



ISSN: 1817-6798 (Print)

Journal of Tikrit University for Humanities

available online at: www.jtuh.org/
JTUH
 جامعة تكريت للعلوم الإنسانية
 Journal of Tikrit University for Humanities

**Saad Mohammed Jassim
 Mohammed**

 / Ministry of Education / General Directorate of
 Education in Kirkuk

* Corresponding author: E-mail :

saad.m.jassim@tu.edu.iq
Keywords:

 In
 fi
 C
 M
 F

ARTICLE INFO
Article history:

Received	1 Mar 2025
Received in revised form	25 Mar 2025
Accepted	2 Mar 2025
Final Proofreading	25 July 2025
Available online	28 July 2025

 E-mail t-jtuh@tu.edu.iq

 ©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER
 THE CC BY LICENSE

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**The Role of the Cellular
 Automata in Spatial Prediction
 of the Land Cover Changes in
 Al- Abasi District by Using CA-
 Markov Model**
A B S T R A C T

Monitoring changes in land cover is a crucial environmental topic, as it contributes to the analysis and understanding of environmental transformations and the impact of human activities on natural resources. This research aims to apply the Cellular Automata (CA) technique, based on the CA_MARKOV model, within the IDRESI program to study spatial changes in land cover in the Hawija district center area. This is achieved through simulating these changes and forecasting future trends using satellite data for the years 2000-2024.

Remote sensing techniques were used in conjunction with Geographic Information Systems (GIS) to process and analyze satellite images over a specific time period, enabling the detection of land use change patterns. The CA_MARKOV model relies on combining Markov chains, which determine the probability of transitions between land cover classes, and cellular automata, which simulate the spatial distribution of these future changes.

The study's results show clear changes in land cover within the study area, with an observed expansion of urban areas at the expense of agricultural land and natural spaces. The CA_MARKOV model also demonstrated its effectiveness in predicting future transformations with good accuracy, making it an important tool for supporting urban planning and sustainable environmental management.

 © 2025 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit
 University

 DOI: <http://doi.org/10.25130/jtuh.32.7.2025.11>
"دور الأتمتة الخلوية في التنبؤ المكاني لتغيرات الغطاء الأرضي في منطقة العباسي باستخدام نموذج
"CA-Markov

سعد محمد جاسم محمد/ وزارة التربية/ المديرية العامة لتربية كركوك

الخلاصة:

يُعدّ رصد تغيرات الغطاء الأرضي من المواضيع البيئية ذات الأهمية الكبيرة، إذ يساهم في تحليل وفهم التحولات البيئية وتأثير الأنشطة البشرية على الموارد الطبيعية. يهدف هذا البحث إلى تطبيق تقنية الأتمتة

الخلوية (Cellular Automata - CA) بالاستناد إلى نموذج CA_MARKOV ضمن برنامج IDRESI لدراسة التغيرات المكانية في الغطاء الأرضي ضمن منطقة مركز قضاء الحويجة، وذلك من خلال محاكاة هذه التغيرات واستشراف الاتجاهات المستقبلية بالاعتماد على البيانات الفضائية وللأعوام ٢٠٠٠-٢٠٢٤ للأنماط المرصودة.

تم استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمعالجة وتحليل الصور الفضائية خلال فترة زمنية معينة، مما أتاح إمكانية الكشف عن أنماط التغير في استخدامات الأراضي. يعتمد نموذج CA_MARKOV على الدمج بين سلسلة ماركوف، التي تحدد احتمالات التحول بين أصناف الغطاء الأرضي، والأتمتة الخلوية، التي تحاكي التوزيع المكاني لهذه التحولات المستقبلية.

أظهرت نتائج الدراسة وجود تغيرات واضحة في الغطاء الأرضي ضمن منطقة البحث، حيث لوحظ توسع في المناطق الحضرية على حساب الأراضي الزراعية والمساحات الطبيعية. كما برهن نموذج CA_MARKOV على فاعليته في التنبؤ بالتحولات المستقبلية بدقة جيدة، مما يجعله أداة مهمة لدعم عمليات التخطيط العمراني والإدارة البيئية المستدامة.

أولاً. المقدمة:

الأتمتة الخلوية (Cellular Automata - CA) هي أداة رياضية وحاسوبية تُستخدم لمحاكاة الظواهر المكانية والزمانية استناداً إلى مجموعة من القواعد التي تحدد كيفية تطور الخلايا في شبكة منتظمة. تتكون هذه الشبكة من خلايا فردية، تتغير حالتها بمرور الوقت بناءً على حالاتها السابقة وتفاعلها مع الخلايا المجاورة. يعتمد هذا النموذج على مبدأ التفاعل المحلي، مما يجعله مناسباً لمحاكاة العمليات الديناميكية مثل التوسع العمراني، تغيرات استخدام الأراضي، وانتشار الظواهر البيئية^(١).

أما التنبؤ المكاني فهو عملية تعتمد على نمذجة الأنماط الجغرافية بهدف تقدير التغيرات المستقبلية في توزيع الظواهر الطبيعية أو البشرية. يستند هذا التنبؤ إلى تحليل المعطيات السابقة لاستخلاص اتجاهات محتملة تساعد في دعم القرارات التخطيطية والإدارية. من بين الأساليب المستخدمة في هذا المجال، يبرز نموذج CA_MARKOV، الذي يجمع بين تقنيات الأتمتة الخلوية وسلسلة ماركوف، مما يتيح تمثيلاً دقيقاً للتغيرات المستقبلية المتوقعة^(٢).

فالتغير يشير إلى دراسة وتحليل التغيرات التي تحدث في الظواهر أو الأنماط عبر الزمن والمكان معاً. يجمع هذا المفهوم بين البعدين الزمني والمكاني لفهم كيفية تطور الظواهر أو الأحداث بمرور الوقت وفي

أماكن محددة. يستخدم هذا المفهوم على نطاق واسع في العلوم الجغرافية والبيئية، وكذلك في مجالات مثل تخطيط المدن، وعلم المناخ، وإدارة الموارد الطبيعية. واما التغييرات المكانية هي تلك التغييرات عبر المكان او عبر الزمن المعين وخلال فترة ما (٣).

شهدت العقود الماضية تطوراً ملحوظاً في نمذجة البيانات الجغرافية، حيث تعتمد المعلومات الجغرافية على ثلاثة عناصر أساسية: الموقع، الزمن، والخصائص المرتبطة بالظواهر المدروسة. ومع ذلك، لا تزال هناك صعوبات في تمثيل جميع الجوانب الزمنية بدقة، وذلك بسبب التحديات التقنية والتباينات بين مصادر البيانات المختلفة.

في الماضي، شكلت القيود المتعلقة بالبنية التحتية للحواسيب والبرمجيات عائقاً أمام تطوير نماذج مكانية وزمانية متكاملة، إلا أن التطورات التكنولوجية الحديثة، لا سيما في مجال الحوسبة، ساهمت في التغلب على العديد من هذه المشكلات. ومع تزايد قدرات الحواسيب وتحسين أدائها، أصبحت هناك بيئة أكثر ملاءمة لتحليل الظواهر الجغرافية ودراستها بشكل أعمق.

كما انتقل علم الجغرافيا من النهج الوصفي التقليدي إلى تبني أساليب كمية تعتمد على تحليل البيانات وتمثيلها باستخدام تقنيات مثل النقاط، الخطوط، والمضلعات، بالإضافة إلى الإحداثيات الكارتيزية (XYZ) التي تعزز دقة التمثيل المكاني. وقد أسهم هذا التطور في تحسين فهم العمليات الجغرافية، مما أتاح للجغرافيين وصناع القرار إمكانية وضع استراتيجيات أكثر كفاءة في مجالات التخطيط الحضري، إدارة الموارد، ودراسة التغييرات البيئية (٤).

ثانياً. مشكلة البحث:

تنطلق مشكلة البحث من مقولة مفادها (يواجه التنبؤ المكاني لتغير الغطاء الأرضي مجموعة من التحديات، من أبرزها دقة النماذج المستخدمة، الاختلاف في مصادر البيانات، ومدى موثوقية النماذج الحاسوبية في إنتاج توقعات دقيقة) بناءً على ذلك، تسعى هذه الدراسة للإجابة عن التساؤلات الآتية:

١. ما البيانات المستخدمة في الكشف عن التغير في الغطاء الأرضي؟
٢. إلى أي حد يمكن لنموذج CA_MARKOV، المعتمد على الأتمتة الخلوية وسلسلة ماركوف، أن يحقق دقة عالية في التنبؤ بالتغيرات المكانية للغطاء الأرضي في ناحية العباسي؟
٣. ما البرمجيات اللازمة لتطبيق نموذج CA_MARKOV؟

ثانياً. فرضية البحث:

تنطلق الدراسة من الفرضية التالية:

يُعدّ نموذج CA_MARKOV أداة فعالة في التنبؤ المكاني بتغير الغطاء الأرضي في ناحية العباسي، حيث يمكنه محاكاة التغيرات المستقبلية بدقة معتمدة على الاتجاهات الزمنية السابقة، مما يجعله أداة مساعدة في التخطيط البيئي والعمراني المستدام".
وعليه تنطلق الفرضيات الثانوية الآتية:

١. يمكن للمرئيات الفضائية الكشف عن تغيرات الغطاء الأرضي.
٢. يمكن لنموذج CA_MARKOV تحقيق دقة في النتائج المتوخاة للتنبؤ المكاني.
٣. ان لبرنامج الاديسي القدرة الكبيرة في معالجة التنبؤ المكاني.

