التنبؤ المكاني لتغير الاستعمال الحضري في مركز قضاء بلد باستخدام نموذج CA-Markov"

م.د. قيصر علي محمد خلف
qaisar.a.muhammad@tu.edu.iq
جامعة تكريت

المستخلص:

يُعَدّ تتبّع التغيرات في الغطاء الأرضي من الموضوعات البيئية ذات الأهمية الجوهرية، إذ يسهم في تفسير التحولات البيئية ورصد انعكاسات الأنشطة البشرية على الموارد الطبيعية. ويهدف هذا البحث إلى توظيف منهجية الأتمتة الخلوية (Cellular Automata - CA) بالاعتماد على نموذج CA_MARKOVالمدمج في برنامج IDRISI لدراسة الأنماط المكانية للتغير في الغطاء الأرضي في منطقة مركز قضاء بلد، وذلك عبر محاكاة هذه التحولات واستشراف مساراتها المستقبلية بالاعتماد على المعطيات الفضائية للفترة الممتدة بين عامي 2000–2024.

تم الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بُعد (Remote Sensing) بالتكامل مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمعالجة الصور الفضائية وتحليلها خلال مدة زمنية محددة، مما أتاح التعرف على أنماط التغير في استعمالات الأراضي. ويقوم نموذج CA_MARKOV على الدمج بين سلاسل ماركوف، التي تحدد احتمالات انتقال أصناف الغطاء الأرضي، وتقنية الأتمتة الخلوية، التي تحاكي التوزيع المكاني لهذه التحولات المستقبلية.

أوضحت نتائج الدراسة وجود تبدلات بارزة في الغطاء الأرضي داخل نطاق البحث، حيث سُجل توسّع في المناطق العمرانية على حساب الأراضي الزراعية والغطاءات الطبيعية. كما أثبت نموذج CA_MARKOVكفاءته في التنبؤ بالتحولات المستقبلية بدرجة مقبولة من الدقة، مما يعزز أهميته كأداة داعمة في مجالات التخطيط الحضري وإدارة الموارد البيئية بصورة مستدامة.

Abstract:

Scrutinizing land cover shifts is a matter of vital environmental significance, as it helps clarify ecological changes and track the impacts of human activities on natural resources. This study aims to utilize the Cellular Automata (CA)

methodology, utilizing the integrated CA_MARKOV model in the IDRISI software, to explore the spatial patterns of land cover transformation in the district center of Balad. The approach involves simulating these changes and launching their future trajectories established on satellite data for the period from 2000 to 2024.

Remote Sensing techniques were used in conjunction with Geographic Information Systems (GIS) to process and explore satellite imagery within a defined timeframe, which facilitated the designation of land-use change patterns. The CA_MARKOV model performs by combining Markov chains, which specify the possibilities of land cover changes, with cellular automata, which affect the spatial distribution of these expected differences.

The study's findings reveal significant alterations in land cover within the study area, characterized by the expansion of urban zones at the expense of agricultural lands and natural habitats. Furthermore, the CA_MARKOV model demonstrated efficiency in predicting future adaptations with a suitable level of accuracy, underscoring its value as a supportive tool in urban planning and sustainable environmental resource management.

التنبؤ المكاني لتغير الاستعمال الحضري في مركز قضاء بلد باستخدام نموذج CA-Markov"

م.د. قيصر علي محمد خلف

اولاً. المقدمة:

تُعَدّ الأتمتة الخلوية (Cellular Automata - CA) إطارًا رياضيًا وحاسوبيًا يُستخدم في محاكاة الظواهر المكانية والزمانية بالاعتماد على مجموعة من القواعد التي تنظّم كيفية تطوّر الخلايا داخل شبكة منتظمة. تتألف هذه الشبكة من خلايا مستقلة تتغير حالتها مع مرور الزمن تبعًا لحالتها السابقة وبناءً على التفاعل مع الخلايا المحيطة بها. ويستند هذا النموذج إلى مبدأ التفاعل المحلي، الأمر الذي يجعله ملائمًا لمحاكاة العمليات الديناميكية مثل التوسع الحضري، تغيّر استخدامات الأراضي، وانتشار الظواهر البيئية[1].

أما التنبؤ المكاني فيُعرَّف بكونه عملية تعتمد على تحليل الأنماط الجغرافية ونمذجتها من أجل تقدير التغيرات المستقبلية في توزّع الظواهر الطبيعية أو البشرية. يقوم هذا التنبؤ على دراسة المعطيات السابقة لاستخلاص اتجاهات محتملة تُسهم في دعم القرارات التخطيطية والإدارية. ومن أبرز الأساليب في هذا المجال يبرز نموذج **CA_MARKOV** الذي يجمع بين قدرات الأتمتة الخلوية وسلاسل ماركوف، مما يوفر تمثيلًا أكثر دقة للتغيرات المكانية المستقبلية[2].

ويُقصد بمفهوم التغيّر دراسة وتحليل التحولات التي تطرأ على الظواهر أو الأنماط عبر البعدين الزمني والمكاني معًا، بهدف تفسير كيفية تطورها في فترات زمنية محددة ومواقع جغرافية مختلفة. ويُوظَّف هذا المفهوم على نطاق واسع في العلوم الجغرافية والبيئية، فضلًا عن مجالات أخرى مثل تخطيط المدن، علم المناخ، وإدارة الموارد الطبيعية. أما التغيّرات المكانية فهي تلك التحولات التي تحدث عبر المكان أو خلال فترة زمنية بعينها[3] .

شهدت العقود الأخيرة تطورًا ملحوظًا في نمذجة البيانات الجغرافية، حيث تقوم المعلومات الجغرافية على ثلاثة مكونات رئيسية: الموقع، الزمن، والخصائص المميزة للظاهرة قيد الدراسة. ومع ذلك، ما

(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.

تزال هناك صعوبات في تمثيل الأبعاد الزمنية بصورة دقيقة بسبب التحديات التقنية واختلاف مصادر البيانات وتباينها.

وفي الماضي، شكّلت القيود المرتبطة بالبنية التحتية للحواسيب والبرمجيات عائقًا أمام بناء نماذج متكاملة مكانية وزمانية، غير أنّ التطورات التكنولوجية الحديثة، ولا سيما في مجال الحوسبة، أسهمت في تجاوز العديد من تلك الصعوبات. ومع تنامي قدرات المعالجة الحاسوبية وتحسن أدائها، أصبح بالإمكان توفير بيئة أكثر ملاءمة لتحليل الظواهر الجغرافية بعمق ودقة أكبر.

كما شهد علم الجغرافيا تحوّلًا من الطابع الوصفي التقليدي إلى اعتماد مناهج كمية تقوم على تحليل البيانات وتمثيلها باستخدام تقنيات النقاط والخطوط والمضلعات، إلى جانب الإحداثيات الكارتيزية (XYZ)التي عزّزت دقة التمثيل المكاني. وقد أتاح هذا التحول فهمًا أعمق للعمليات الجغرافية، ما منح الباحثين وصانعي القرار أدوات أكثر فاعلية لتطوير استراتيجيات في مجالات التخطيط الحضري، وإدارة الموارد، ورصد التغيرات البيئية[4].

ثانياً. مشكلة البحث:

تتمحور مشكلة البحث على ان التنبؤ المكاني لتغيرات الغطاء الأرضي يواجه جملة من التحديات، من أبرزها محدودية دقة النماذج المستخدمة وتباين مصادر البيانات، فضلاً عن مدى موثوقية النماذج الحاسوبية في إنتاج توقعات دقيقة. وبناءً على ذلك، تسعى هذه الدراسة للإجابة عن التساؤلات الآتية:

1- ما طبيعة البيانات المعتمدة في الكشف عن التغيرات التي تطرأ على الغطاء الأرضي؟

2- إلى أي مدى يمكن لنموذجCA_MARKOV ، القائم على الأتمتة الخلوية وسلاسل ماركوف، أن يحقق مستوى مرتفعًا من الدقة في التنبؤ بالتغيرات المكانية للغطاء الأرضي في منطقة مركز قضاء بلد؟

3- ما الأدوات والبرمجيات اللازمة لتطبيق نموذج CA_MARKOV بكفاءة؟

ثانياً. فرضية البحث:

تنطلق هذه الدراسة من الفرضية الرئيسة الآتية:

يُعَدّ نموذج CA_MARKOV وسيلة فعّالة للتنبؤ المكاني بتغيرات الغطاء الأرضي في مركز قضاء بلد، إذ يتيح محاكاة التغيرات المستقبلية بدرجة عالية من الدقة استنادًا إلى الاتجاهات الزمنية السابقة، مما يجعله أداة داعمة في التخطيط العمراني والإدارة البيئية المستدامة.

