Journal of Education for Humanities

A peer-reviewed quarterly scientific journal issued by College of Education for Humanities / University of Mosul

Cartographic Modeling for Predicting Vegetation Cover Change in the Center of Daquq District Using CA-MARKOV

Ammar Ibrahim Khalaf
Ministry of Education / General Directorate of Education in Kirkuk / Kirkuk , Iraq

Article information

Received : 15/12/2024
Accepted: 15/2/2025
Published 10/7/2025

Keywords
Cartographic Modeling, Prediction, Vegetation Cover, Cellular Automata, Markov

Correspondence:
Ammar Ibrahim Khalaf
amaralnuaimi24@gmail.com

Abstract

This research aims to study and analyze the phenomenon of vegetation cover change in the center of Daquq District using cartographic modeling techniques integrated with the CA-MARKOV model, which is considered an effective tool for predicting future changes in geographic and environmental phenomena. The study relies on integrating Remote Sensing techniques with Geographic Information Systems (GIS) to analyze spatio-temporal data related to vegetation cover.

Data were collected from satellite images for different time periods, with advanced processing techniques applied to extract vegetation indicators such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). These data are analyzed to identify historical change patterns and are then used as inputs for the CA-MARKOV model, which combines Cellular Automata (CA) and the Markov model to simulate future change scenarios with high accuracy. The results demonstrate the capability of the CA-MARKOV model to predict spatial changes in vegetation cover for future years—particularly the target year of 2050, representing a 26-year projection—thus providing a scientific tool to support sustainable environmental planning in the region.

The study highlights the importance of cartographic modeling in forecasting environmental changes and offering insights that assist decision-makers in taking measures to preserve vegetation cover and mitigate the impacts of environmental degradation. It also presents a practical framework that can be applied in other regions with similar environmental conditions.

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

النمذجة الخرائطية للتنبؤ بظاهرة تغير الغطاء النباتي في مركز قضاء داقوق باستخدام CA_ MARKOV

عمار إبراهيم خلف

وزارة التربية/ المديرية العامة لتربية كركوك / كركوك ، العراق

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : ٢٠٢٤/١٢/١٥

تاريخ القبول : ٢٠٢٥/٢/١٥

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/٧/١٠

الكلمات المفتاحية :

النمذجة الخرائطية، التنبؤ، الغطاء النباتي، الاتمتة الخلوية، ماركوف

معلومات الاتصال

عمار إبراهيم خلف

amaralnuaimi24@gmail.com

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحليل ظاهرة تغير الغطاء النباتي في مركز قضاء داقوق باستخدام تقنيات النمذجة الخرائطية المدمجة مع نموذج CA–MARKOV، الذي يُعد من الأدوات الفعالة في التنبؤ بالتغيرات المستقبلية للظواهر الجغرافية والبيئية. تعتمد الدراسة على دمج تقنيات الاستشعار عن بُعد (Remote Sensing) مع نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل البيانات الزمنية المكانية المتعلقة بالغطاء النباتي.

تم جمع البيانات من صور الأقمار الصناعية لفترات زمنية مختلفة، مع تطبيق أساليب معالجة متقدمة للحصول على مؤشرات الغطاء النباتي مثل مؤشر الفرق النباتي المعياري .(NDVI) يتم تحليل هذه البيانات لتحديد أنماط التغير التاريخية واستخدامها كمدخلات في نموذج CA–MARKOV، الذي يجمع بين المنهج الخلوي الآلي (Cellular Automata) ونموذج ماركوف، لمحاكاة سيناريوهات التغير المستقبلية بدقة. تُظهر النتائج قدرة نموذج CA–MARKOVعلى توقع التغيرات المكانية للغطاء النباتي حتى السنوات القادمة، ولاسيما سنة الهدف لمدة (٢٦) سنة بمعنى لعام ٢٠٥٠، مما يوفر أداة علمية لدعم التخطيط البيئي المستدام في المنطقة.

يُبرز البحث أهمية النمذجة الخرائطية في التنبؤ بالتغيرات البيئية وتقديم رؤى تساعد صناع القرار في اتخاذ تدابير للحفاظ على الغطاء النباتي وتقليل آثار التدهور البيئي. كما يقدم إطارًا عمليًا يمكن تطبيقه في مناطق أخرى ذات ظروف بيئية مشابهة.

