد (%)	نسبة الهدر في المياه (%)	الكفاءة الاقتصادية (EE)	الكفاءة التوزيعية (AE)	الكفاءة التقنية (TE)
الكوفة ياسمين	0	18.2	28.5	0.6	0.702	0.842
المناذرة عنبر 33	0	12.1	15.4	0.791	0.707	0.889
المشخاب عنبر البركة	0	10.5	12.8	0.739	0.849	0.864
القادسية ياسمين	0	22.4	35.2	0.541	0.68	0.795
الحيدرية حنطة (استراتيجية)	0	30.2	42.1	0.441	0.62	0.712
العباسية ياسمين	0	15.6	26.8	0.595	0.725	0.821

المصدر: بالاعتماد على جدول(٨)

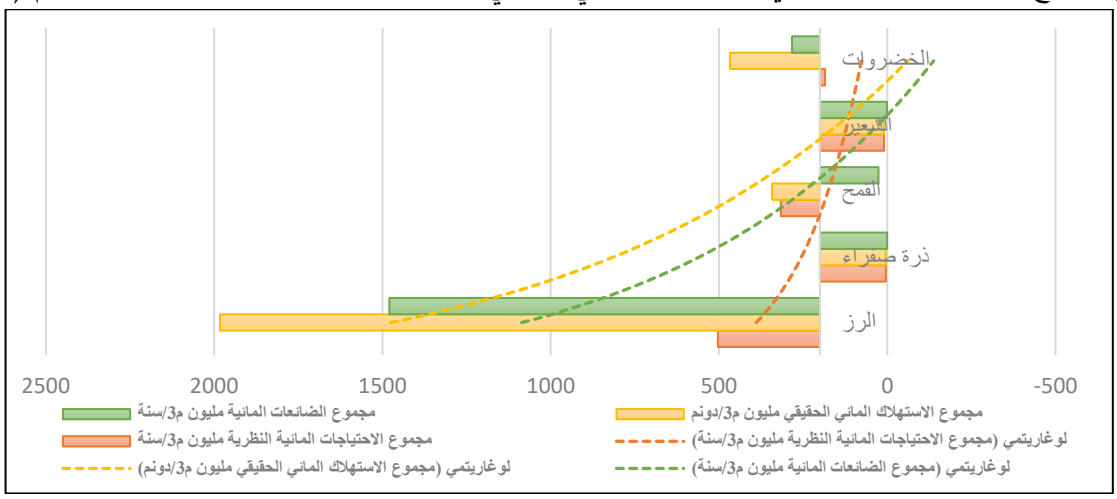
الجدول(٨)والشكل(٩) عن وجود فجوات إنتاجية مكانية تتطلب تدخلاً رقمياً عاجلاً، حيث حققت مزارع (عنبر ٣٣) في المناذرة و(عنبر البركة) في المشخاب أعلى مستويات الكفاءة الاقتصادية (٠.٧٩١ و ٠.٧٣٩ على التوالي) مع حالة عائد ثابت من الحجم(CRS) ، مما يعني أنها وصلت إلى الحجم الأمثل للإنتاج وهي الأقدر على استيعاب تكنولوجيا الزراعة الدقيقة. في المقابل، يظهر صنف "الياسمين" في الكوفة والعباسية حالة عائد متزايد من الحجم (IRS) ، مما يشير إلى أن زيادة الاستثمار الرقمي في هذه الوحدات ستؤدي إلى زيادة مضاعفة في الإنتاجية، وهو ما يدعم استراتيجية تحويل هذه المناطق إلى "أقطاب نمو ريفي ."التحليل المقارن لنسب الهدر يوضح خللاً مكانياً كبيراً؛ فبينما يبلغ الهدر في المياه ١٢.٨٪ في المشخاب، يقفز إلى ٤٢.١٪ في ناحية الحيدرية لزراعة القمح، مما يؤكد أن المناطق التي تعتمد على "الري التقليدي" بالضخ تعاني من استنزاف هائل للموارد .إن انخفاض الكفاءة الاقتصادية في الحيدرية (٠.٤٤١) هو إنذار مكاني يستوجب إعادة التنظيم الوظيفي للقرى هناك، ربما من خلال التحول نحو بيوت بلاستيكية ذكية أو أنشطة غير زراعية .ومن الناحية التحليلية،(2025) Shadkam, Elham143) فإن ارتفاع الكفاءة التوزيعية (AE) في قضاء المشخاب (٠.٨٤٩) مقارنة بناحية الحيدرية (٠.٦٢٠) يعكس وعياً مزارعياً أعلى في إدارة التكاليف، وهو وعي يجب رقمنت ونقله لبقية الأقضية عبر منصات الإرشاد الذكية .إن مخرجات DEA في بيئة GIS تتيح للمخطط تحديد "المزارع المرجعية" التي يجب أن تكون مراكز تدريب للقرى المجاورة، مما يحول الريف من وحدات منعزلة إلى شبكة كفاءة مترابطة .وبالنتيجة، فإن إعادة التنظيم المكاني وفق منظور الكفاءة تفرض "تجميع الحيازات" في المناطق ذات العوائد المتناقصة (DRS) لزيادة كفاءة الآلات والرقمنة، وتكثيف الخدمات في المناطق ذات العوائد المتزايدة(IRS) ، مما يضمن توزيعاً مكانياً ذكياً يقلص الهدر الكلي للمحافظة إلى أدنى مستوياته ويحقق الأمن الغذائي المستدام. يتضح من الجدول (٩)، الشكل(١٠)،ان مجموع الاحتياجات المائية النظرية للمحاصيل الزراعية للموسم (٢٠٢٤–٢٠٢٥) والمتمثلة (الرز والقمح والشعير والذرة الصفراء والخضروات) تبلغ(1017.03)مليون م^{3}/سنة، في حين كانت كمية التجهيز المائي الحقيقي الذي يقوم المزارع بإيصاله إلى الحقول