وبناءً على ذلك، تتفرع الفرضيات الثانوية التالية:

1- تُسهم المرئيات الفضائية في الكشف عن التغيرات التي يشهدها الغطاء الأرضي.

2- يتمتع نموذج (CA_MARKOV) بقدرة على تحقيق نتائج دقيقة في مجال التنبؤ المكاني.

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

3- يمتلك برنامج (IDRISI) كفاءة عالية في معالجة بيانات التنبؤ المكاني.

ثالثاً. هدف البحث:

1- تحليل التغيرات التي طرأت على الغطاء الأرضي من خلال مقارنة كمية دقيقة بين عامي (2000 - 2024)، للكشف عن حجم واتجاه التحولات في المنطقة.

2- التنبؤ بالمناطق الأكثر عرضة للتغيرات المستقبلية حتى عام(2050) باستخدام تقنيات الأتمتة الخلوية (Cellular Automata) لمحاكاة الأنماط المكانية ورصد الاتجاهات المحتملة.

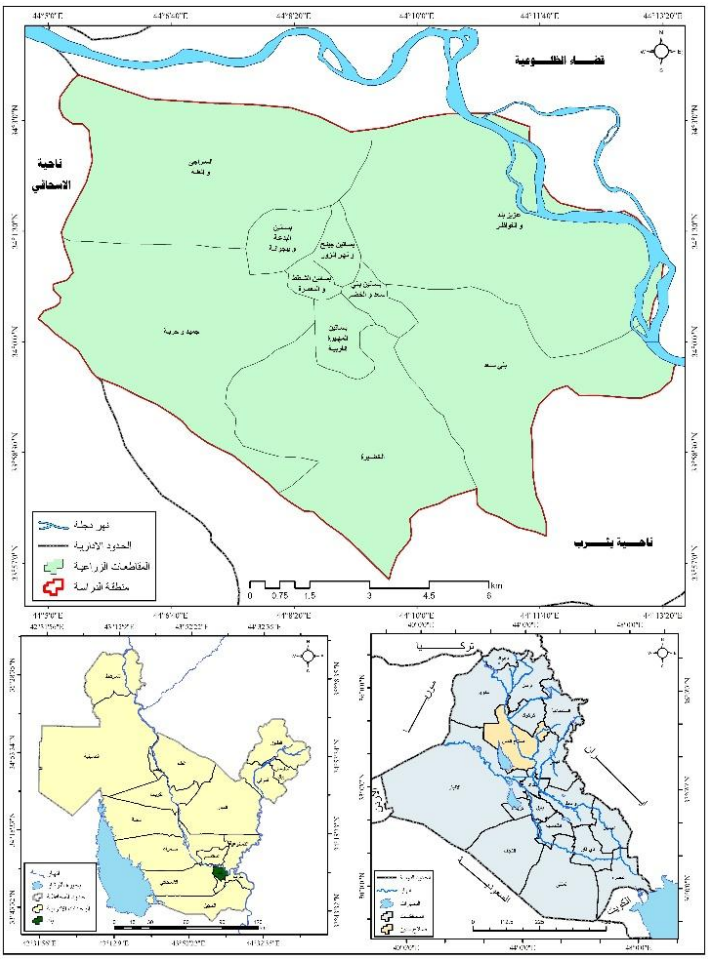
3- تقييم ما إذا كانت هذه التغيرات تسير في اتجاه التوسع أو التراجع، بهدف توفير بيانات دقيقة لدعم متخذي القرار والمخططين البيئيين من خلال المساهمة في وضع استراتيجيات فعّالة للحفاظ على الموارد الطبيعية وتعزيز الإدارة المستدامة لاستخدام الأراضي.

رابعاً. موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة التي تبلغ مساحتها نحو (514.7) كيلومتر مربع، ضمن الأراضي السهلية الواقعة بين ناحية الإسحاقي وقضاء الدجيل. ومن الناحية الإدارية، تتبع هذه المنطقة قضاء بلد في محافظة صلاح الدين، حيث تشغل موقعًا في الجزء الأوسط منها. يحد المنطقة من الشمال ناحية الإسحاقي، ومن الجنوب قضاء الدجيل، ومن الغرب محافظة الأنبار، بينما يحدها من الشرق ناحية يثرب.

أما الموقع الفلكي للمنطقة فيمتد بين دائرتي عرض (0=، 5-،35º) و(0=،20-، 35º) شمالًا، وبين خطي طول (0=،25-،43º) و(30=،42-،43º) شرقًا، كما هو موضح في الخريطة (1).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: اعتمادا على الخريطة الادارية للعراق والهيئة العامة للمساحة 2018 والخريطة الادارية لمحافظة صلاح الدين، الهيئة العامة للمساحة 2018.

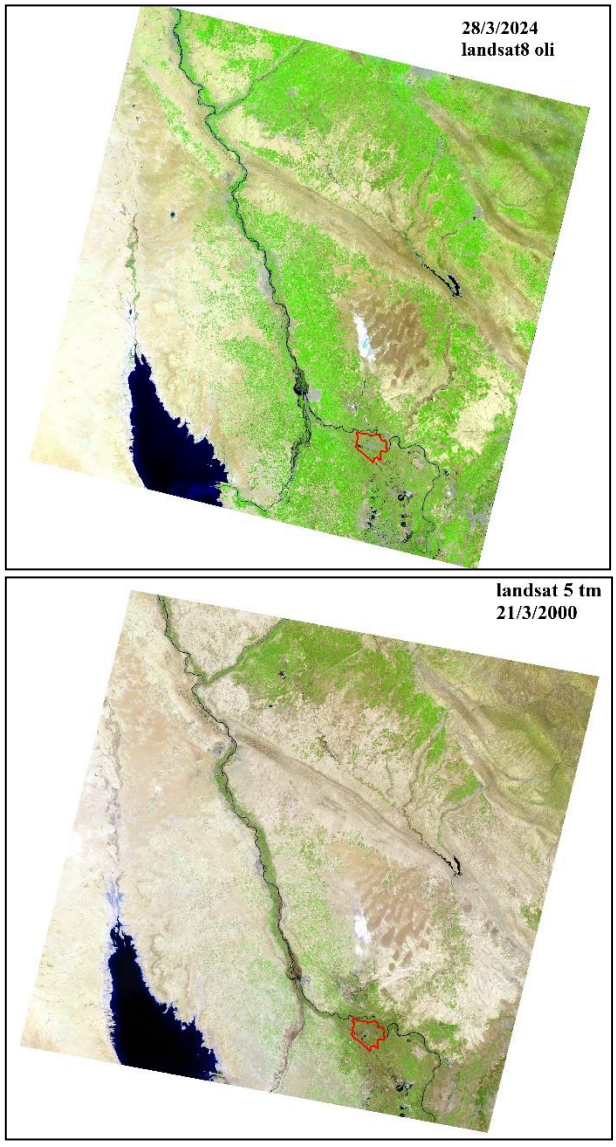
سادساً. مصادر البيانات المستخدمة:

قبل البدء في عمليات المعالجة الرقمية ضمن هذه الدراسة، لابد من اعتماد أسس علمية دقيقة لتحديد المرئيات الفضائية الملائمة. وقد تم اختيار صور الأقمار الصناعية (Landsat 8- Landsat 5) لعدة اعتبارات رئيسية أهمها توفرها مجانًا عبر الإنترنت وإمكانية الوصول إلى أرشيف تاريخي يمتد إلى سبعينيات القرن الماضي من خلال منصةLandsa ، مما يوفر قاعدة بيانات شاملة لدراسة التغيرات الزمنية في الغطاء الأرضي ورصد الأنماط المكانية وتحليل العوامل المؤثرة فيها بدقة عالية.