رابعاً. هدف البحث:

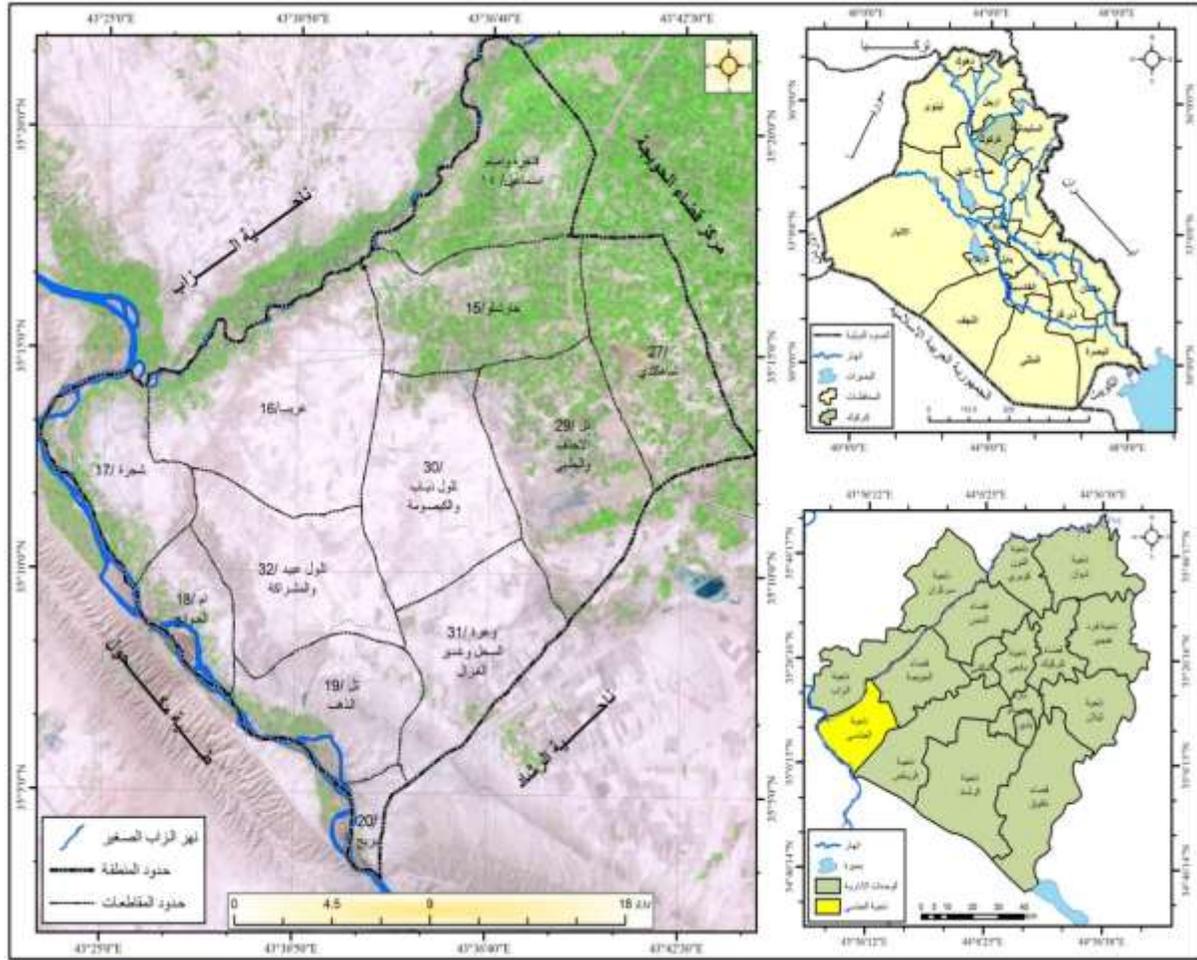
يهدف هذا البحث إلى تحليل وفهم التغيرات التي طرأت على الغطاء الأرضي من خلال إجراء مقارنة رقمية دقيقة بين عامي ١٩٩٠ و ٢٠٢٤، مما يسمح بتحديد مدى التحولات التي شهدتها المنطقة خلال هذه الفترة. كما تسعى الدراسة إلى التنبؤ بالمناطق الأكثر عرضة للتغيرات المستقبلية حتى عام 2050، وذلك باستخدام تقنيات الأنتمة الخلوية (Cellular Automata) التي تتيح محاكاة الأنماط المكانية ودراسة الاتجاهات المحتملة لهذه التغيرات.

بالإضافة إلى ذلك، تهدف الدراسة إلى تقييم ما إذا كانت هذه التغيرات تتجه نحو التوسع أو التراجع، مما يوفر بيانات دقيقة يمكن أن تسهم في دعم صنّاع القرار والمخططين البيئيين في اتخاذ تدابير فعالة للحفاظ على الموارد الطبيعية وإدارة استخدام الأراضي بشكل مستدام. سيتم أيضاً اختبار مدى دقة النموذج المستخدم في التنبؤ من خلال تطبيق تقنية التحقق المتقاطع (Cross-Validation) ، مما يضمن موثوقية النتائج ويعزز من فعالية التوصيات المستخلصة من الدراسة.

خامساً. موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة، التي تبلغ مساحتها ٥١٤.٧ كيلومتراً مربعاً ضمن الأراضي المتموجة المحصورة بين نهر الزاب ونهر دجلة، وتخترقها بعض الأودية، أبرزها وادي السحل. إدارياً، تتبع هذه المنطقة لقاء الحويجة التابع لمحافظة كركوك، حيث تقع في الجزء الجنوبي الغربي منها. يحدها شمالاً مركز قضاء الحويجة، وجنوباً نهر دجلة، ومن الغرب نهر الزاب الصغير، وناحية الرشاد شرقاً. هذا وتتنحصر منطقة الدراسة بين دائرة عرض (٠°، ٥°، ٣٥°) و (٠°، ٢٠°، ٣٥°) شمالاً وخط طول (٠°، ٢٥°، ٤٣°) و (٠°، ٤٢°، ٤٣°) شرقاً، وكما في الخريطة (١).

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



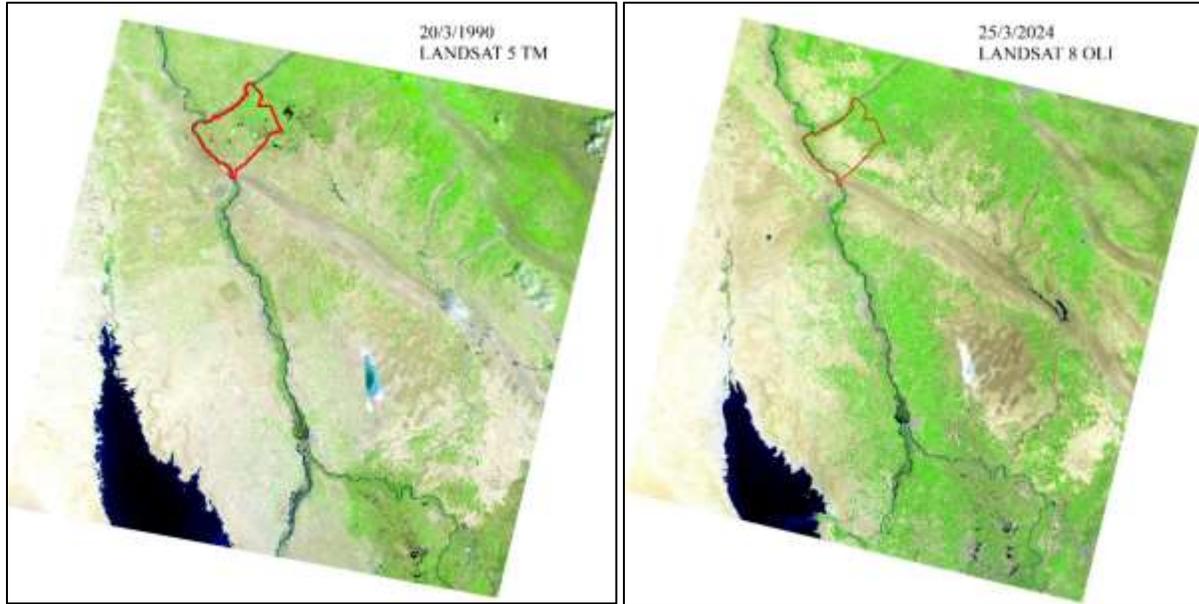
المصدر: اعتمادا على الخريطة الادارية للعراق والهيئة العامة للمساحة ٢٠١٨ والخريطة الادارية لمحافظة كركوك، الهيئة العامة للمساحة ٢٠١٨.

سادساً. مصادر البيانات المستخدمة:

قبل البدء في عمليات المعالجة الرقمية ضمن هذه الدراسة، كان من الضروري تحديد الأسس العلمية التي استند إليها اختيار المرئيات الفضائية المستخدمة. تم الاعتماد على صور الأقمار الصناعية Landsat 4 و 8 نظراً لعدة عوامل رئيسية، من بينها توفرها المجاني عبر الإنترنت وإمكانية الوصول إلى أرشيف تاريخي يمتد إلى سبعينيات القرن الماضي من خلال منصة Landsat. يوفر هذا الأرشيف قاعدة بيانات قيمة لدراسة التغيرات الزمنية في الغطاء الأرضي على مدى عقود، مما يسمح برصد الأنماط المكانية بدقة وتحليل العوامل المؤثرة فيها.

تتميز هذه المرئيات الفضائية بدقة تمييزية تصل إلى 30متراً، مما يجعلها مناسبة لمراقبة التحولات في الغطاء الارضي عبر نطاقات زمنية مختلفة. تم اختيار صور الأقمار الصناعية لفترةين زمنيتين متقاربتين، وهما ٢٠ مارس ١٩٩٠ و ٢٥ مارس ٢٠٢٤، حيث يمثل شهر مارس، مما يضمن دقة أعلى في التقييم. إضافة إلى ذلك، توفر منصة Landsat بيانات مفتوحة المصدر، مما يسهم في تسهيل الدراسات البيئية وتقليل تكاليف الحصول على المعلومات الجغرافية. كما تتميز مرئيات Landsat 8 بقدرتها على التقاط بيانات ذات دقة مكانية تصل إلى 30متراً للنطاقات متعددة الأطياف و 15متراً للنطاق البانكروماتي، مما يعزز من موثوقية التحليل و يتيح استنتاجات أكثر دقة حول ديناميكيات الغطاء الارضي والتغيرات التي تطرأ عليه بمرور الوقت^(٥). وكما في الشكل (١).