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

اولاً. المقدمة:

التنبؤ المكاني (Spatial Prediction) هو عملية استخدام البيانات الجغرافية أو المكانية والنماذج الإحصائية أو الخوارزميات للتنبؤ بالظواهر أو الأنماط المكانية في منطقة معينة. يركز التنبؤ المكاني على توزيع الظواهر في المكان ويهدف إلى توقع قيمها في أماكن غير مقاسة بناءً على بيانات مقاسة أو معروفة. (Saeed Nadi. 2014, 25).

اما التغير فيشير إلى دراسة وتحليل التغيرات التي تحدث في الظواهر أو الأنماط عبر الزمن والمكان معًا. 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 (S, Li, chen, 2024, 143). واما التغييرات المكانية هي تلك التغيرات عبر المكان او عبر الزمن المعين وخلال فترة ما (USGS, 2023, p6).

يهدف هذا البحث إلى دراسة التغيرات الزمكانية في الغطاء النباتي على مدار فترة زمنية محددة، باستخدام تقنيات النمذجة الحديثة التي تعتمد على خوارزميات متقدمة لمعالجة مشكلات تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة، مع التركيز على مؤشر الفرق النباتي المُطَبَّع (NDVI) كأداة تحليل رئيسية.

على مر السنوات، تم اقتراح وتطبيق العديد من نماذج البيانات الجغرافية، حيث تعتمد المعلومات الجغرافية بشكل أساسي على ثلاث مكونات رئيسية: المكان، الزمن، والخصائص .(Attributes) ومع ذلك، لا يزال من الصعب نمذجة جميع المعلومات الزمنية بشكل كامل، نظرًا للتحديات التقنية وقصور الانسجام بين البيانات المختلفة. في السابق، كانت القيود المرتبطة بالبنية المادية والبرمجية تمثل عائقًا رئيسيًا في هذا المجال حتى العقد الأخير. لكن في الوقت الحاضر، أدى التطور السريع في قدرات الحواسيب الشخصية وزيادة كفاءتها إلى تجاوز العديد من هذه التحديات، مما أتاح بيئة أكثر ملاءمة لدراسة الظواهر الجغرافية. وقد شهدت الجغرافيا تحولًا ملحوظًا نحو الدراسات الكمية بدلاً من الوصفية، مع اعتماد تقنيات تمثيل الظواهر الجغرافية بواسطة نقاط (Point)، خطوط(Line) ، ومضلعات(Polygon) ، إضافة إلى استخدام الإحداثيات الكارتيزية (XYZ) التي توفر دقة وواقعية أكبر. هذه التطورات لم تُسهم فقط في تعزيز فهم الظواهر الجغرافية، بل ساعدت أيضًا صناع القرار والجغرافيين في تقديم حلول أكثر كفاءة لخدمة الإنسان وتطوير علم الجغرافيا بشكل شامل (Jane,s J. Biles, 2004, p1).

ثانياً. مشكلة البحث:

تتمحور إشكالية هذا البحث حول الأسئلة التالية:

- ما الأساليب المتاحة لرصد تغيرات الغطاء النباتي؟
- ما المنهجية المستخدمة للتنبؤ بتغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة؟
- كيف يمكن تقييم دقة النموذج المصمم في التنبؤ بالغطاء النباتي؟

ثالثاً. فرضية البحث:

- يمكن الكشف عن تغير الغطاء النباتي باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد ومؤشر NDVI.
- يمكن الاعتماد على تقنيات الاتمتة الخلوية Cellular automata في التنبؤ بتغير الغطاء النباتي.
- يمكن تقييم دقة الانموذج عن طريق المقارنة الرقمية.

رابعاً. هدف البحث:

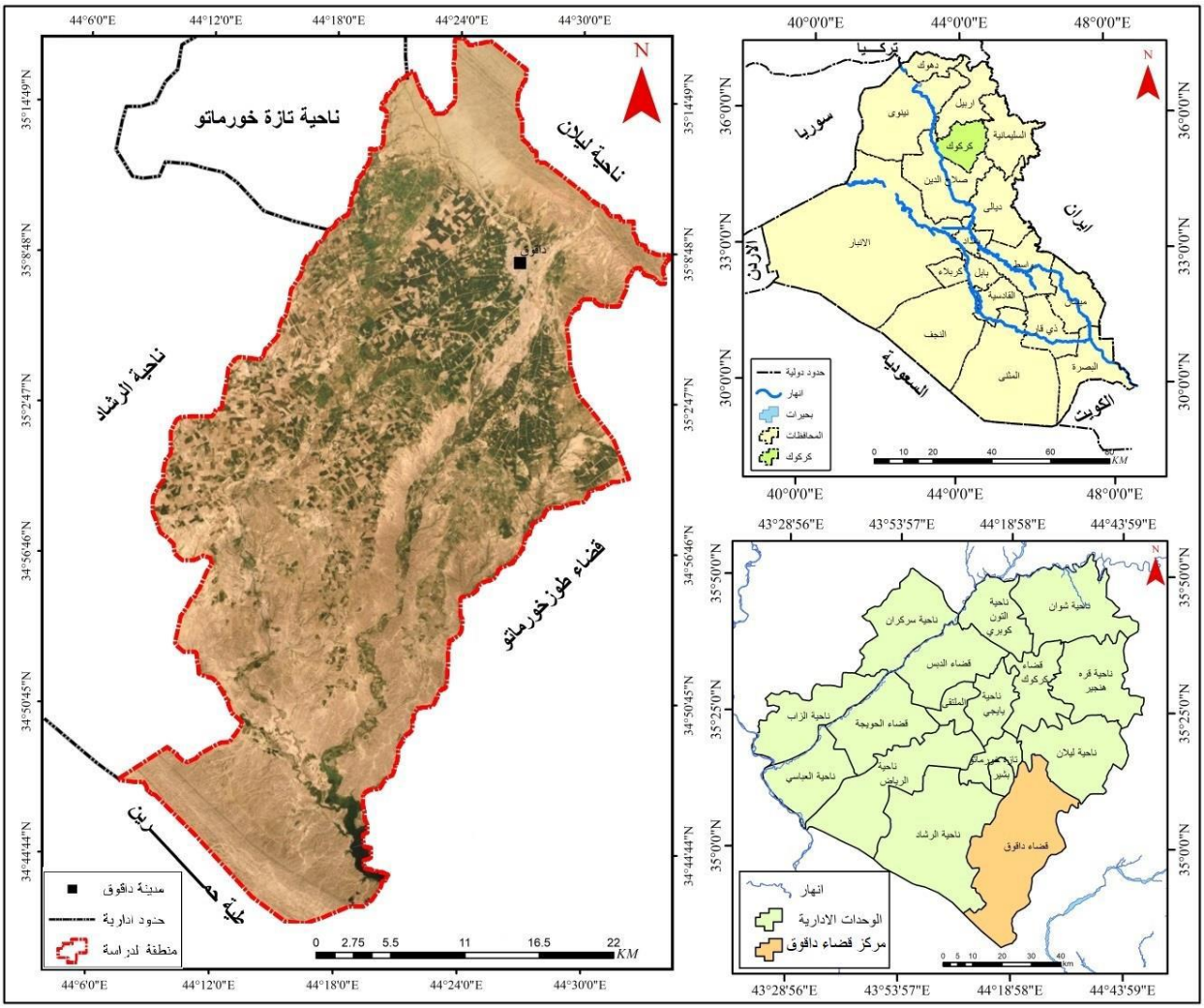
يهدف هذا البحث إلى الكشف عن تغيرات الغطاء النباتي من خلال المقارنة الرقمية بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٢٣. كما يسعى إلى التنبؤ بالمناطق المحتملة للتغير المستقبلي باستخدام تقنيات الأتمتة الخلوية (Cellular Automata) لعام ٢٠٥٠. وتهدف الدراسة أيضًا إلى تحديد ما إذا كانت هذه التغيرات تتجه نحو الزيادة أو النقصان، وذلك لدعم صناع القرار والمهتمين بالدراسات البيئية. سيتم تقييم دقة النموذج المصمم باستخدام أحدث التقنيات، بما في ذلك تقنية التحقق المتقاطع.(Cross-Validation)

خامساً. موقع منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة، التي تبلغ مساحتها ١١٩٣.٣ كيلومترًا مربعًا (ما يعادل ٤٧٧٣٢٠ دونمًا)، ضمن الأراضي السهلية المحصورة بين طيتي بلكانه شمالًا وحمرين جنوبًا، وتخترقها بعض الأودية، أبرزها وادي طاووق جاي. إداريًا، تتبع هذه المنطقة لمحافظة كركوك، حيث تقع في الجزء الشرقي والجنوبي الشرقي منها. يحدها شمالًا ناحية ليلان، وجنوبًا طية حمرين التي تشكل حدًا فاصلًا بينها وبين ناحية العلم. من الغرب، تحدها ناحية الرشاد التابعة إداريًا لمنطقة الدراسة، وشرقًا قضاء طوزخورماتو.