تتميز هذه المرئيات بدقة مكانية تصل إلى 30 مترًا، ما يجعلها مناسبة لمراقبة التحولات في الغطاء الأرضي على مدى فترات زمنية متعددة. وقد تم اختيار فترتين زمنيتين محددتين هما (21 مارس 2000 و28 مارس 2024)، حيث يضمن اختيار شهر مارس التوافق الموسمي وتحقيق أعلى درجات الدقة في التقييم.

كما توفر منصة Landsat بيانات مفتوحة المصدر، مما يسهم في تسهيل الدراسات البيئية وتقليل التكاليف المرتبطة بالحصول على المعلومات الجغرافية. وتتمتع صور Landsat 8 بقدرتها على التقاط البيانات متعددة الأطياف بدقة 30 مترًا، وبيانات النطاق البانكروماتي بدقة 15 مترًا، مما يعزز من موثوقية التحليل ويتيح استخلاص نتائج دقيقة حول ديناميكيات الغطاء الأرضي والتغيرات التي تطرأ عليه مع مرور الزمن[5]، كما هو موضح في الشكل (1).

شكل (1) المرئيات المستخدمة في الدراسة للفترة 2000-2024



المصدر: اعتماداً على مرئيات لاندسات (5، 8)، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

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

سابعاً. الية الحصول على الغطاء الأرضي:

يعتمد استخراج الغطاء الأرضي باستخدام التصنيف الموجَّه على تحليل الصور الفضائية بعد تجهيزها وتصحيحها هندسيًا وإشعاعيًا لضمان دقتها وإزالة التشوهات الناتجة عن العوامل الجوية أو انحرافات القمر الصناعي. تُجمع الصور من مصادر موثوقة مثل أقمارLandsat مع اختيار النطاقات الطيفية المناسبة للتمييز بين فئات الغطاء الأرضي.

يتم تحديد مناطق التدريب للفئات المستهدفة (مثل الغابات، الأراضي الزراعية، المناطق الحضرية، والمسطحات المائية) اعتمادًا على البيانات الميدانية والمصادر المرجعية. تُستخدم هذه العينات لتعليم خوارزميات التصنيف الموجّه مثل أقصى الاحتمالية (MLC) أو شبكات الدعم الشعاعية(SVM) ، حيث تقوم بتحليل كل بكسل وتحديد فئته وفق الخصائص الطيفية[6]. وتتم عملية التصنيف الموجّه عبر مرحلتين أساسيتين هما:

أ ـ مرحلة اختيار مناطق التدريب:

يتم تحديد مناطق التدريب (Training Areas) عبر استخدام الصور الفضائية الملونة بألوان كاذبة، بالاستناد إلى البيانات المرجعية المتاحة، بالإضافة إلى المعلومات المستسقاة من الزيارات الميدانية لمنطقة الدراسة واستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) والمعرفة المسبقة بتصانيف التربة في المنطقة. بعد ذلك، تُختار مناطق التدريب وفق التباينات في الانعكاسية الأرضية لكل فئة من الفئات المستهدفة، مما يضمن تمثيلًا دقيقًا للغطاء الأرضي في عملية التصنيف الموجّه[7]. وقد تم توضيح مواقع مناطق التدريب في الشكل (2).

---

(6) اياد عاشور الطائي، ثائر مظهر فهمي العزاوي، التقنيات الحديثة في الجغرافية، ط1، دار الجنان للنشر، عمان ، 2013، ص 210.

(7) 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، 2021، ص127-128.

شكل (2) أماكن اختيار عينات التدريب لأنواع الترب

المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج ARC GIS

لفهم خصائص منطقة الدراسة بدقة، لابد من إجراء زيارات ميدانية مصحوبة بتحليل الصور الفضائية خطوة اساسية لتحديد المواقع الأكثر تمثيلًا للفئات المستهدفة، مع تجنب المناطق القريبة من الحدود الفاصلة بين الأنماط المختلفة لتقليل تأثير التداخل بين الفئات على الخلايا الصورية. وعند اختيار مناطق التدريب، يُفضل أن تكون مساحتها صغيرة لضمان دقة التحديد، إذ إن تصغير مساحة المواقع يُعزز الدقة الطيفية والانعكاسية لكل فئة. كما يجب أن تتميز مناطق التدريب بانعكاسية واضحة ومميزة مقارنة بالمناطق المحيطة بها، مما يتطلب دقة عالية في تحديد خصائص الانعكاس الطيفي لكل فئة عند اختيار المواقع. ولضمان تمثيل كامل للصور الفضائية، يُنصح بزيادة عدد المواقع المخصصة لكل صنف، مما يساهم في تحسين التعامل مع التداخلات والتدرجات بين الفئات المختلفة. علاوة على ذلك، لا ينبغي إغفال أي نطاق طيفي أثناء تحليل الصور الفضائية، حيث إن تجاهل أي نطاق قد يؤدي إلى زيادة غير مرغوبة في عدد الفئات المستنتجة عند تنفيذ عملية التصنيف الحاسوبي[8].

ب ـ مرحلة التصنيف:

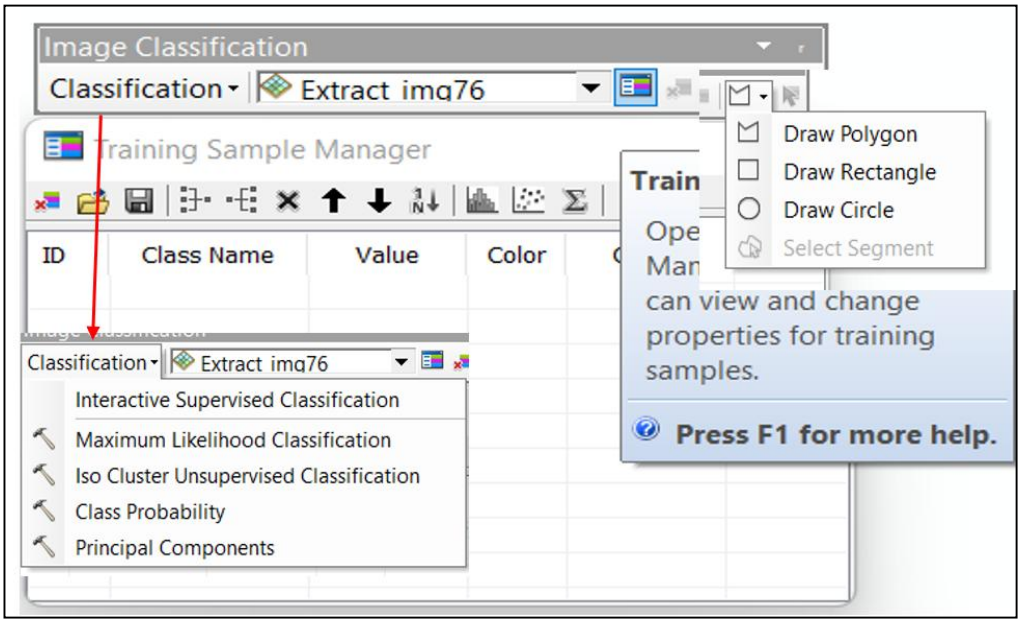
يتم في هذه المرحلة اختيار الأسلوب الإحصائي المناسب لتنفيذ عملية التصنيف الآلي، حيث تُجرى مقارنة بين الوحدات الصورية غير المصنفة ومناطق التدريب لتحديد درجة التشابه والتقارب بينها. تتوفر عدة طرق حسابية لإنجاز التصنيف الآلي، ومن بين هذه الأساليب تم اعتماد طريقة التصنيف بالبصمة الطيفية، التي تعتمد على القيم الانعكاسية لأنواع الغطاء الأرضي المختلفة، والتي تختلف باختلاف

[8] ميادة محمود عبد القادر، تكامل المعلومات الجيومورفية وتقنيات التحسس النائي لدراسة دلتا شط العرب رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية العلوم جامعة البصرة، 2010، ص53.

الخصائص الطيفية لكل عنصر. ويعتمد نجاح هذه الطريقة على نوع المتحسس المستخدم وقدرته التمييزية، إذ قد تكون بعض الظواهر صغيرة الحجم مقارنة بدقة المتحسس، مما يؤدي أحيانًا إلى تداخل القيم الانعكاسية بين الفئات المختلفة للغطاء الأرضي.