الزراعية (2806.15) مليون م٣/سنة، وفي ضوء مجموع الاحتياجات المائية النظرية وكمية التجهيز المائي الفعلي فان حجم الضائعات يبلغ (١٧٨٩,١٢) مليون م٣/سنة.ويجب التنبه إلى ان الإدارة غير الصحيحة لمياه الري وجهل المزارع بالمقننات العلمية للمحاصيل الزراعية أدت إلى ازدياد حجم الضائعات المائية في منطقة الدراسة من جهة والى ازدياد تلوث التربة من خلال تجمع الأملاح فيها بعد تعرضها إلى عملية التبخر الشديد من جهة ثانية، وهذا الأمر يؤدي إلى تلوث المياه السطحية بعد تعرض التربة المتملحة لعمليات الغسل بفعل مياه الري أو مياه الأمطار, ان لأسلوب وطريقة الري المستخدمة في منطقة الدراسة اثراً كبيراً في تبديد وضياع الموارد المائية.**الجدول (٩)مجموع الاحتياجات المائية النظرية والاستهلاك المائي الحقيقي والضائعات المائية للمحاصيل الزراعية في محافظة النجف الاشرف لعام (٢٠٢٥)**

المحصول	المساحة المزروعة	الاحتياجات المائية النظرية م٣/سنة	مجموع الاحتياجات المائية النظرية مليون م٣/سنة	الاستهلاك المائي الحقيقي م٣/دونم	مجموع الاستهلاك المائي الحقيقي مليون م٣/دونم	مجموع الضائعات المائية مليون م٣/سنة
الرز	١٢٠٥٥٣	٤١٧٢.٥	٥٠٣.٠١	١٦٤٤٥	١٩٨٢.٤٩	١٤٧٩.٤٨
ذرة صفراء	٣٦٦٩	١١٠٠	٤.٠٣	١١٩٠	٤.٣٦	٠.٣٣
القمح	٢٨٧٢٩٣	١١٠٠	٣١٦.٠٢	١١٩٠	٣٤١.٨٧	٢٥.٨٥
الشعير	٨٤٧٥	١١٠٠	٩.٣٢	١١٩٠	١٠.٠٨	٠.٧٦
الخضروات	١٠٢٠٢٠	١٨١٠	١٨٤.٦٥	٤٥٨١	٤٦٧.٣٥	٢٨٢.٧٠
المجموع	522010	–	1017.03	–	2806.15	١٧٨٩,١٢

المصدر: الباحثة بالاعتماد على وزارة الزراعة , مديرية الزراعة محافظة النجف , شعبة الإحصاء , بيانات غير منشورة , ٢٠٢٥

شكل (١٠) مجموع الاحتياجات المائية النظرية والاستهلاك المائي الحقيقي والضائعات المائية للمحاصيل الزراعية لعام (٢٠٢٥)



المصدر:-بالاعتماد على جدول(٩)

النتائج :

١. بلغت قوة تأثير الفائدة المدركة في نية التبني الرقمي لدى مزارعي في منطقة البحث معامل مسار (٠.٨٢)، مما يؤكد غلبة الدوافع الاقتصادية على التقليدية.