إحداثيات المنطقة تتراوح بين دائرتي عرض ٣٤°٤٣'٠١" و٣٥°١٧'٢٩" شمالًا، وخطي طول ٤٤°١٠'١٨" و٤٤°٣٦'١٩" شرقًا. توضح الخريطة (١).

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة



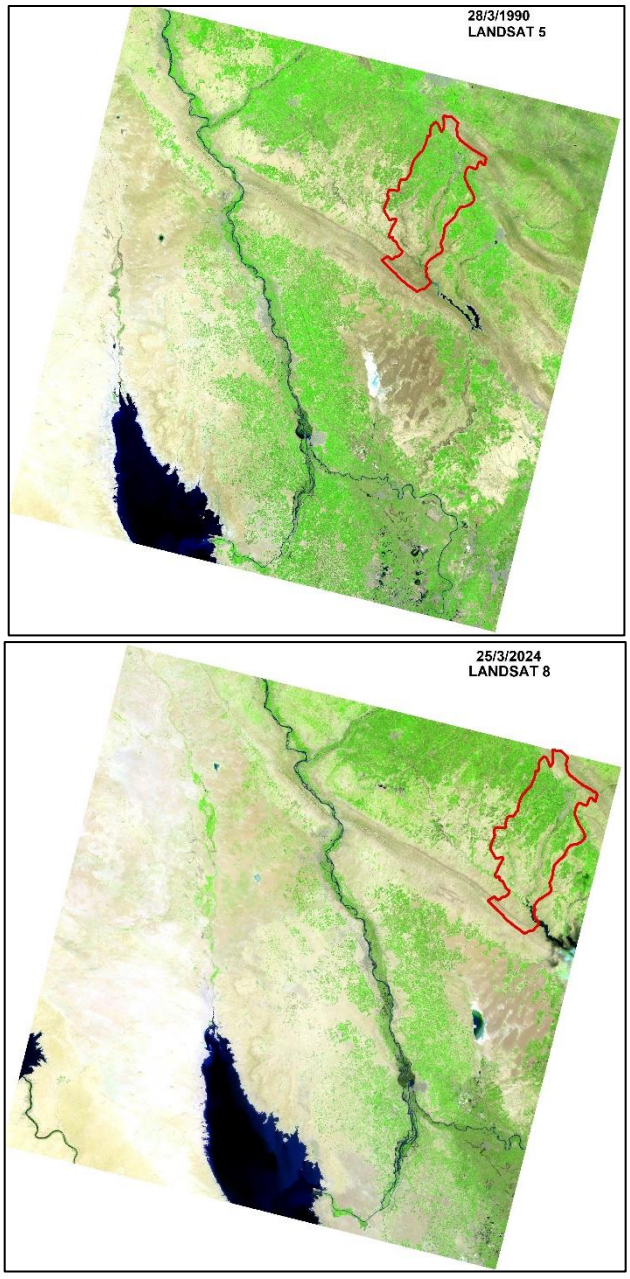
المصـــــدر: اعتمادا على الخريطة الادارية للعراق والهيئة العامة للمســـــاحة ٢٠١٨ والخريطة الادارية لمحافظة كركوك، الهيئة العامة للمساحة ٢٠١٨.

سادساً. مصادر البيانات المستخدمة في تغير الغطاء النباتي:

قبل الشروع في المعالجة الرقمية المعتمدة في هذه الدراسة، من الضروري مناقشة الأسس العلمية التي أدت إلى اختيار مرئيات فضائية محددة. تم الاعتماد على مرئيات Landsat 4 و Landsat 8دون غيرها، نظرًا لتوفرها المجاني على الإنترنت من جهة، وامتلاك منصة Landsat أرشيفًا تاريخيًا يعود إلى سبعينيات القرن الماضي من جهة أخرى. هذا الأرشيف مفيد لدراسة تغير الغطاء النباتي على مدى فترات زمنية محددة، حيث تتميز المرئيات بدقة تمييزية تبلغ ٣٠ مترًا. تم التقاط الصور في فترات زمنية متقاربة، تحديدًا في 28 مارس 1990 و٢٥ مارس 2024، حيث يُعتبر شهر مارس من أكثر الأشهر كثافة للغطاء النباتي.