في هذا البحث، تم استخدام بيانات الأقمار الصناعية Landsat التي تتميز بدقة مكانية تصل إلى 30 مترًا، مع الاستعانة ببرنامج ArcGIS. توفر الإصدارات الحديثة من برمجيات نظم المعلومات الجغرافية مجموعة واسعة من الأدوات المتخصصة في معالجة وتحليل الصور الفضائية، ومن أبرزها أدوات التصنيف، والتي تتيح إمكانية تعديل وتصحيح عينات التدريب بسهولة، سواء عن طريق حذفها أو دمج عدة عينات ضمن فئة واحدة. على 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 خيارات متقدمة، تشمل إدارة عينات التدريب ورسم مناطق التصنيف بأشكال هندسية متعددة، مما يوفر مرونة ودقة أكبر في عملية التصنيف، كما هو موضح في الشكل (3).

شكل (3) امتداد أدوات التصنيف في برنامج ARC GIS

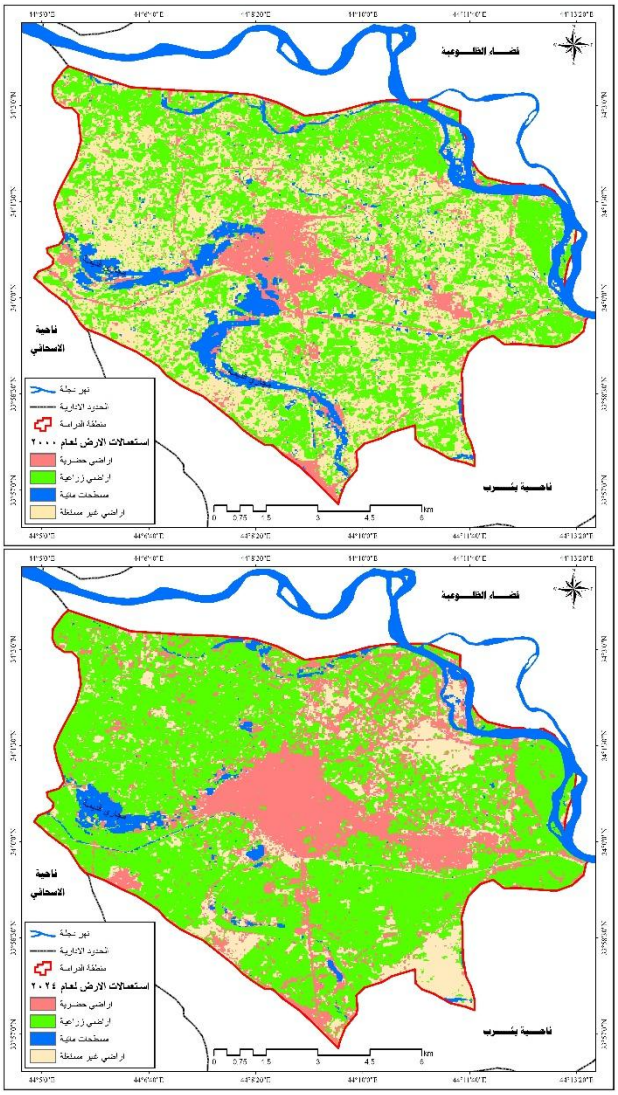


المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج ARC GIS10.8.

وعند تطبيق التصنيف للمرئيات الثلاث تم استخراج النتائج في الخريطتين (2) (3) والجدول (1).

خريطة (2) الغطاء الارضي لعام 2000

خريطة (3) الغطاء الارضي لعام 2024



اعتماداً على: لاندسات 5 ذي المتحسس TM.

اعتماداً على: لاندسات 8 ذي المتحسس OLI.

جدول (1) مساحة الغطاء الارضي للأعوام (2000-2024) في منطقة الدراسة

ت	الصنف بالعربي	2000		2024		مساحة التغير/كم^2
		المساحة/كم^2	النسبة%	المساحة/كم^2	النسبة%	
1	استعمال حضري	10.4	10.3	22.3	22.1	11.9
3	استعمال زراعي	42.3	41.8	60.5	59.8	18.2
5	مياه	8.6	8.5	4.4	4.4	-4.2
6	مساحات غير مستغلة	39.8	39.4	13.9	13.7	-25.9
مجموع		101.1	100.0	101.1	100.0	

المصدر: اعتماداً على لاندسات 5 و8، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

ويلاحظ من الخرائط (2،3) والجدول (1) الحقائق الاتية:

يشير الجدول إلى نمو ملحوظ في الاستعمال الحضري، حيث ارتفعت المساحة من 10.4 كم^2 في عام 2000 إلى 22.3 كم^2 في عام 2024، بمقدار زيادة بلغ *11.9 كم^2*. اما النسبة المئوية ارتفعت من 10.3٪ إلى 22.1٪. يعكس هذا التوسع الحضري المضطرد زيادة السكان، والطلب المتزايد على المساكن والبنية التحتية والخدمات، إلى جانب توسع الأنشطة الاقتصادية غير الزراعية. ومن المؤكد أن هذا النمو الحضري جاء على حساب استخدامات أراضٍ أخرى، وهو ما يُعد من أبرز مظاهر التحول في الأنظمة المكانية للمنطقة.

شهد الاستعمال الزراعي ارتفاعًا ملحوظًا أيضًا، إذ ازدادت المساحة من 42.3 كم^2 إلى 60.5 كم^2، أي بزيادة بلغت 18.2 كم^2، مع ارتفاع النسبة المئوية من 41.8٪ إلى 59.8٪. يعكس هذا النمو إعادة تفعيل الأراضي واستثمار مساحات جديدة للزراعة، مما يعد مؤشرًا إيجابيًا على تطور النشاط الزراعي، وقد يكون نتيجة برامج دعم زراعي، أو تحسن الظروف البيئية، أو توفر مصادر ري إضافية. ومع ذلك، قد يكون هذا النمو مؤقتًا إذا استمر الزحف الحضري على حساب الأراضي الزراعية مستقبلًا.

أما المسطحات المائية، فقد سجلت انخفاضًا ملحوظًا من 8.6 كم^2 إلى 4.4 كم^2، بانخفاض قدره *4.2 كم^2، في حين تراجعت نسبتها المئوية من 8.5٪ إلى 4.4٪. يعكس هذا الانخفاض تناقص الموارد المائية السطحية، والذي قد يُعزى إلى التغيرات المناخية، قلة التغذية المائية، تحوّل مجاري المياه، أو الاستنزاف البشري. ويُشير هذا التراجع إلى تحديات بيئية محتملة، خصوصًا إذا استمر التوسع الحضري والزراعي على حساب هذه المسطحات.

أخيرًا، المساحات غير المستغلة شهدت انخفاضًا كبيرًا من 39.8 كم^2 إلى 13.9 كم^2، بمقدار 25.9 كم^2، أي تراجع من 39.4٪ إلى 13.7٪ من إجمالي مساحة المنطقة. ويعكس هذا الانخفاض استثمار هذه

الأراضي بشكل متزايد، سواء لأغراض عمرانية أو زراعية، مما يدل على زيادة استغلال الموارد المكانية مع مرور الوقت، ويعكس تحولات في سياسات التخطيط أو تزايد احتياجات السكان لاستخدامات جديدة.

ثامناً. التنبؤ بتغير الغطاء الارضي باستخدام انموذج CA_ MARKOV للخلايا الشبكية العصبية:

يُعدّ الغطاء الأرضي مكونًا أساسيًا في البيئة، إذ يعكس التفاعل المستمر بين العوامل الطبيعية والأنشطة البشرية. ومع التوسع الحضري المتسارع والتغيرات المستمرة في استخدام الأراضي، أصبح من الضروري توقع التحولات المستقبلية للغطاء الأرضي لضمان التخطيط الفعّال والإدارة المستدامة للموارد الطبيعية. يُعتبر نموذج CA_MARKOV (التحليل الخلوي الذاتي المقترن بسلاسل ماركوف) من الأساليب المتقدمة في هذا المجال، حيث يجمع بين التحليل المكاني والاحتمالي لدراسة التغيرات المكانية. وعند دمجه مع الشبكات العصبية الاصطناعية(Neural Networks) ، تتحسن دقة التوقعات بفضل قدرة التعلم الآلي على تحليل العلاقات المعقدة والأنماط غير الخطية في البيانات[9] .