شكل (١) المرئيات المستخدمة في الدراسة للفترة 1990-2024



المصدر: اعتماداً على مرئيات لاندسات (٤، ٨)، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

سابعاً. آلية الحصول على الغطاء الأرضي:

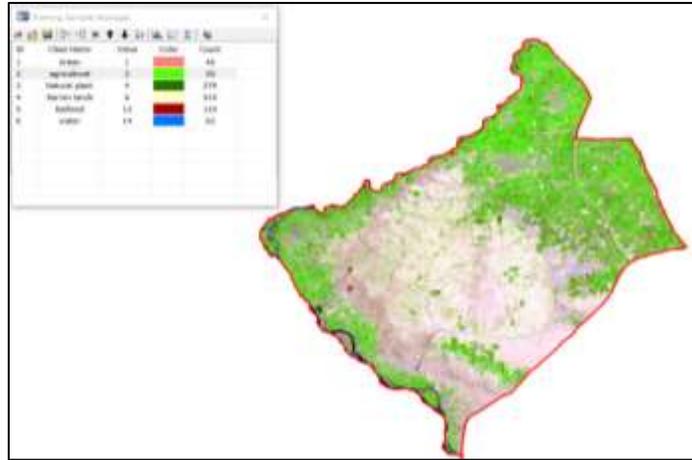
تعتمد آلية الحصول على الغطاء الأرضي باستخدام التصنيف الموجه على تحليل الصور الفضائية من خلال تدريب خوارزمية التصنيف باستخدام عينات معروفة مسبقاً. في البداية، يتم جمع الصور الفضائية من مصادر موثوقة مثل أقمار Landsat، حيث يتم اختيار نطاقات طيفية مناسبة تساعد في التمييز بين أنواع الغطاء الأرضي المختلفة. بعد ذلك، تُجرى عمليات تصحيح هندسي وإشعاعي على الصور للتأكد من دقتها، وإزالة أي تشوهات ناتجة عن العوامل الجوية أو انحرافات القمر الصناعي.

بعد تجهيز الصور، يتم اختيار مناطق تدريب تمثل الفئات المستهدفة، مثل الغابات، الأراضي الزراعية، المناطق الحضرية، والمسطحات المائية. يتم تحديد هذه المناطق استناداً إلى مصادر مرجعية مثل الصور الجوية أو البيانات الميدانية، ثم تُستخدم عينات تدريبية لتعليم الخوارزمية كيفية التمييز بين الفئات المختلفة. بمجرد إعداد بيانات التدريب، يتم تطبيق خوارزمية تصنيف موجه مثل أقصى احتمالية (MLC) أو شبكات الدعم الشعاعية (SVM) ، والتي تقوم بتحليل كل بكسل في الصورة وتحديد الفئة التي ينتمي إليها بناءً على الخصائص الطيفية^(٦). وعلى ضوء ما تقدم فإن عملية التصنيف الموجه تتم على مرحلتين أساسيتين هما:

أ - مرحلة اختيار مناطق التدريب:

يتم اختيار مناطق التدريب (Training) من خلال استخدام المرئية الفضائية الملونة بألوان كاذبة، ومن خلال الاطلاع على بيانات المرجعية فضلاً عن المعلومات المستنبطة من الزيارات الميدانية الى منطقة الدراسة والاستعانة بجهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) والعلم المسبق بتصانيف التربة في منطقة الدراسة، ثم تبدأ عملية اختيار مناطق التدريب وفقاً للتباينات في الانعكاسية الأرضية لتلك المناطق^(٧). وتم اختيار مناطق التدريب في الشكل (٢).

شكل (٢) أماكن اختيار عينات التدريب لأنواع التربة



المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج ARC GIS

ولفهم منطقة الدراسة بدقة، يجب إجراء زيارات ميدانية وتحليل الصور الفضائية لتحديد المواقع الأكثر تمثيلاً للأهداف المستهدفة، مع تجنب المناطق القريبة من الحدود الفاصلة بين الأنماط المختلفة، وذلك لتفادي الخلايا الصورية التي قد تعاني من تداخل بين الفئات. عند اختيار مناطق التدريب، يفضل أن تكون مساحتها صغيرة للغاية لضمان دقة التحديد، حيث إن تصغير المساحة يعزز الدقة الطيفية والانعكاسية للهدف. كما يجب أن تكون مناطق التدريب ذات انعكاسية واضحة ومميزة مقارنة بالمناطق المحيطة بها، مما

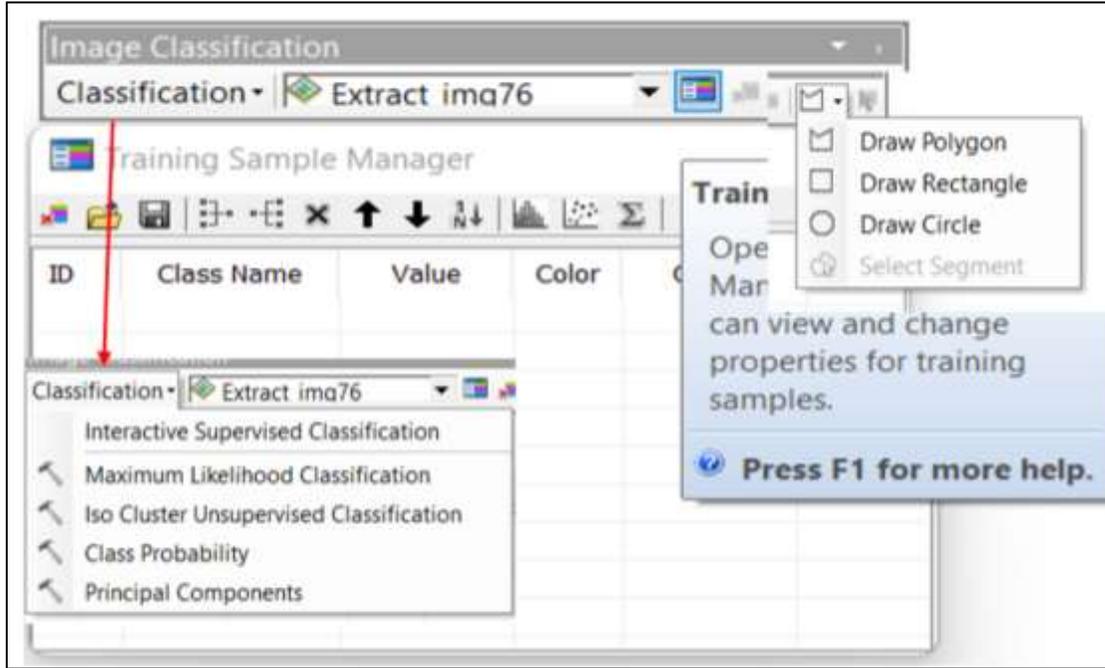
يستدعي دقة متناهية في تحديد خصائص الانعكاس الطيفي لكل فئة عند اختيار المواقع التدريبية. ولضمان تمثيل المرئية الفضائية بالكامل، يُفضل زيادة عدد المواقع المخصصة لكل نوع، مما يساعد في تحسين عمليات التداخل والتدرج بين الفئات المختلفة. بالإضافة إلى ذلك، لا ينبغي إهمال أي صنف طيفي عند تحليل المرئية الفضائية، لأن ذلك قد يؤدي إلى زيادة غير مرغوبة في عدد الأصناف التي يتم تفسيرها عند تنفيذ عملية التصنيف بواسطة الحاسوب. (٨)

ب - مرحلة التصنيف:

في هذه المرحلة، يتم اختيار إحدى الطرق الإحصائية لتنفيذ عملية التصنيف الآلي، حيث تُجرى مقارنة بين الوحدات الصورية غير المصنفة وتلك الخاصة بمناطق التدريب لتحديد مدى التشابه والتقارب بينها. تتوفر عدة أساليب حسابية لإنجاز التصنيف الآلي، ومن بين هذه الأساليب تم اعتماد طريقة التصنيف بالبصمة الطيفية، التي تعتمد على القيم الانعكاسية لأنواع الغطاء الأرضي المختلفة، والتي تتفاوت فيما بينها تبعاً للخصائص الطيفية لكل عنصر. يعتمد نجاح هذه الطريقة على نوع المتحسس المستخدم والقدرة التمييزية للقمر الصناعي، حيث قد تكون بعض الأجسام صغيرة جداً مقارنة بقدرة التمييز الخاصة بالمتحسس، مما يؤدي إلى حدوث تداخل بين القيم الانعكاسية للأغطية الأرضية المختلفة.

في هذا البحث، تم الاستعانة ببيانات القمر الصناعي Landsat، الذي يتميز بقدرة تمييزية تبلغ ٣٠ متراً، وذلك باستخدام برنامج ArcGIS. توفر الإصدارات الحديثة من برمجيات نظم المعلومات الجغرافية مجموعة واسعة من الأدوات المتخصصة في معالجة وتحليل المرئيات الفضائية، ومن أبرزها أدوات التصنيف. تمتاز هذه الأدوات بإمكانية التعديل والتحديث المستمر، حيث يمكن تصحيح أي خطأ في اختيار عينات التدريب بسهولة عبر حذفها أو دمج عدة عينات ضمن فئة واحدة. فعلى سبيل المثال، عند تصنيف المسطحات المائية، يمكن اختيار أكثر من عينة تدريبية لتعزيز دقة التصنيف، وهي ميزة لا تتوفر في بعض البرمجيات الأخرى مثل ERDAS Imagine. كما يحتوي امتداد التصنيف في ArcGIS على مجموعة من الخيارات المتقدمة، مثل إدارة عينات التدريب ورسم مناطق التصنيف بأشكال هندسية متنوعة، مما يتيح مرونة ودقة أكبر في عملية التصنيف. وكما في الشكل (٣).

شكل (٣) امتداد أدوات التصنيف في برنامج ARC GIS

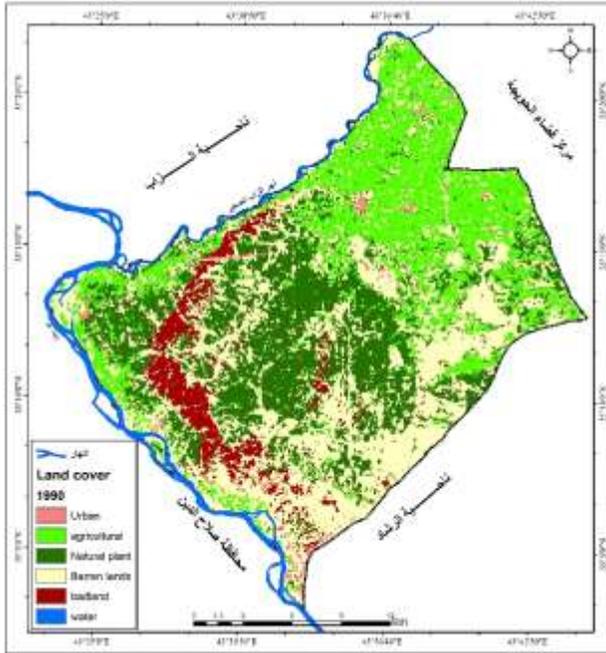


المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج ARC GIS 10.8.