تجدر الإشارة إلى أن منصة Landsat توفر بيانات مجانية عبر الإنترنت، مما يسهل الوصول إلى المرئيات الفضائية اللازمة للدراسات البيئية. بالإضافة إلى ذلك، تتميز مرئيات Landsat 8 بدقة مكانية تبلغ ٣٠ مترًا للنطاقات متعددة الأطياف و١٥ مترًا للنطاق البانكروماتي

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



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

سابعاً. الية الحصول على كثافة الغطاء النباتي:

يمكن تحديد كثافة الغطاء النباتي باســـتخدام مؤشـــر الفرق النباتي المُطَبَّع (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)، الذي يعتمد على خصـــائص الانعكاس الطيفي للنباتات. تتميز النباتات بامتصـاص كمية كبيرة من الأشـعة الحمراء وعكس كمية كبيرة من الأشـعة تحت الحمراء القريبة. بناءً على ذلك، يمكن حساب الكتلة الحيوية للنباتات من خلال مقارنة قيم الأشعة الحمراء والأشعة تحت الحمراء القريبة باستخدام معادلة.NDVI

شــهدت العقود الأخيرة تطورًا كبيرًا في تقنيات الاســتشــعار عن بُعد، ما أتاح تطوير العديد من المؤشــرات، أبرزها مؤشـر الغطاء النباتي. تعتمد هذه المؤشرات على نطاقات طيفية محددة قادرة على الكشـف عن معلومات مهمـة حول النباتـات، مثل حـالـة الغطـاء النباتي، هيكلـه، كثـافـة الأوراق وتوزيعهـا، محتوى المـاء، قدرة التمثيل الضوئي، ومستويات المعادن. هذه النطاقات الطيفية تتميز بحساسيتها العالية لهذه العوامل.

تم اختيار مؤشـــر NDVI لرســـم خرائط الغطاء النباتي لمنطقة الدراســـة، كونه يُعد أداة فعّالة لقياس درجات الاخضـــرار وتحديد التغيرات التي طرأت على الغطاء النباتي. ولتنفيذ الدراســـة، تم اســـتخدام بيانات من الأقمار الصناعية: مرئية Landsat 5 MSS لعام 1990 ومرئية Landsat 8 OLI لعام 2024. أُجريت المقارنة بين المرئيتين باســـتخدام برنامج ArcMap 10.8 ، وتم تطبيق معادلة NDVI للحصـــول على النتائج وتحليلها. (Feng Chen, 2019, p6).

(NIR − R) / (NIR + R)

In Landsat 4–7, NDVI = (Band 4 – Band 3) / (Band 4 + Band 3).

In Landsat 8–9, NDVI = (Band 5 – Band 4) / (Band 5 + Band 4).

إذ أن: –

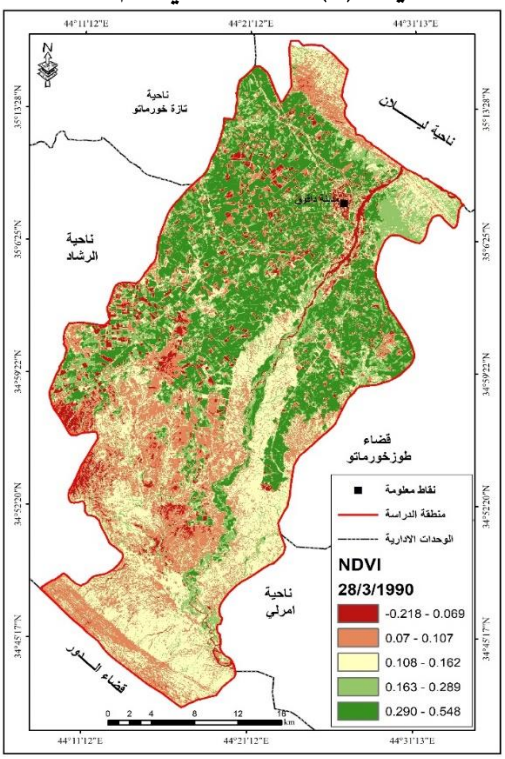
NDVI= مؤشر دليل الاخضرار.