تلعب سلاسل ماركوف دورًا رئيسيًا في تحديد احتمالات الانتقال بين أنواع الغطاء الأرضي المختلفة اعتمادًا على البيانات التاريخية، في حين يضيف التحليل الخلوي الذاتي البعد المكاني من خلال مراعاة تأثير الخلايا المجاورة على التغيرات المستقبلية. وعند دمج هذا النموذج مع الشبكات العصبية، تتحسن دقة التنبؤات نتيجة قدرة الشبكات على التعلم من الأنماط المعقدة والتفاعلات غير الخطية بين العوامل البيئية.

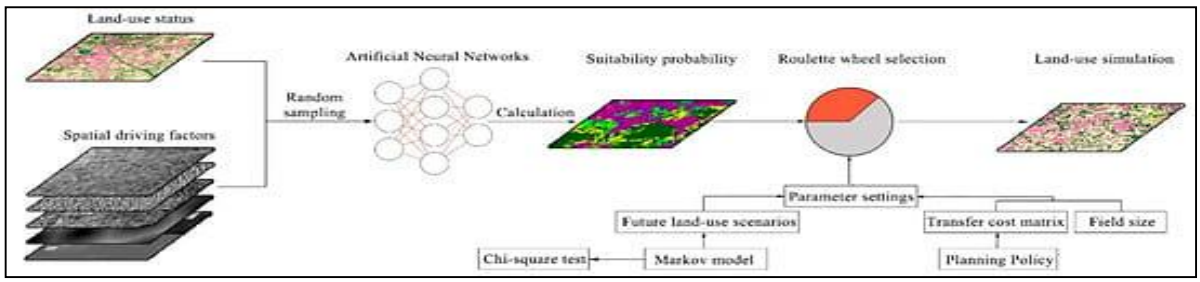
تبدأ عملية التنبؤ بجمع بيانات الغطاء الأرضي للفترات السابقة وتحليل الاتجاهات والتغيرات التي طرأت عليها، ثم تُدرب الشبكة العصبية على هذه البيانات لتحديد العلاقات بين المتغيرات المختلفة والتغيرات المحتملة في المستقبل. تُستخدم نتائج تحليل ماركوف لتقدير احتمالات التحول بين الفئات المختلفة للغطاء الأرضي، بينما يقوم التحليل الخلوي الذاتي بمحاكاة هذه التغيرات مكانيًا وزمنيًا. في

[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.

النهاية، يُستعمل النموذج المدرب لتوقع سيناريوهات مستقبلية، مما يدعم اتخاذ قرارات مستدامة تتعلق بإدارة الموارد الطبيعية والتخطيط العمراني [10] .

تبرز أهمية استخدام هذا النموذج في قدرته على تقديم تنبؤات دقيقة تستند إلى البيانات التاريخية والتفاعلات البيئية، مما يُمكّن المخططين وصناع القرار من وضع استراتيجيات مستدامة للتعامل مع التغيرات البيئية والتوسع الحضري. كما يسهم في الحفاظ على الموارد[11]. كما هو موضح في الشكل (2).

شكل (2) المخطط الهيكلي لفكرة التنبؤ بتغير الغطاء الارضي



المصدر: من عمل الباحث، اعتماداً على بيئة برنامج Idrisi.

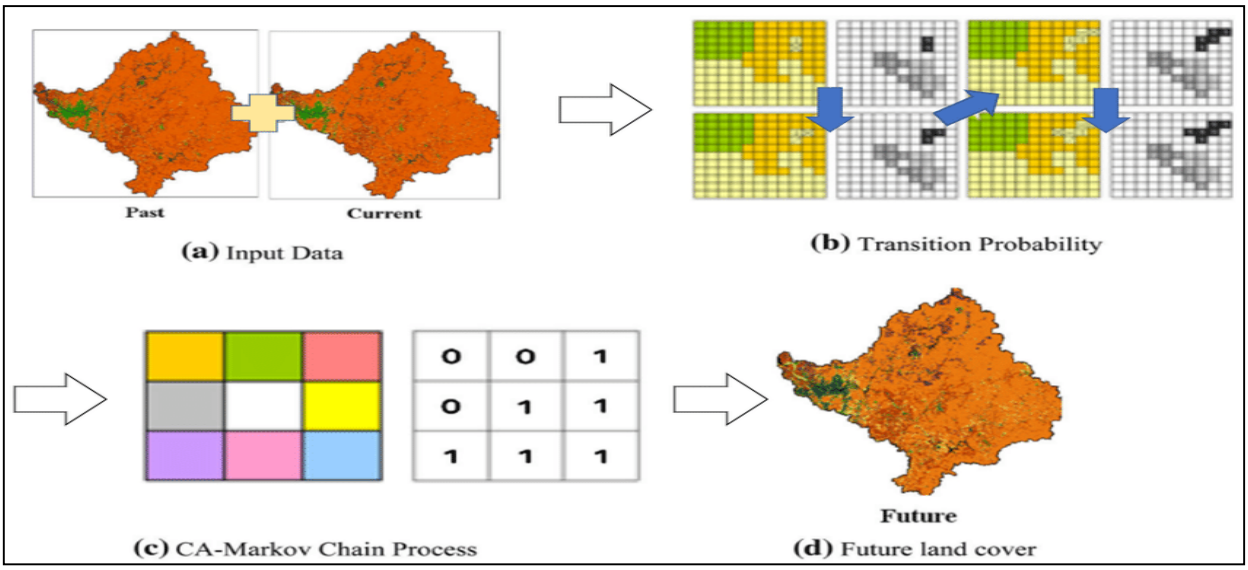
1. اليه اشتقاق الأتمتة الخلوية في برنامج Idrisi

- يعتمد البحث على استخدام سنتين أساسيتين، حيث تُعد السنة الأولى سنة الأساس وأقدم سنة مدروسة وهي عام 2000، وتتم مقارنتها مع عام 2024. بعد ذلك، تُقارن مخرجات كلا العامين بهدف التنبؤ بالوضع في عام 2050، وذلك باستخدام خوارزمية تعتمد على المعادلات التي اقترحها العالم ماركوف وطُوّرت لاحقًا، ويتم تنفيذ عملية التنبؤ وفق آلية العمل الموضحة في الشكل (3).

[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.

(11) 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 2022، ص104.

شكل (3) فكرة معالجة المرئيات الفضائية للتنبؤ المستقبلي وفق انموذج ماركوف



https://2u.pw/uYvCOzzS.

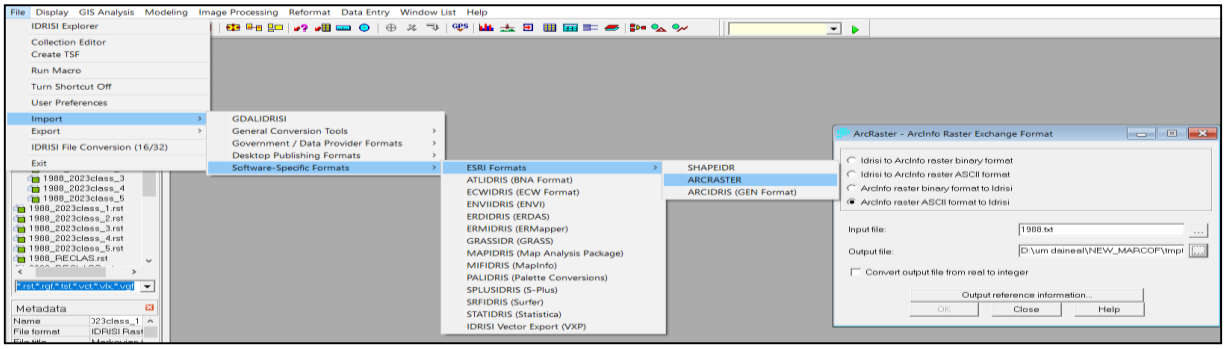
- بعد الانتهاء من معالجة الصور الفضائية وتصنيف الغطاء الأرضي باستخدام برنامجArcGIS ، يتم تنفيذ عدة خطوات لضمان دقة التحليل وتجهيز البيانات بصيغة مناسبة للنمذجة. تبدأ العملية بتصنيف الغطاء الأرضي لكل سنة على حدة، مما يتيح تتبع التغيرات في الأنماط المكانية عبر الزمن. يلي ذلك إجراء إعادة التصنيف لكل سنة بهدف توحيد الفئات وتصحيح أي أخطاء تصنيفية قد تؤثر على دقة النتائج.