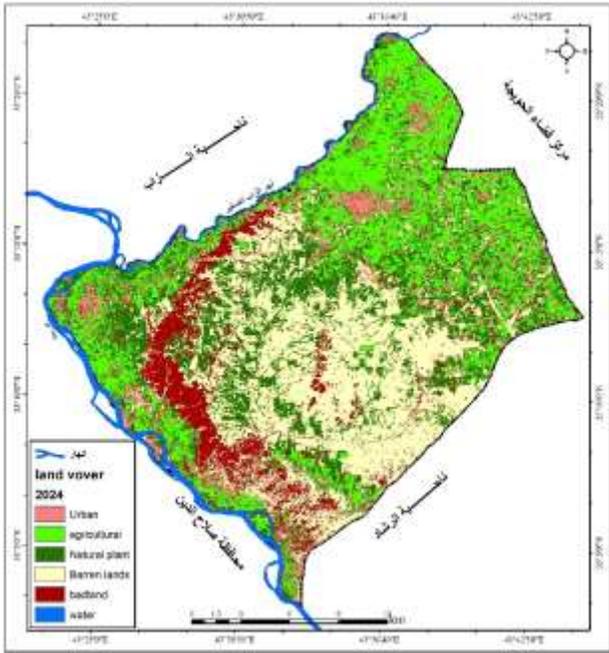
وعند تطبيق التصنيف للمريثات الثلاث تم استخراج النتائج في الخريطين (٢) (٣) والجدول (١).

خريطة (٣) الغطاء الارضي لعام 2024

خريطة (٢) الغطاء الارضي لعام 1990



اعتماداً على: لاندسات ٨ ذي المتحسس OLI.



اعتماداً على: لاندسات ٥ ذي المتحسس TM.

جدول (١) مساحة الغطاء الارضي للأعوام (1990-2024) في منطقة الدراسة

مساحة التغير/كم ^٢	2024		1990		الاسم بالإنكليزي	الصنف بالعربي	ت
	النسبة %	المساحة/كم ^٢	النسبة %	المساحة/كم ^٢			
-25	19.5	100.5	24.4	125.5	agricultural	استعمال زراعي	1
0	6.9	35.4	6.9	35.4	badland	أراضي رديئة	2
22.9	37.0	190.5	32.6	167.6	Barren lands	أراضي جرداء	3
-29.6	25.5	131.3	31.3	160.9	Natural plant	نبات طبيعي	4
38.4	10.3	52.9	2.8	14.5	Urban	استعمال حضري	5
-6.7	0.8	4.1	2.1	10.8	water	مياه	٦
	100.0	514.7	100.0	514.7			مجموع

المصدر: اعتماداً على لاندسات ٥ و٨، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

ويلاحظ من الخرائط (٢،٣) والجدول (١) الحقائق الآتية:

➤ الاستعمال الزراعي (Agricultural)

- انخفضت المساحة من 125.5 كم² (24.4%) في ١٩٩٠ إلى 100.5 كم² (19.5%) في ٢٠٢٤، أي بفقدان ٢٥ كم² من الأراضي الزراعية. يعكس هذا الانخفاض تحول بعض الأراضي الزراعية إلى الاستخدام الحضري أو الأراضي الجرداء، أو تدهور الإنتاجية الزراعية بسبب التصحر أو الجفاف.

➤ الأراضي الرديئة (Badland)

- لم تتغير مساحتها، حيث بقيت عند 35.4 كم² (6.9%) بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٢٤. يشير ذلك إلى استقرار هذه الفئة من الأراضي، مما قد يكون ناتجاً عن العوامل الجيولوجية أو غياب الأنشطة البشرية المؤثرة عليها.

➤ الأراضي الجرداء (Barren Lands)

- ازدادت من 167.6 كم² (32.6%) إلى 190.5 كم² (37.0%)، أي بزيادة 22.9 كم². يعكس هذا التغير عملية تصحر متزايدة، أو تدهور الأراضي نتيجة الأنشطة البشرية غير المستدامة.

➤ النباتات الطبيعي (Natural Plant)

- تراجع من 160.9 كم² (31.3%) إلى 131.3 كم² (25.5%)، مما يعني فقدان 29.6 كم² من الغطاء النباتي الطبيعي. هذا الانخفاض يكون ناتجاً عن التوسع الحضري، تحويل الأراضي إلى زراعية أو جرداء، أو تأثيرات تغير المناخ التي أدت إلى تقليل كثافة الغطاء النباتي.

➤ الاستعمال الحضري (Urban)

١. شهد توسعاً كبيراً من 14.5 كم² (2.8%) إلى 52.9 كم² (10.3%) ، أي بزيادة 38.4 كم². يعكس هذا التغير زيادة في التمدن والتوسع العمراني، مما أدى إلى استبدال الغطاء النباتي والأراضي الزراعية بالبنية التحتية والمباني.

➤ المياه (Water)

• تراجعت المساحة من 10.8 كم² (2.1%) إلى 4.1 كم² (0.8%) ، مما يمثل فقدان ٦.٧ كم² من المسطحات المائية. يكون هذا الانخفاض ناتجاً عن التغيرات المناخية، قلة الأمطار، زيادة استهلاك المياه، أو تدهور موارد المياه الجوفية والسطحية.

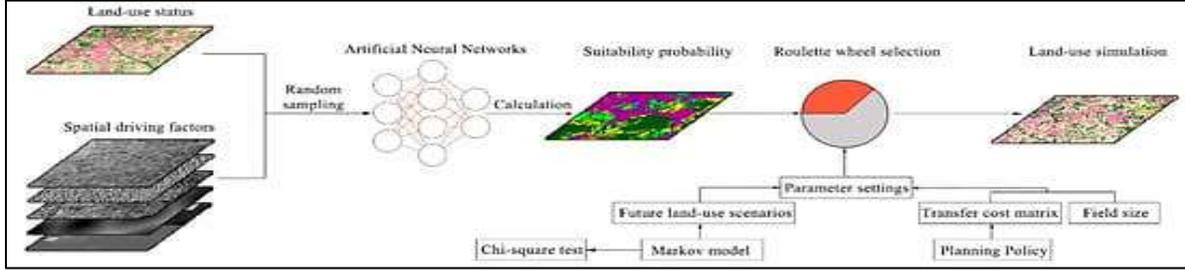
ثامناً. التنبؤ بتغير الغطاء الأرضي باستخدام نموذج CA_ MARKOV للخلايا الشبكية العصبية:

يُشكل الغطاء الأرضي مكوناً أساسياً في البيئة، إذ يعكس التفاعل المتواصل بين العوامل الطبيعية والأنشطة البشرية. ومع التوسع العمراني والتغيرات المتسارعة في استخدام الأراضي، بات من المهم توقع التحولات المستقبلية في الغطاء الأرضي لضمان التخطيط الفعال والإدارة المستدامة للموارد الطبيعية. يُعتبر نموذج CA_ MARKOV (التحليل الخلوي الذاتي المقترن بسلاسل ماركوف) أحد الأساليب المتقدمة المستخدمة في هذا المجال، حيث يجمع بين التحليل المكاني والاحتمالي لدراسة التغيرات المكانية. وعند دمجها مع الخلايا الشبكية العصبية (Neural Networks)، تتحسن دقة التوقعات بفضل قدرة التعلم الآلي على تحليل العلاقات المعقدة والأنماط غير الخطية في البيانات^(٩).

تمثل دور سلاسل ماركوف في تحديد احتمالات الانتقال بين أنواع الغطاء الأرضي المختلفة بناءً على البيانات التاريخية، بينما يضيف التحليل الخلوي الذاتي البعد المكاني من خلال مراعاة تأثير الخلايا المجاورة على التغيرات المستقبلية. عند دمج هذا النموذج مع الخلايا الشبكية العصبية، يتم تحسين دقة التنبؤات بفضل قدرة الشبكات العصبية على التعلم من الأنماط المعقدة والتفاعلات غير الخطية بين العوامل البيئية. تبدأ عملية التنبؤ بجمع بيانات الغطاء الأرضي للفترة السابقة وتحليل الاتجاهات والتغيرات التي طرأت عليها. بعد ذلك، يتم تدريب الشبكة العصبية على هذه البيانات لتحديد العلاقات بين المتغيرات المختلفة والتغيرات المحتملة في المستقبل. تُستخدم نتائج تحليل ماركوف لتحديد احتمالات التحول بين الفئات المختلفة من الغطاء الأرضي، في حين يقوم التحليل الخلوي الذاتي بمحاكاة هذه التغيرات مكانياً وزمانياً. أخيراً، يُستخدم النموذج المدرب لتوقع سيناريوهات المستقبل، مما يساعد في اتخاذ قرارات مستدامة تتعلق بإدارة الموارد الطبيعية والتخطيط العمراني^(١٠).

تتم أهمية استخدام هذا النموذج في قدرته على تقديم تنبؤات دقيقة تعتمد على البيانات السابقة والتفاعلات البيئية، مما يتيح للمخططين وصناع القرار وضع استراتيجيات مستدامة لمواجهة التغيرات البيئية والتوسع العمراني. كما يساهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية وتقليل التأثيرات البيئية السلبية الناتجة عن الأنشطة البشرية.^(١) وكما في الشكل (٢).

شكل (٢) المخطط الهيكلي لفكرة التنبؤ بتغير الغطاء الارضي

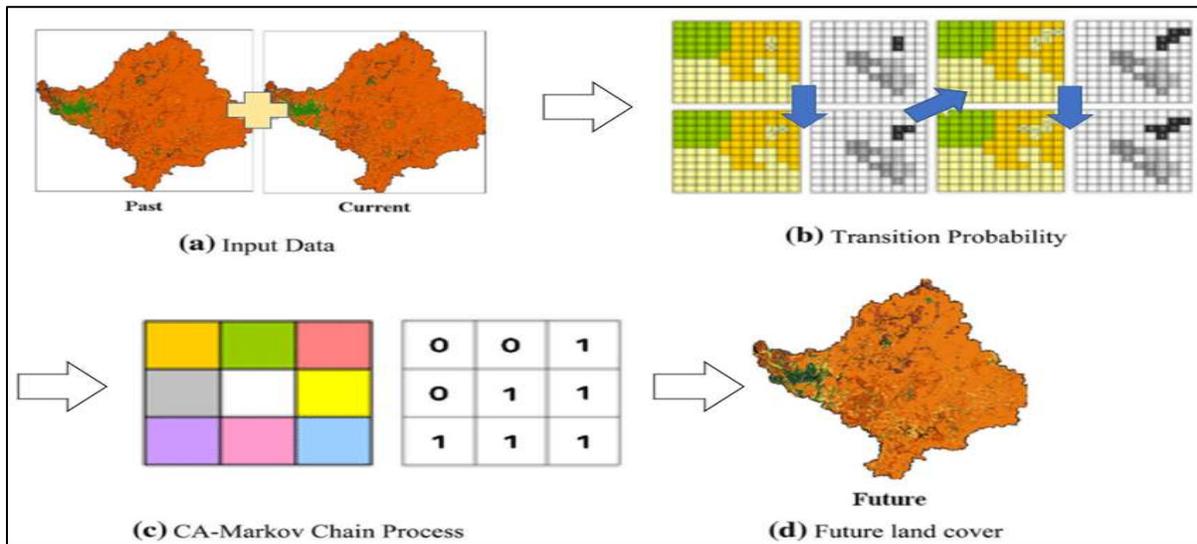


من عمل الباحث.