R = الجزء الخاص بالطيف الأحمر.

NIR = الجزء الخاص بالطيف القريب من الأشعة تجت الحمراء.

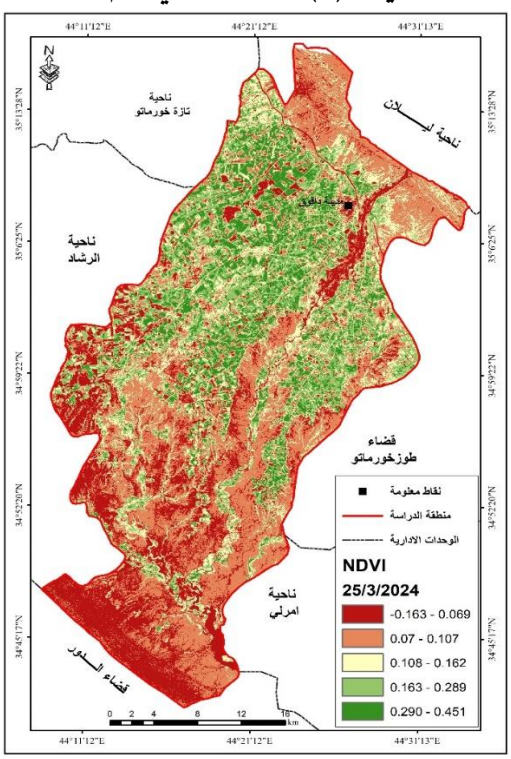
تتراوح قيم دليل الغطاء الخضـري من (-٠.١ – ١.٠)، اذ ان القيم السـالبة تشـير الى الغيوم والمياه، والقيم الموجبة القريبة للصفر تشير الى التربة الجرداء. عند تطبيق معادلة NDVI على المرئيات الثلاث، تظهر النتائج في الخريطة (٢، ٣) والجدول (١). يلاحظ أن كثافة الغطاء النباتي تسير في الاتجاه السالب، مما يعني تناقصها وزيادة المساحات الجرداء. يُعزى هذا التغير إلى التغيرات المناخية.

خريطة (٢) الغطاء النباتي لعام 1990



اعتماداً على: لاندسات ٥ ذي المتحسس TM.

خريطة (٣) الغطاء النباتي لعام 2024



اعتماداً على: لاندسات ٨ ذي المتحسس OLI.

جدول (١) مساحة الغطاء النباتي للأعوام (1990–2024) في منطقة الدراسة

ت	كثافة الغطاء النباتي	1990		2024	
		المساحة/كم٢	النسبة%	المساحة/كم٢	النسبة%
1	لا يوجد غطاء نباتي	61.1	5.1	252.9	21.2
2	ضعيف	280.1	23.5	406.7	34.1
3	متوسط	344.7	28.9	201.3	16.9

4	كثيف	235.4	19.7	201.4	16.8
5	كثيف جداً	272.0	22.8	131.0	11.0
المجموع		1193.3	100.0	1193.3	100.0

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

ويلاحظ من الخرائط والجدول أعلاه ان الأصناف متباينة في المساحة، فالصنف الأول (لا يوجد غطاء نباتي)، قد تزايدت مساحته طردياً مع السنوات فكلما تقدمنا نحو الحداثة زادت مساحة هذا الصنف، وينطبق الحال للصنف (الضعيف)، وتنعكس الصورة عكسياً بالنسبة للصنف (المتوسط والكثيف والكثيف جداً) بمعنى كلما تجهنا نحو السنوات القديمة زادت كثافة الغطاء النباتي.

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

يُعتمد في التنبؤ بتغيرات الغطاء الأرضي على نموذج **CA–Markov**، الذي يجمع بين تقنيات الأتمتة الخلوية (Cellular Automata)وسلاسل ماركوف. يُعتبر هذا النموذج أداة تنبؤية فعّالة، حيث يدمج بين التحولات المكانية المحتملة والتوزيع المكاني المستقبلي، مما يتيح محاكاة التغيرات المستقبلية في الغطاء الأرضي بدقة عالية.

تُستخدم خوارزميات **CA–Markov**لمحاكاة توزيع احتمالي مجهول، وذلك من خلال بناء سلسلة ماركوف يكون توزيعها المتوازن مطابقًا للتوزيع الاحتمالي المراد محاكاته. بعد عدد من الخطوات، تُستخدم حالة السلسلة كعينات من التوزيع الاحتمالي المستهدف، وتتحسن دقة هذه العينات بزيادة عدد الخطوات للسلسلة.