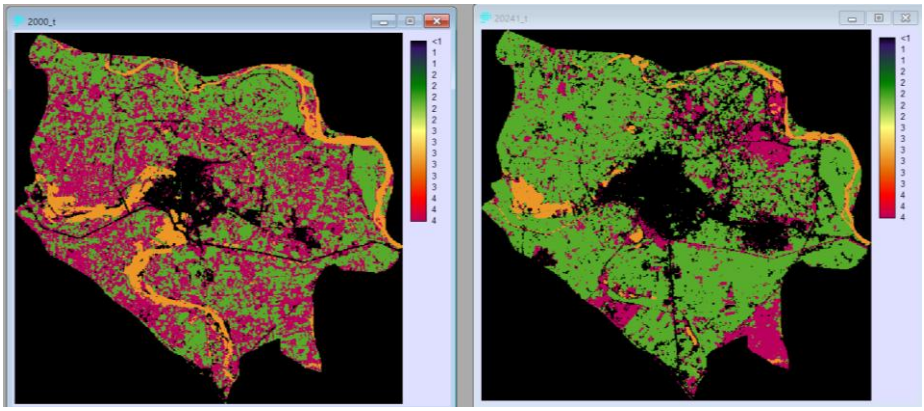
- بعد إتمام إعادة التصنيف، تُصدّر الطبقات المعالجة إلى صيغة نصية (Text-ASCII) باستخدام أداة Raster to ASCII في ArcGIS. تتيح هذه العملية تحويل البيانات النقطية (Raster) إلى تمثيل رقمي يسهل استخدامه في التحليلات الإحصائية أو إدخاله في برامج أخرى مثل IDRISI أو النماذج الحاسوبية المتخصصة في دراسة التغيرات المكانية مثل CA_MARKOV وتُعتبر صيغة ASCIIمفيدة لأنها توفر تمثيلًا رقميًا للخلايا الشبكية، مما يسهل العمليات اللاحقة مثل التنبؤ بالتغيرات المستقبلية للغطاء الأرضي وتحليل الأنماط المكانية للتغيرات البيئية[12].

- فتح برنامج IDRISI واستيراد الطبقات في النقطة أعلاه وكما في الشكل (4).

[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.

شكل (4) استيراد الطبقات الى برنامج IDRISI

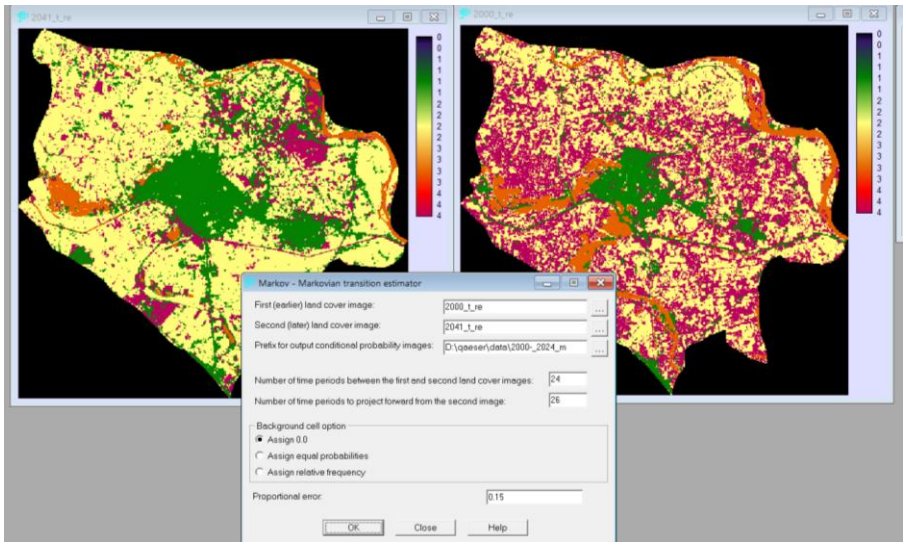




المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

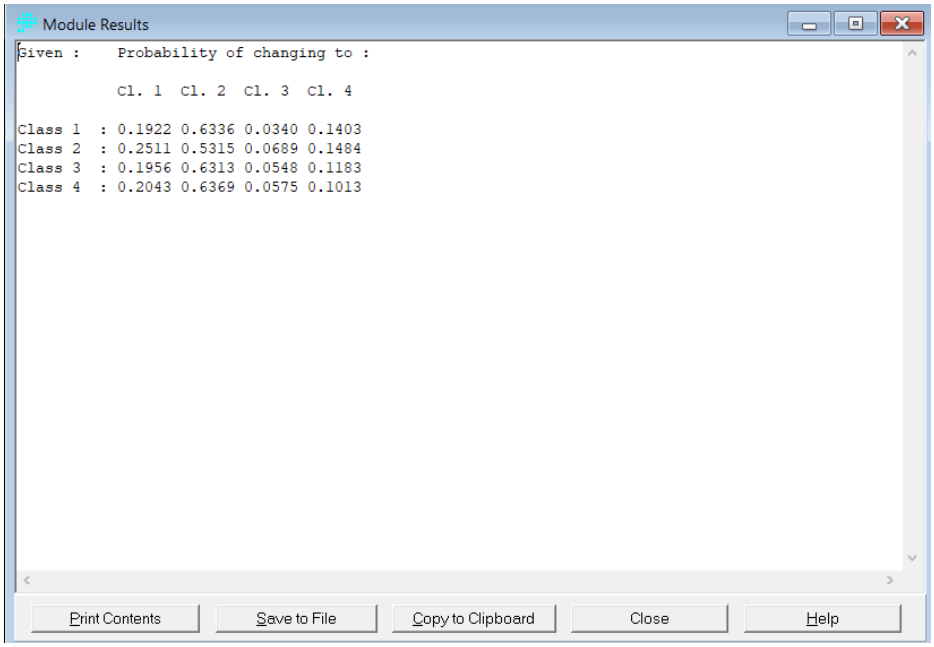
- تـتم العمليـة بالانتقـال إلـى امتـداد النمذجـة (ModelingExtension) ، ثـم الـدخول إلـى بيئـة النماذج/المحاكاة (Model/Simulation Environment) ، واختيار أداة Markov كما هو موضح في الشكل (5). بعد تنفيذ النموذج، تُعرض النتائج على شكل تقرير، كما في الشكل (6) ، حيث يمثل كل صنف من الغطاء الأرضي قيم الاحتمالية* للتغير. وتعكس هذه القيم مدى احتمالية التحول، بحيث تشير القيم القريبة من 0 إلى احتمال ضعيف للتغير، في حين تعكس القيم القريبة من 1 احتمالية عالية لحدوث التغير.