١. اليه اشتقاق الأتمتة الخلوية في برنامج Idrisi

- يقوم البحث باعتماد سنتين الأولى هي سنة الأساس وتعد أقدم سنة تأخذ في الدراسة الا وهي عام ١٩٩٠، ومقارنتها مع عام 2024 بعد ذلك يتم مقارنة مخرجات الطرفين للتنبؤ بعام ٢٠٥٠. وفق خوارزمية تعتمد على معادلات اقترحها العالم ماركوف وطورت فيما بعد وتكون لغة عملها كما في الشكل (٣).

شكل (٣) فكرة معالجة المرئيات الفضائية للتنبؤ المستقبلي وفق انموذج ماركوف

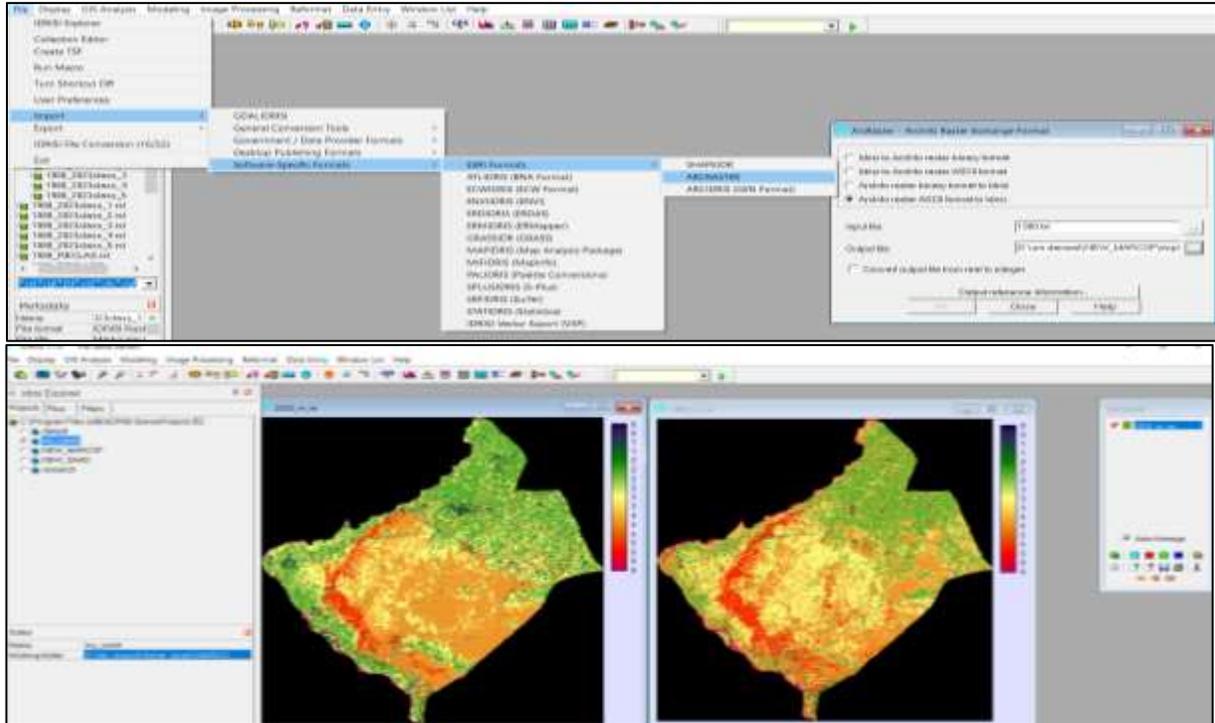


<https://2u.pw/uYvCOzzS>.

- بعد إجراء عمليات معالجة المرئيات الفضائية وتصنيف الغطاء الأرضي باستخدام برنامج **ARC GIS**، يتم تنفيذ عدة خطوات لضمان دقة التحليل وتوفير البيانات بصيغة مناسبة للنمذجة. في البداية، يتم تصنيف الغطاء الأرضي لكل سنة على حدة، مما يتيح تتبع التغيرات في الأنماط المكانية عبر الزمن. بعد ذلك، تُجرى عملية إعادة التصنيف لكل سنة على حدة، بهدف توحيد الفئات وتصحيح أي أخطاء تصنيفية قد تؤثر على دقة النتائج. بعد إتمام إعادة التصنيف، يتم تصدير الطبقة التي تم إعادة تصنيفها إلى صيغة نصية **Text** باستخدام أداة **Raster to ASCII** المتوفرة في برنامج **ARC GIS**. هذه العملية تحويل البيانات النقطية (**Raster**) إلى صيغة نصية (**ASCII**)، والتي تسهل استخدامها في التحليلات الإحصائية أو إدخالها في برامج أخرى مثل **IDRISI** أو النماذج الحاسوبية المتخصصة في تحليل التغيرات المكانية مثل **CA_MARKOV**. تُعد هذه الصيغة مفيدة لأنها توفر تمثيلاً رقمياً للخلايا الشبكية، مما يسهل عمليات المعالجة اللاحقة مثل التنبؤ بالتغيرات المستقبلية للغطاء الأرضي أو تحليل الأنماط المكانية للتغيرات البيئية^(١٢).

- فتح برنامج **IDRISI** واستيراد الطبقات في النقطة أعلاه وكما في الشكل (٤).

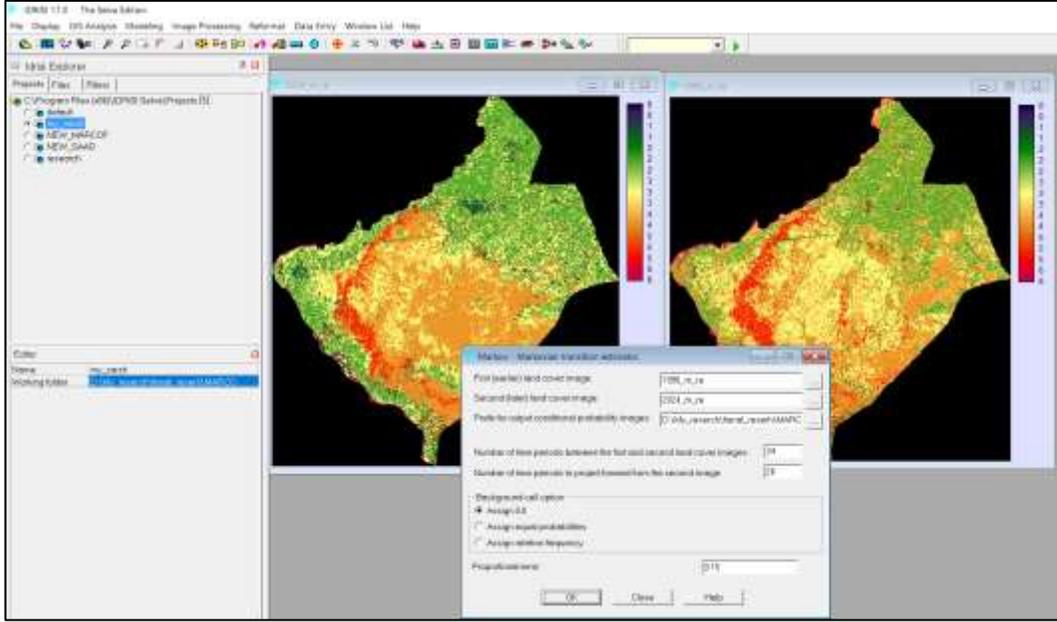
شكل (٤) استيراد الطبقات الى برنامج **IDRISI**



المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج **IDRISI**.

- الذهاب الى امتداد النمذجة Modeling، ومن ثم الذهاب الى بيئة النماذج/ المحاكاة، ومن ثم Markov وكما في الشكل (٥). ثم تظهر النتائج بصيغة تقرير وكما في الشكل (٦) اذ تمثيل قيم الاحتمالية لكل صنف فكلما اقتربت النتيجة من ٠ دلت على احتمالية التغير ضعيفة، وكلما اقتربت من ١ زادت احتمالية التغير.

شكل (٥) الية الوصول الى انموذج ماركوف



المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

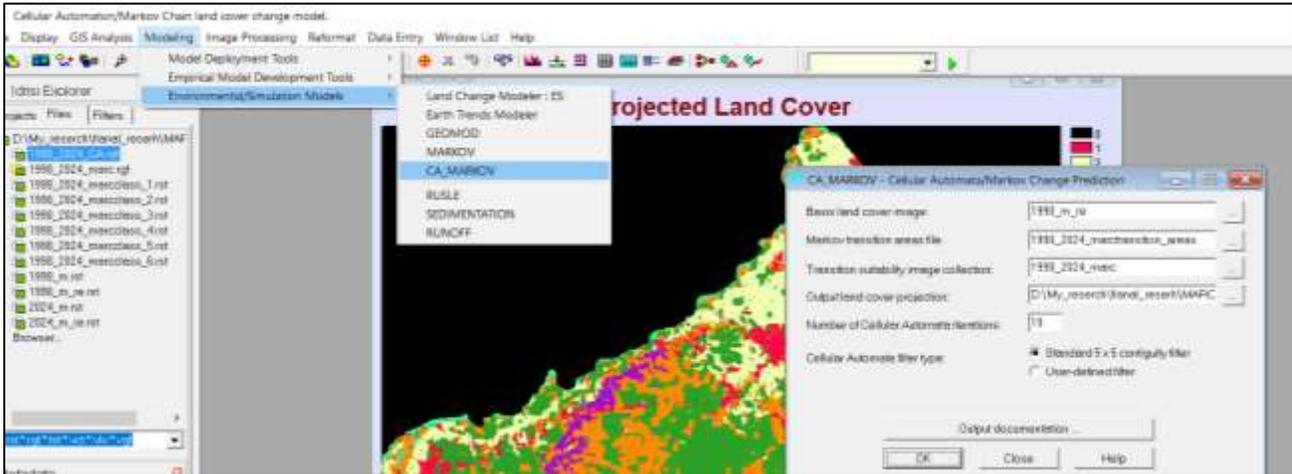
شكل (٦) مصفوفة احتمالية التغير وفق أصناف الغطاء الارضي