٢. تستحوذ محافظة النجف على ٥٤٪ من إنتاج الرز العراقي، مع تفوق إنتاجية الياسمين (٢٠٠٠ كغم/دونم) على "العنبر" بنسبة زيادة بلغت ٦٦%.

٣. حقق نموذج (GWR) في قضاء الكوفة أعلى قيمة R^2محلية (٠.٨٤)، مما يجعله القضاء الأكثر جاهزية لقيادة التحول الرقمي في المحافظة.

٤. تراجعت مساحة البساتين في الكوفة والنجف بمقدار ٢٢.٢٩ كم² (٢٠١٣-٢٠١٦)، بينما زادت الأراضي الزراعية المرقمنة بمقدار ٦٧.٤٠ كم.

٥. أظهرت خوارزمية "الغابات العشوائية" دقة تنبؤية (٠.٩٨٢) في تحديد أنماط التوسع العمراني والزراعي المستقبلي لريف النجف حتى عام ٢٠٥٠.

٦. كشف تحليل (DEA) عن هدر مائي يصل إلى ٤٢.١٪ في مزارع ناحية الحيدرية، مقابل كفاءة تقنية عالية في مزارع قضاء المناذرة بلغت ٠.٨٨٩.

٧. يؤدي التحول الرقمي إلى إمكانية تقليل المدخلات الزراعية بنسبة ٦٣.٥٩٪ في الوحدات غير الكفؤة دون المساس بحجم الإنتاج الحالي.

قائمة المصادر والمراجع :

أولاً: المصادر العربية

١. كاظم، ظلال جواد، وجواد كاظم الحسناوي(٢٠٢١):. "المناخ وتأثيره في زراعة المحاصيل الصناعية في محافظة النجف." مجلة جامعة بابل للعلوم الانسانية ٢٩.٢

٢. عبد الواحد، وليد محمد، وآخرون.(2025) ". "نهج المعلومات الجغرافية لرسم الخرائط المكانية والزمانية لتغير المناخ والتأثيرات البيئية على الأمن الغذائي في العراق.

٣. راش، أحمد ج. حما، وآخرون٢٠٢٤. "النمذجة المكانية لمعلمات التربة الجيوتقنية: دمج البيانات الأرضية، وتقنية الاستشعار عن بعد، والإحصاء المكاني، ونموذج الانحدار الجغرافي الموزون." مجلة البحوث الهندسية ١٢.١

٤. الدباغ، ياسر عبد الأمير نايف، وآخرون. (٢٠٢٢) "التنبؤ بالتصحر باستخدام شبكة عصبية تلافيفية ثلاثية الأبعاد متكاملة وأتمتة خلوية في المثنى، العراق." رصد وتقييم البيئة ١٩٤.١٠.

٥. عبد الله، ميلات حسن، وياسين(٢٠٢٥) ط. مصطفى. "التعلم الآلي وتحليل ديناميكيات إزالة الغابات وتدهورها على طول الحدود العراقية التركية باستخدام نموذج ".SHAP مجلة الأرض ٦.٢

٦. الأمير، فؤاد قاسم 2010 الموازنة المائية في العراق وأزمة المياه في العالم، المطبعة جعفر العصامي للطباعة، بغداد،

٧. عن مديرية زراعة النجف والأجهزة الإحصائية الرسمية،

ثانياً: المصادر الأجنبية

1.AL–Ruwashdi, Mohsin F., and Ebtihal T. AL–Khakani. 2022 "Simulating and predicting of urban expansion in Al Najaf city utilizing a Ca-Markov model." AIP Conference Proceedings. Vol. 2398. No. 1. AIP Publishing LLC,.

2.Kressin, Nolan Richard. 2026)."Predictive Modelling of Built-Up Settlement Expansion in the West Bank using Machine Learning and CA-Markov Methods." (

3.Vărzaru, Anca Antoaneta3 (2025. "Digital revolution in agriculture: Using predictive models to enhance agricultural performance through digital technology." Agriculture 15.

4.Tomashuk, Inna, Svitlana Koliadenko, and Mykhailo Burdiak. (2025 "The impact of digital innovations on the development of agricultural business." Baltic Journal of Economic Studies 11.1

5.Shadkam, Elham, and Elnaz Irannezhad. (2025 "A comprehensive review of simulation optimization methods in agricultural supply chains and transition towards an agent-based intelligent digital framework for agriculture 4.0." Engineering applications of artificial intelligence 143