شكل (5) الية الوصول الى انموذج ماركوف



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

شكل (6) مصفوفة احتمالية التغير وفق أصناف الغطاء الارضي



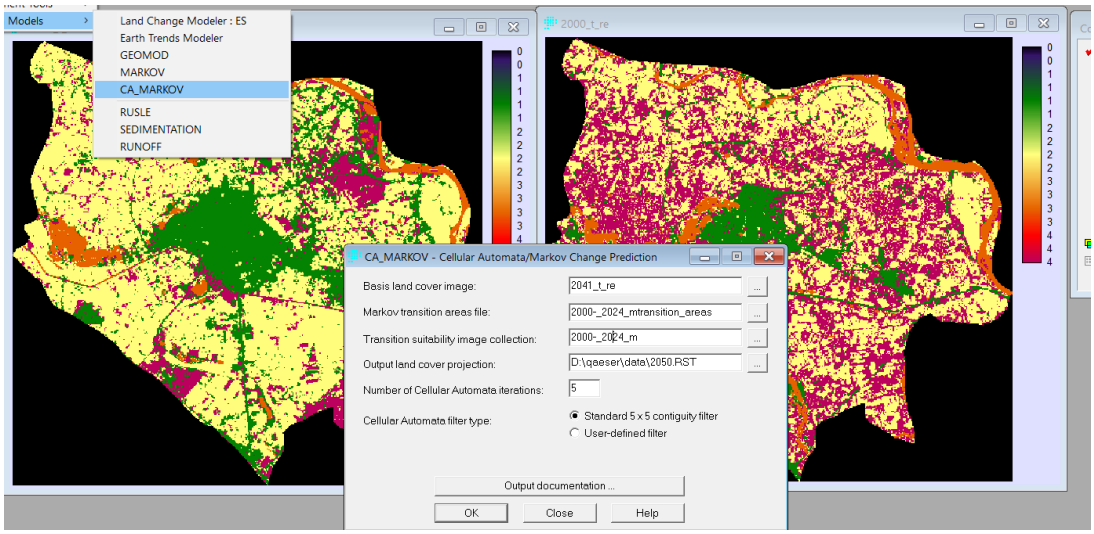
المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

- بعد استكمال معالجة الصور الفضائية وتصنيف الغطاء الأرضي وتجهيز البيانات بصيغة مناسبة، تصبح قواعد البيانات جاهزة لتنفيذ عمليات التنبؤ بالتغيرات المستقبلية للغطاء الأرضي. يتم ذلك من خلال تطبيق نموذج الأتمتة الخلوية لماركوف(CA_MARKOV) ، الذي يجمع

بين تحليل سلاسل ماركوف والنمذجة المكانية باستخدام التحليل الخلوي الذاتي. يقوم نموذج ماركوف بحساب احتمالات انتقال فئات الغطاء الأرضي من حالة إلى أخرى استنادًا إلى البيانات التاريخية، بينما يحاكي التحليل الخلوي الذاتي هذه التغيرات عبر الزمن، مع الأخذ في الاعتبار التأثيرات المكانية والتجاورات بين الخلايا المختلفة. من خلال هذا التكامل، يصبح بالإمكان إنتاج خرائط تنبؤية تمثل السيناريوهات المستقبلية للتغيرات البيئية والتوسع الحضري.

يسهم 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 على توجيه السياسات البيئية وإدارة الموارد الطبيعية بفعالية [13]، كما هو موضح في الشكل (7).

شكل (7) الية الوصول للأتمتة الخلوية وفق نموذج ماركوف



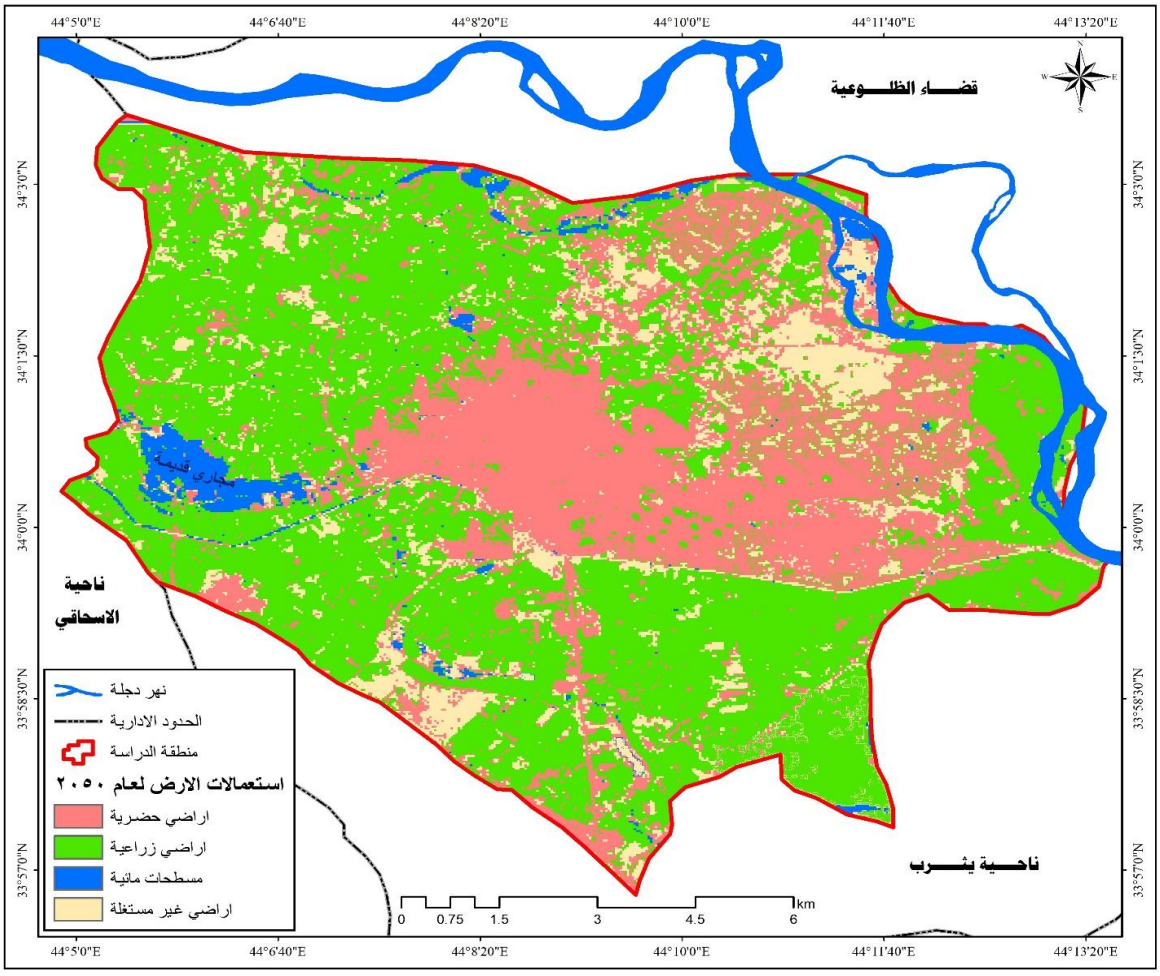
المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج **IDRISI.**

- عقب الانتهاء من التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في الغطاء الأرضي باستخدام نموذج الأتمتة الخلوية لماركوف (CA_MARKOV) ، يتم استخراج النتائج النهائية التي تمثل التغيرات المتوقعة خلال الفترات الزمنية المدروسة. بعد ذلك، تُستورد هذه النتائج إلى برنامج ArcGIS بهدف معالجتها بصريًا وتحويلها إلى خرائط متكاملة تتوافق مع العناصر الخرائطية الأساسية، مثل الإحداثيات، مقياس الرسم، اتجاه الشمال، والعناوين التوضيحية، مما يعزز جودة التمثيل الجغرافي للبيانات. تسهم هذه المرحلة في تحسين وضوح النتائج وتسهيل تحليلها والاستفادة منها من قبل الباحثين والمخططين وصناع القرار. كما يتيح ArcGIS تنفيذ عمليات إضافية، مثل ضبط الألوان والرموز لتوضيح الفئات المختلفة للغطاء الأرضي، وإضافة بيانات وصفية تدعم

[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.

فهم التغيرات، وإنشاء خرائط مقارنة بين الأوضاع السابقة والمتوقعة. وتوفر هذه الخرائط أداة فعّالة لدعم التخطيط العمراني وإدارة الموارد الطبيعية، من خلال تقديم تصور مكاني دقيق يساهم في توجيه القرارات المستقبلية المتعلقة بالاستخدام المستدام للأراضي [14].كما هو موضح في الخريطة (4). وكما في الخريطة (4).

خريطة (4) التنبؤ بتغير الغطاء الارضي لعام 2050 في منطقة الدراسة



المصدر: اعتماداً على تطبيق انموذج CA Markov.

[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.

جدول (2) مساحة الغطاء الأرضي للأعوام (2024-2050) في منطقة الدراسة

ت	الصنف بالعربي	2024		2050		مساحة التغير/كم^2
		المساحة/كم^2	النسبة%	المساحة/كم^2	النسبة%	
1	استعمال حضري	22.3	22.1	33.5	33.1	11.2
3	استعمال زراعي	60.5	59.8	53	52.4	-7.5
5	مياه	4.4	4.4	3.3	3.3	-1.1
6	مساحات غير مستغلة	13.9	13.7	11.3	11.2	-2.6
مجموع		101.1	100.0	101.1	100.0	

المصدر: اعتماداً على لاندسات 5 و8، باستخدام برنامج ARC GIS10.8.