Given :	Probability of changing to :					
	Cl. 1	Cl. 2	Cl. 3	Cl. 4	Cl. 5	Cl. 6
Class 1	0.2928	0.0617	0.1985	0.4370	0.0083	0.0017
Class 2	0.1223	0.5059	0.3507	0.0177	0.0029	0.0006
Class 3	0.0682	0.1443	0.3383	0.4484	0.0006	0.0002
Class 4	0.1255	0.1719	0.2726	0.4026	0.0254	0.0020
Class 5	0.0436	0.0000	0.0463	0.5700	0.3402	0.0000
Class 6	0.2368	0.0125	0.3348	0.0000	0.0005	0.4153

المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

- بعد استكمال معالجة المرئيات الفضائية وتصنيف الغطاء الأرضي، وتجهيز البيانات بصيغة ملائمة، تصح قواعد البيانات مهياً لتنفيذ عمليات التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في الغطاء الأرضي. يتم ذلك من خلال تطبيق أنموذج الأتمتة الخلوية لماركوف (CA_MARKOV)، والذي يجمع بين تحليل سلاسل ماركوف والنمذجة المكانية باستخدام التحليل الخلوي الذاتي. يعمل أنموذج ماركوف على حساب احتمالات انتقال فئات الغطاء الأرضي من حالة إلى أخرى استناداً إلى البيانات التاريخية، بينما يقوم التحليل الخلوي الذاتي (Cellular Automata) بمحاكاة هذه التغيرات عبر الزمن، مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات المكانية والتجاورات بين الخلايا المختلفة. من خلال هذا التكامل، يصبح من الممكن إنتاج خرائط تنبؤية تعكس السيناريوهات المستقبلية للتغيرات البيئية والتوسع العمراني. يساهم استخدام هذا النموذج في توفير أداة قوية لدعم صناع القرار في التخطيط المستدام، حيث يمكنه تقديم تصورات دقيقة حول كيفية تغير أنماط الغطاء الأرضي مستقبلاً، مما يساعد في توجيه السياسات البيئية وإدارة الموارد الطبيعية بفعالية^(١٣). إذ يتم الوصول إليها من خلال الشكل (٧).

شكل (٧) الية الوصول للأتمتة الخلوية وفق نموذج ماركوف

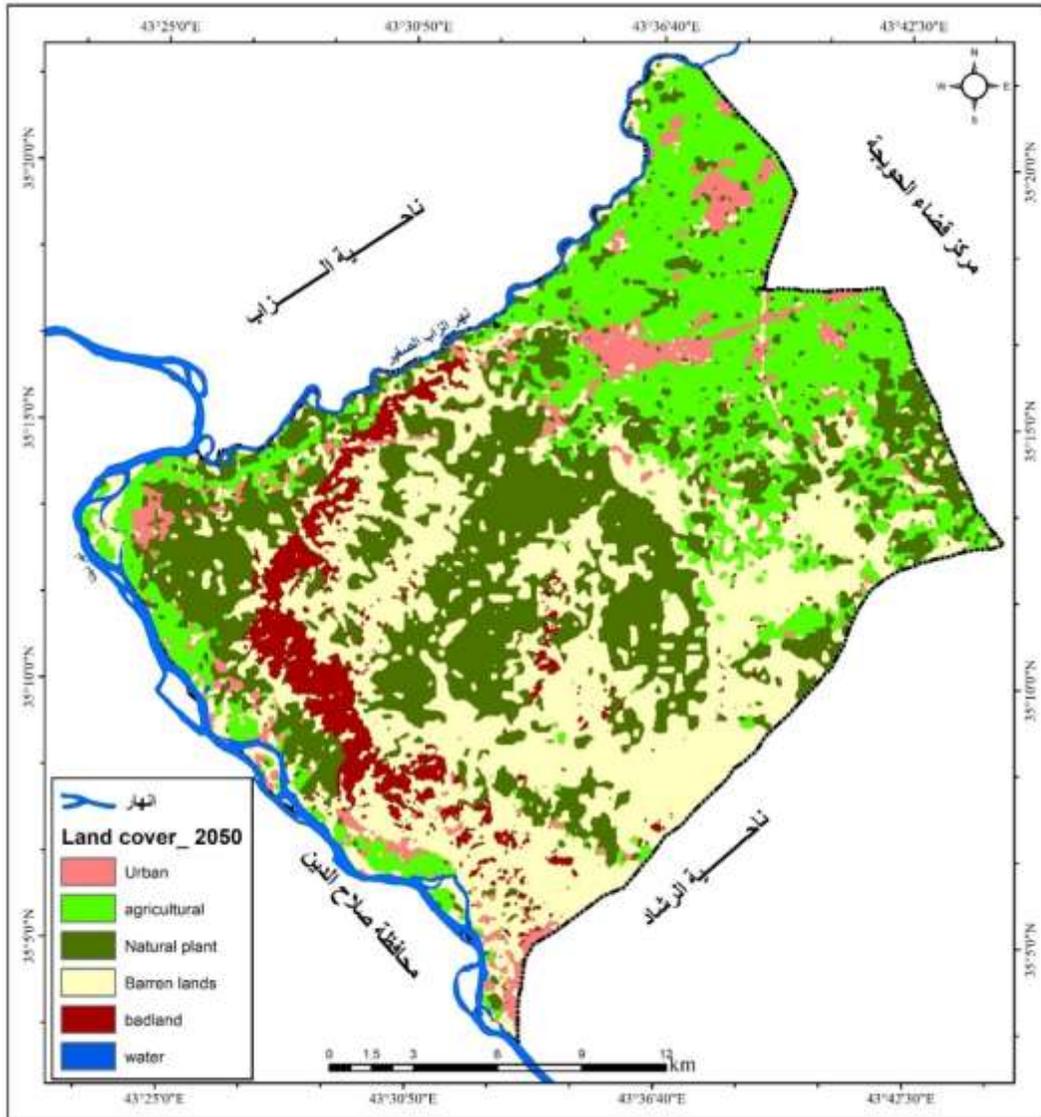


المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

- عقب الانتهاء من التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في الغطاء الأرضي باستخدام * * أنموذج الأتمتة الخلوية لماركوف (CA_MARKOV)، يتم استخراج النتائج النهائية التي تعكس التغيرات المتوقعة خلال الفترات الزمنية المدروسة. بعد ذلك، تُصدر هذه النتائج إلى برنامج ARC GIS بهدف معالجتها بصرياً وتحويلها إلى خرائط متكاملة تتماشى مع العناصر الخرائطية، مثل الإحداثيات، مقياس الرسم، اتجاه الشمال،

والمسميات التوضيحية، مما يسهم في تحسين جودة التمثيل الجغرافي للبيانات. تساعد هذه المرحلة في تعزيز وضوح النتائج، مما يسهل تحليلها والاستفادة منها من قبل الباحثين والمخططين ومتخذي القرار. من خلال ARC GIS، يمكن تنفيذ عمليات إضافية، مثل ضبط الألوان والرموز لتوضيح الفئات المختلفة للغطاء الأرضي، وإضافة بيانات وصفية تدعم فهم التغيرات، بالإضافة إلى إنشاء خرائط مقارنة بين الأوضاع السابقة والمتوقعة. كما تتيح هذه الخرائط دعم عمليات التخطيط العمراني وإدارة الموارد الطبيعية بفعالية، من خلال تقديم تصور مكاني دقيق يساهم في توجيه القرارات المستقبلية المتعلقة بالاستخدام المستدام للأراضي^(١٤). وكما في الخريطة (٤).

خريطة (٤) التنبؤ بتغير الغطاء الارضي لعام ٢٠٥٠ في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على تطبيق نموذج CA Markov.

جدول (٢) مساحة الغطاء الأرضي للأعوام (٢٠٢٤-٢٠٥٠) في منطقة الدراسة

ت	الصف بالعربي	الاسم بالإنكليزي	٢٠٢٤		٢٠٥٠		مساحة التغير/كم ^٢
			النسبة %	المساحة/كم ^٢	النسبة %	المساحة/كم ^٢	
1	استعمال زراعي	agricultural	19.5	100.5	7.0	35.8	-64.7
2	أراضي رديئة	badland	6.9	35.4	6.9	35.4	0.0
3	أراضي جرداء	Barren lands	37.0	190.5	39.2	201.6	11.1
4	نبات طبيعي	Natural plant	25.5	131.3	32.5	167.5	36.2
5	استعمال حضري	Urban	10.3	52.9	13.7	70.4	17.5
٦	مياه	water	0.8	4.1	0.8	4.0	-0.1
	مجموع		100.0	514.7	١٠٠	٥١٤.٧	

المصدر: اعتماداً على لاندسات ٥ و٨، باستخدام برنامج Arc GIS 10.8.

ويلاحظ من الخريطة (٤) والجدول (٢) الحقائق الآتية:

➤ انخفاض الأراضي الزراعية (-٦٤.٧ كم^٢)

تُظهر التوقعات تراجعاً كبيراً في مساحة الأراضي الزراعية، حيث تقلصت من 100.5 كم^٢ (19.5%) في عام ٢٠٢٤ إلى 35.4 كم^٢ (7.0%) في ٢٠٥٠، بفارق 64.7 كم^٢، ويُعزى هذا الانخفاض إلى التمدد العمراني، والظروف المناخية المتغيرة، وظاهرة التصحر، إلى جانب تحويل استخدام الأراضي إلى مشاريع صناعية أو بنى تحتية. هذا التغيير يعكس تحديات كبيرة تتعلق بالأمن الغذائي، والاستدامة البيئية، وضرورة تبني استراتيجيات للحفاظ على الأراضي الزراعية.

➤ ثبات مساحة الأراضي الرديئة (٠.٠ كم^٢ تغير)

لم يطرأ أي تغيير على مساحة الأراضي الرديئة (Badland)، حيث بقيت عند 35.4 كم^٢ (6.9%) خلال فترة الدراسة. يشير هذا الثبات إلى أن هذه المناطق تتميز بخصائص طبيعية أو جيولوجية ثابتة تجعلها أقل عرضة للتحويلات الكبيرة، سواء بفعل الأنشطة البشرية أو العوامل الطبيعية، مما يقلل من إمكانية استخدامها لأغراض أخرى.