ويلاحظ من الخريطة (4) والجدول (2) الحقائق الاتية:

يمكن التنبؤ بمشهد استعمالات الأراضي لعام 2050 من خلال تحليل التغيرات المتوقعة مقارنة بعام 2024، مما يوفر تصورًا علميًا لتطور الأنماط العمرانية والاقتصادية في منطقة الدراسة.

تشير البيانات إلى أن الاستعمال الحضري سيشهد زيادة ملحوظة في المساحة، حيث سيرتفع من 22.3 كم^2 في عام 2024 إلى 33.5 كم^2 في عام 2050، بزيادة قدرها 11.2 كم^2. وبالنسبة المئوية، يرتفع الاستعمال الحضري من 22.1٪ إلى 33.1٪ من إجمالي مساحة المنطقة. تعكس هذه الزيادة توسعًا واضحًا في النشاطات الحضرية، بما في ذلك التوسع العمراني والبنية التحتية والخدمات، وهو ما يعكس اتجاهًا نحو التمدن والنمو السكاني المصاحب لتحول السكان من الريف إلى المدينة وارتفاع الحاجة إلى المساكن والخدمات والأنشطة الاقتصادية في المناطق الحضرية.

في المقابل، يشهد الاستعمال الزراعي انخفاضًا في المساحة من 60.5 كم^2 إلى 53 كم^2، أي بانخفاض قدره 7.5 كم^2، مع تراجع النسبة المئوية من 59.8٪ إلى 52.4٪. يعكس هذا الانخفاض تقلص الرقعة الزراعية نتيجة توسع المناطق الحضرية، وهو نمط شائع في المجتمعات النامية التي تشهد تحولات ديموغرافية واقتصادية سريعة. كما يمكن أن يُعزى ذلك إلى تدهور بعض الأراضي الزراعية أو تحويلها لأغراض عمرانية أو استثمارية. أما المسطحات المائية، فتشهد انخفاضًا طفيفًا من 4.4 كم^2 إلى 3.3 كم^2، أي بفقدان 1.1 كم^2، مع ثبات النسبة المئوية عند 3.3٪. يشير هذا التغير الطفيف إلى أن هذه الفئة لا تمثل تحولًا كبيرًا في المشهد العام، لكنه قد يعكس تغييرات مناخية أو استنزافًا للموارد المائية السطحية، مما يستدعي دراسات متخصصة في المجال الهيدرولوجي. كذلك، ستتراجع المساحات غير المستغلة* من 13.9 كم^2 إلى 11.3 كم^2، بانخفاض قدره 2.6 كم^2، وهو ما يُفسَّر بأن جزءًا من هذه الأراضي قد تم دمجه ضمن الاستعمال الحضري أو تحويله لأغراض زراعية، صناعية، أو خدمية.

تشير التوقعات المستقبلية إلى تحولات تدريجية في استخدامات الأراضي حتى عام 2050، تتمثل في عدة اتجاهات رئيسية:

- امتداد النشاط الحضري بشكل واضح نتيجة للزيادة السكانية والنمو الاقتصادي المتواصل، مما يعكس توسعًا في البنية التحتية والخدمات الحضرية.
- انكماش المساحات الزراعية بفعل تحول بعض الأراضي إلى أغراض عمرانية أو استثمارية، وهو ما قد يؤثر على القدرة الإنتاجية للقطاع الزراعي ما لم يتم اعتماد ممارسات زراعية مستدامة وزيادة كفاءة استخدام الأراضي.
- تغيرات في المسطحات المائية* التي تتطلب مراقبة دقيقة لإدارة الموارد المائية والحفاظ على التوازن البيئي في ظل الاستغلال البشري المتزايد والتغيرات المناخية المحتملة.
- استغلال متزايد للأراضي غير المستغلة، مما يعكس الطلب المتنامي على الأراضي لأغراض متعددة تشمل السكن والزراعة والصناعة.
- تدل هذه الاتجاهات على ضرورة وضع استراتيجيات تخطيطية متكاملة توازن بين التوسع العمراني والحفاظ على الموارد الطبيعية، بما يضمن تحقيق التنمية المستدامة، وحماية الموارد الزراعية والمائية، وتوجيه استخدام الأراضي بما يواكب النمو السكاني دون الإضرار بالبيئة.

الاستنتاجات:

- لعبت التقنيات الحديثة دورًا محوريًا في تطور علم الجغرافيا، حيث تحولت من مرحلة وصف الظواهر إلى القدرة على التنبؤ بتطوراتها المستقبلية، مما يعزز فاعلية التخطيط البيئي والإقليمي.
- يتميز نموذج ماركوف المدمج ضمن الأتمتة الخلوية في برنامج الإدريسي بقدرة عالية على التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي، مستفيدًا من الخلايا الشبكية* كوحدات تحليل دقيقة، ما يتيح تقييمًا مكانيًا وزمنيًا أكثر دقة وموثوقية.
- تشير النتائج إلى انكماش المساحات الزراعية بحلول عام 2050، مقابل زيادة ملحوظة في الأراضي العمرانية والأراضي غير المستغلة، وهو ما يمثل تهديدًا بيئيًا جسيمًا ليس فقط لمركز قضاء بلد، بل على مستوى العراق ككل. وتعكس هذه التحولات تأثيرات التغير المناخي والضغوط البشرية، مما يستدعي اعتماد استراتيجيات استباقية وإجراءات وقائية للحفاظ على التوازن البيئي وضمان استدامة الموارد.

التوصيات:

- يُمثل الاعتماد على التقنيات الحديثة في دراسة ومعالجة القضايا البيئية أداة جوهرية، إذ توفر البيانات الفضائية معلومات دقيقة وشاملة حول التغيرات البيئية، مما يسهم في تعزيز فعالية التخطيط البيئي وإدارة الموارد الطبيعية.
- يُعد التوسع في زراعة الأشجار استراتيجية فعّالة للتخفيف من آثار الجفاف التي تهدد العراق عامة ومنطقة الدراسة خاصة، لما لها من دور في تحسين المناخ المحلي ومكافحة التصحر، بما يدعم استدامة البيئة والموارد الطبيعية.
- يُمثل تعزيز تقنيات حصاد المياه في الأودية ذات الجريان الموسمي خطوة ضرورية لضمان إدارة مستدامة للموارد المائية، حيث يمكن استغلال هذه المياه لتعزيز الأنشطة الزراعية وزيادة كفاءة نظم الري، مما يؤدي إلى رفع الإنتاج وتقليل الاعتماد على المصادر التقليدية للمياه
- يُعتبر تطوير النماذج التنبؤية لرصد التغيرات البيئية والجغرافية خطوة أساسية في صياغة خطط مستقبلية مستدامة، إذ يتيح هذا النهج التخطيط الاستباقي واتخاذ قرارات مدروسة لمواجهة التحديات البيئية، مع توجيه استراتيجيات التنمية لتحقيق أقصى درجات الكفاءة والاستدامة.

قائمة المصادر:

اولاً. المصادر في اللغة العربية:

1. الامارة، ورود علي عبد العزيز شري، النمذجة الكارتوكرافية لخصائص التربة في قضاء الحبانية باستخدام تقنيات الجيوماتكس، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الانبار، 2021.
2. الطائي، اياد عاشور، ثائر مظهر فهمي العزاوي، التقنيات الحديثة في الجغرافية، ط1، دار الجنان للنشر، عمان، 2013.
3. عبد القادر، ميادة محمود، تكامل المعلومات الجيومورفية وتقنيات التحسس النائي لدراسة دلتا شط العرب رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية العلوم جامعة البصرة، 2010.
4. عجرمة، أشرف عبده على ، 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 2022.

ثانياً. المصادر في اللغة الأجنبية:

1. 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 . https://doi.org/10.3390/su141811428.
2. Jane,s J. Biles, 2004, Reconciling space and timein geography, University western michigan Kalamazoo .https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8?utm_source=chatgpt.com.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Saeed Nadi, Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators, https://scholar.google.com/citations?user=xuxs3LMAAAAJ&hl=en
7. 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.
8. 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.

9. 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.