➤ زيادة الأراضي الجرداء (+١١.١ كم^٢)

من المتوقع أن تشهد الأراضي الجرداء (Barren lands) توسعاً من 190.5 كم^٢ (37.0%) في ٢٠٢٤ إلى 201.6 كم^٢ (39.2%) في ٢٠٥٠، بزيادة قدرها 11.1 كم^٢. ويكون هذا النمو مرتبطاً بالتصحر، وتراجع الغطاء النباتي، والضغط المناخي، والاستغلال المفرط للموارد الطبيعية. هذه الزيادة تثير مخاوف بيئية، حيث تؤدي إلى تدهور التربة، وزيادة خطر العواصف الرملية، وانخفاض الإنتاجية البيئية، مما يستدعي اتخاذ تدابير للحد من التوسع في هذه الفئة من الأراضي.

➤ توسع الغطاء النباتي الطبيعي (+٣٦.٢ كم²)

تشير التقديرات إلى أن المناطق ذات الغطاء النباتي الطبيعي ستشهد زيادة من 131.3 كم² (25.5%) إلى 167.5 كم² (32.5%) ، بارتفاع 36.2 كم². يمكن تفسير ذلك من خلال مشاريع إعادة التشجير، وجهود الحفاظ على البيئة، وانخفاض النشاط الزراعي الذي قد يؤدي إلى استعادة بعض المناطق لنظامها البيئي الطبيعي. يُعد هذا التوسع مؤشراً إيجابياً يعزز التنوع البيولوجي، ويحسن استقرار النظام البيئي، ويساعد في امتصاص الكربون، مما يسهم في التخفيف من آثار التغير المناخي.

➤ التوسع الحضري (+١٧.٥ كم²)

أظهرت البيانات ارتفاعاً في مساحة المناطق الحضرية، حيث ارتفعت من 52.9 كم² (10.3%) في ٢٠٢٤ إلى 70.4 كم² (13.7%) في ٢٠٥٠، بزيادة 17.5 كم². يُعزى هذا التوسع إلى زيادة عدد السكان، وارتفاع الطلب على الإسكان، والتوسع في مشاريع البنية التحتية والصناعية. رغم أهمية هذا التوسع في دعم التنمية الاقتصادية، فإنه قد يُسهم في تآكل الأراضي الزراعية، وزيادة الضغط على الموارد الطبيعية، وتعقيد إدارة النفايات والتلوث البيئي، مما يستدعي التخطيط المستدام للمدن للحفاظ على التوازن بين النمو الحضري والاستدامة البيئية.

➤ استقرار الموارد المائية (-٠.١ كم² تغير طفيف)

لم تشهد المسطحات المائية تغيراً ملحوظاً، حيث انخفضت مساحتها بشكل طفيف من 4.1 كم² (0.8%) إلى 4.0 كم² (0.8%) ، بفارق 0.1 كم² فقط. يشير هذا الاستقرار إلى أن العوامل المناخية والتدخلات البشرية لم تؤدي إلى تراجع ملحوظ في موارد المياه السطحية، وهو مؤشر إيجابي نسبياً. ومع ذلك، فإن هذا الاستقرار يتطلب مراقبة دورية لضمان عدم تدهور الموارد المائية مستقبلاً، خاصة في ظل التغيرات المناخية وتأثيرها على مصادر المياه العذبة.

تاسعاً. تقييم دقة الاتمة الخلوية لمنطقة الدراسة:

تم إجراء هذه الدراسة لتقييم دقة نموذج ماركوف والتحقق من موثوقية نتائجه في التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي. استخدمت خريطة الغطاء الأرضي لعام 1990 كنقطة انطلاق، بينما اعتمدت خريطة عام ٢٠١٠ كمرحلة مرجعية لاحقة. بعد ذلك، طُبّق النموذج للتنبؤ بخريطة عام 2024، في حين تم الحصول على الخريطة الفعلية لعام ٢٠٢٤ من المرئيات الفضائية، مما أتاح المقارنة بين نوعين من الخرائط: الأولى هي التنبؤية المستندة إلى الفترة ١٩٩٠-٢٠١٠، والثانية هي الحقيقية المستخرجة من البيانات الحديثة. للتحقق من دقة التنبؤ، تم استخدام أداة VALIDATE، كما هو موضح في الشكل (٨). تعمل هذه الأداة على مقارنة صورتين فوتويتين، حيث تُعامل إحدهما كخريطة "مقارنة" (نتائج النموذج) والأخرى كخريطة

"مرجعية" (تمثل الواقع الفعلي). يمكن للأداة التعامل مع ما يصل إلى 32,000 فئة، وعادةً ما تُستخدم لمقارنة خرائط التصنيف أو المحاكاة مع البيانات الحقيقية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحليل ملفات بيانات أخرى ناتجة عن وحدات مثل BAYCLASS أو BELIEF بدلاً من الاعتماد على خريطة فردية. يُوفر تحليل VALIDATE مؤشرات إحصائية للإجابة على سؤالين رئيسيين:

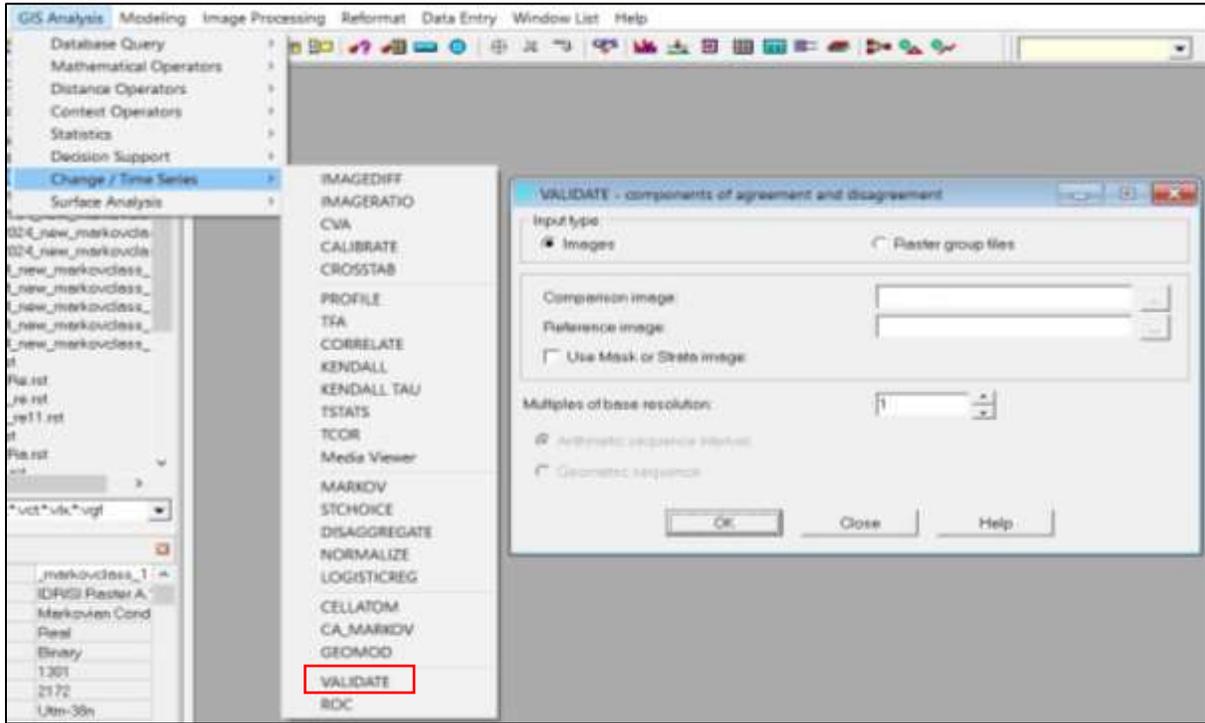
١. ما مدى تطابق الخريطين من حيث توزيع الفئات؟

٢. ما مدى دقة التنبؤ بالمواقع الفعلية لكل فئة؟

لحساب دقة التنبؤ، تُستخدم مؤشرات Kappa التي تقيس درجة الاتفاق بين الخريطين عبر ثلاثة عناصر أساسية:

- الاتفاق التام: عدد الخلايا التي تطابقت تمامًا بين الخريطين.
 - الخلاف الكمي: عدد الخلايا التي اختلفت في تصنيف الفئات.
 - الخلاف المكاني: عدد الخلايا التي تشابهت في الفئة ولكنها اختلفت في الموقع الجغرافي.
- يُعد هذا التحليل ضروريًا لتقييم كفاءة النموذج التنبؤي ومدى دقته في محاكاة التغيرات الفعلية في الغطاء الأرضي. كما يُسهم في تحسين النماذج المستقبلية، مما يساعد على وضع استراتيجيات أكثر دقة في إدارة الموارد البيئية والتخطيط المستدام.^(١٥)

شكل (٨) الوصول الى أداة التحقق من صحة البيانات

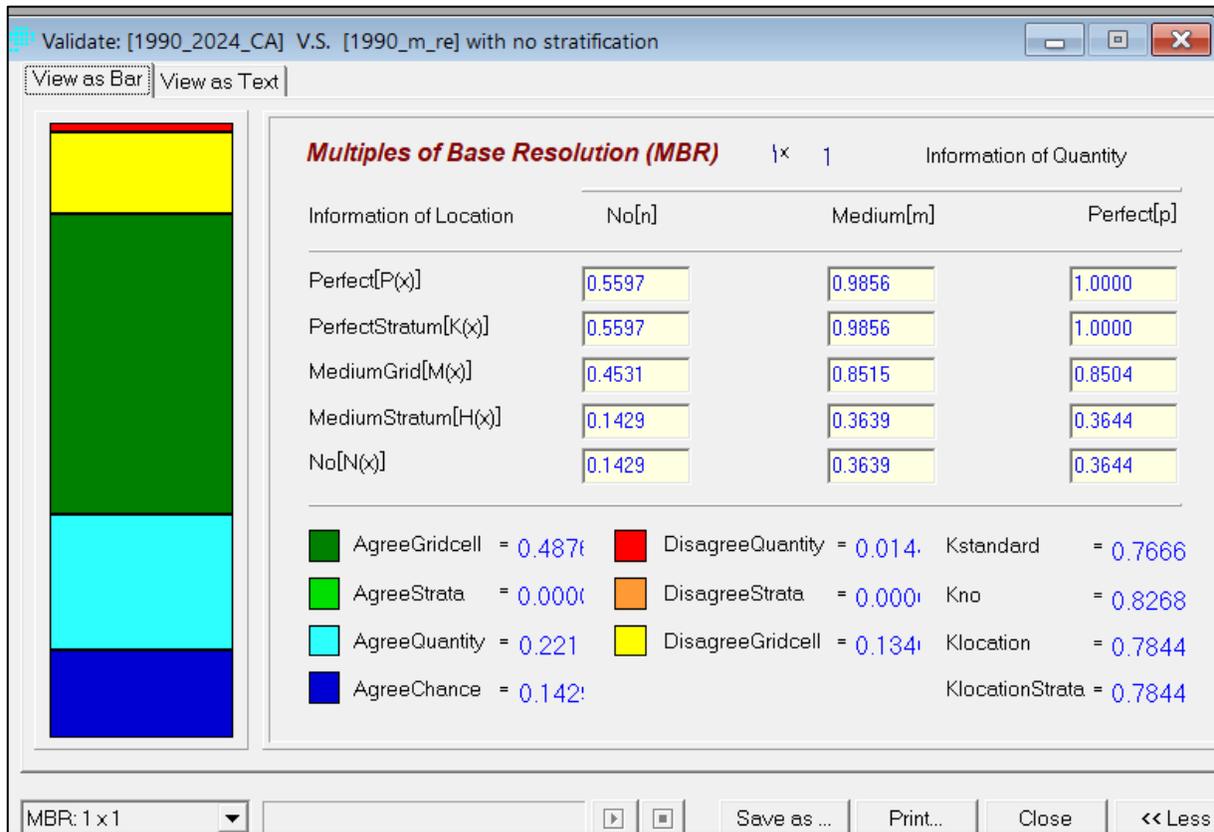


المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

بعد إدخال المتغيرات الموضحة في الشكل أعلاه، يتم إجراء عملية مقارنة بين خريطة الغطاء الأرضي لعام 2024 المستخلصة من التنبؤات التي أجراها نموذج ماركوف، وبين الخريطة الفعلية لنفس العام، والتي تم الحصول عليها من المرئيات الفضائية باعتبارها تعكس الواقع الفعلي. تهدف هذه المقارنة إلى تقييم مدى دقة النموذج في التنبؤ بالتغيرات المستقبلية، من خلال قياس نسبة التطابق بين الخريطين، حيث يتم تحليل النتائج وإظهارها في الشكل (9).

أظهرت نتائج التحليل أن قيمة المطابقة النهائية بلغت ٠.٧٨٤٤، مما يعني أن نسبة التطابق بين النموذج والمحاكاة الواقعية بلغت 78%، وهي نسبة تُعتبر جيدة في مجال النمذجة الجغرافية والتنبؤات البيئية. يشير هذا إلى أن نموذج CA_MARKOV استطاع محاكاة التغيرات بدرجة عالية من الدقة، مما يجعله أداة موثوقة لاستخدامها في التخطيط المستقبلي وإدارة الموارد الطبيعية.

شكل (٩) نتائج اختبار المطابقة الرقمية للتحقق من صحة التنبؤ



المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

يُظهر هذا المستوى من المطابقة أن النموذج يستوفي المعايير الأساسية في التنبؤ بالتغيرات المكانية والزمانية، ما يعني أن البيانات المدخلة والتقنيات المستخدمة كانت فعالة في تمثيل الواقع. ومع ذلك، وعلى

الرغم من أن النسبة تعد مرتفعة، إلا أن هناك هامش خطأ بنسبة ٢٢%، والذي قد يكون ناتجاً عن عدة عوامل، مثل التغيرات البيئية غير المتوقعة، أو دقة البيانات الأصلية، أو تأثير العوامل البشرية التي لم يتم تضمينها في النموذج.

يُمكن تحسين دقة التنبؤات المستقبلية من خلال تعزيز جودة البيانات المدخلة، واستخدام نماذج هجينة تجمع بين تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل النماذج الإحصائية، وزيادة دقة تصنيف المرئيات الفضائية . هذه التطورات ستسهم في تحقيق نماذج أكثر دقة، تدعم القرارات في مجالات التخطيط الحضري، وإدارة الغابات، وحماية الأراضي الزراعية من التدهور، ومراقبة تأثير التغير المناخي على البيئة.

الاستنتاجات:

- أسهمت التقنيات الحديثة بشكل كبير في تطور علم الجغرافيا، حيث انتقلت من مجرد وصف الظواهر إلى القدرة على التنبؤ بمساراتها المستقبلية، مما يعزز من فاعلية التخطيط البيئي والإقليمي.
- يتمتع نموذج ماركوف المدمج ضمن الأتمتة الخلوية في برنامج الإديسي بكفاءة عالية في التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي، إذ يعتمد على الخلايا الشبكية التي تُعد أصغر وحدة تحليلية في البيانات الفضائية، ما يتيح دقة أعلى في التقييم المكاني والزمني.
- تشير النتائج إلى أن المساحات الزراعية ستتراجع بحلول عام 2050، في مقابل زيادة كبيرة في مساحة الأراضي العمرانية والأراضي الجرداء، وهو ما يشكل تهديداً بيئياً خطيراً ليس فقط على ناحية العباسي، بل على العراق بشكل عام . يعكس هذا التغيير الحتمي آثار التغير المناخي والتصحر بالعامل البشري، مما يستدعي اتخاذ إجراءات استباقية لمواجهته.
- حقق نموذج الإديسي نسبة دقة بلغت ٧٨ % في مقارنة نتائج التنبؤ بالواقع الفعلي، مما يعزز مصداقية ودقة النتائج المتوقعة لعام ٢٠٥٠، ويدعم إمكانية استخدام هذا النموذج في دراسات بيئية مستقبلية لاتخاذ قرارات مستدامة في إدارة الموارد الطبيعية والتخطيط الحضري.

التوصيات:

- الاعتماد على التقنيات الحديثة في دراسة ومعالجة القضايا البيئية الحالية والمستقبلية، من خلال الاستفادة من البيانات الفضائية التي توفر رؤى دقيقة وشاملة حول التغيرات البيئية، مما يساهم في تحسين عمليات التخطيط والإدارة البيئية.
- يُعد التوسع في زراعة الأشجار استراتيجية فعالة للتخفيف من أزمة الجفاف التي تؤثر على العراق بشكل عام ومنطقة الدراسة على وجه الخصوص، نظرًا لدورها المهم في تحسين المناخ المحلي والحد من التصحر، مما يعزز استدامة الموارد الطبيعية.
- تعزيز تقنيات حصاد المياه، لا سيما في الأودية ذات الجريان الموسمي، يمثل ضرورة لضمان إدارة مستدامة للموارد المائية، حيث يمكن استغلال هذه المياه في دعم الأنشطة الزراعية وزيادة كفاءة نظم الري، مما يساهم في تحسين الإنتاج الزراعي وتقليل الاعتماد على الموارد المائية التقليدية.
- يمثل تطوير النماذج التنبؤية لرصد التغيرات البيئية والجغرافية خطوة أساسية في وضع خطط مستقبلية مستدامة، إذ يتيح هذا النهج إمكانية التخطيط الاستباقي واتخاذ قرارات مدروسة لمواجهة التحديات البيئية بفعالية، مع توجيه استراتيجيات التنمية بشكل أكثر كفاءة واستدامة.

قائمة الهوامش

(1) S, Li, chen, A new bare- soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data, the information archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences volume XL- 4, 2014, ISPRS Technical commission IV symposium. 14 – 16 may 2014, Suzhou, china, 2014, p; 143.

(2) Saeed Nadi, Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators,

<https://scholar.google.com/citations?user=xuxs3LMAAAAJ&hl=en>

(3) USGS; GIS and Earth Observation University; GISandBeers. Landsat Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) is used to correct Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the influence of soil brightness in areas where vegetative cover is low, p6.

(4) Jane,s J. Biles, 2004, Reconciling space and time in geography, University western michigan Kalamazoo, p.1.

5) https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8?utm_source=chatgpt.com.

(٦) اياد عاشور الطائي، ثائر مظهر فهمي العزاوي، التقنيات الحديثة في الجغرافية، ط١، دار الجنان للنشر، عمان ، ٢٠١٣، ص ٢١٠.

(٧) ورود علي عبد العزيز شري الامارة، النمذجة الكارتوكرافية لخصائص التربة في قضاء الحبانية باستخدام تقنيات الجيوماتكس، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الانبار، ٢٠٢١، ص١٢٧-١٢٨.

(٨) ميادة محمود عبد القادر، تكامل المعلومات الجيومورفية وتقنيات التحسس النائي لدراسة دلتا شط العرب رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية العلوم جامعة البصرة، ٢٠١٠، ص٥٣.

9) Md. Surabuddin Mondal¹, *, Nayan Sharma², Martin Kappas³, P. K. Garg⁴ , Ca Markov Modeling Of Land Use Land Cover Change Predictions And Effect Of Numerical Iterations, Image Interval (Time Steps) On Prediction Results, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B3-2020, 2020 XXIV ISPRS Congress (2020), p715.

10) by Xin Chen 1, ,Xinyi He 1, andSiyuan Wang, Simulated Validation and Prediction of Land Use under Multiple Scenarios in Daxing District, Beijing, China, Based on GeoSOS-FLUS Model, Sustainability 2022, 14, 11428.

<https://doi.org/10.3390/su141811428>, p4.

(١١) أشرف عبده على عجرمة، نرمين احمد محمد خليل شكري، أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق، المجلة العربية الدولية لتكنولوجيا المعلومات والبيانات، المجلد الثاني - العدد الثاني أبريل _ يونيو ٢٠٢٢، ص ١٠٤.

12) Weng, Q., 2002, Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. Journal of environmental Management, 64, pp. 273-284.

13) Mondal, M.S.; Sharma, N.; Kappas, M.; Garg, P.K. Cellular automata (CA) contiguity filters impacts on ca Markov modeling of land use land cover change predictions results. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2020, 43, 1585–1591.

14) Zhang, X.J.; Zhou, Q.G.; Wang, Z.L.; Wang, F.H. Simulation and prediction of land use evolution in the Three Gorges reservoir area based on MCE-CA-Markov. J. Agric. Eng. 2017, 33, 268–277.

(15) Montserrat Gómez Delgado, and Joaquín Bosque Sendra, 2020, Validation of GIS-performed analysis, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá. Calle Colegios, See discussions, stats, and author profiles for this publication at:

<https://www.researchgate.net/publication/287541349>. P4.