تُظهر الدراسات التطبيقية فعالية نموذج **CA–Markov** في محاكاة التغيرات المستقبلية للغطاء الأرضي.

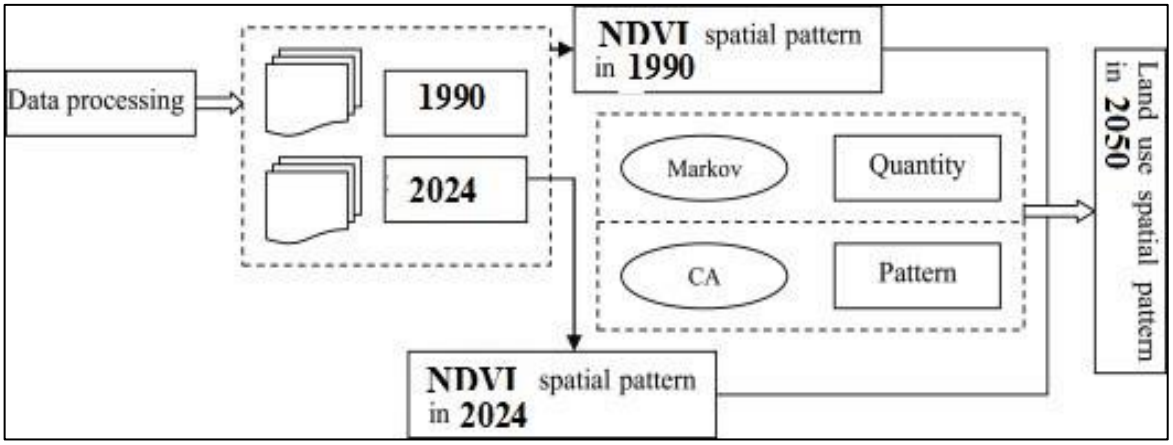
يُعزى اسم "سلاسل ماركوف" إلى العالم الرياضي الروسي أندريه ماركوف، الذي قدم في عام ١٩٠٧ م استخدامات قوانين الاحتمالات لتفسير الظواهر والمتغيرات التي حدثت في الماضي. اعتمد ماركوف في تحليله على مبدأ أساسي مفاده أن سلوك أي متغير في المستقبل يتحدد بناءً على حالته في الفترة السابقة مباشرة، أو عدة فترات سابقة، وذلك وفقًا للبيانات المتوفرة عن تلك الفترات.

تُعتبر سلاسل ماركوف عمليات عشوائية تتميز بخاصية ماركوفية، حيث يعتمد التنبؤ بالمستقبل فقط على الحالة الحالية، دون الحاجة إلى معرفة التاريخ السابق. تُستخدم هذه السلاسل في العديد من التطبيقات، بما في ذلك تحليل المتغيرات المتتالية في مواقف معينة، وتُعتبر أداة قوية في النمذجة الرياضية والاحتمالية. من جهة أخرى، يُعد نموذج الأوتوماتا الخلوية (Cellular Automata Model – CA) من أبرز فروع الذكاء الاصطناعي الجغرافي المكاني(GeoAI) ، حيث يتكامل جزئيًا مع البيئة الخلوية لنظم المعلومات الجغرافية (Raster GIS). في التسعينيات من القرن العشرين، بذل العديد من الباحثين، سواءً من المحللين الجغرافيين أو

غير الجغرافيين، جهودًا كبيرة في تطوير نماذج برمجية فردية للأوتوماتا الخلوية، بهدف توقع التطورات المستقبلية في مجالات متعددة.

يُعتبر نموذج ماركوف للأوتوماتا الخلوية من أبرز النماذج الذكية المستخدمة لتوقع التغيرات المستقبلية في الغطاء النباتي، استنادًا إلى سلسلة زمنية مكانية طويلة المدى. قام العالم Clarke وفريقه البحثي بتطوير هذا النموذج الذكي كنموذج برمجي مستقل يعمل في بيئة نظام تشغيل يونكس.(Unix Operating System) يتكامل هذا النموذج الذكي مع بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) مع الحفاظ على استقلاليته البرمجية الكاملة، حيث يتمثل التكامل في إدخال طبقات البيانات الشبكية المحددة مسبقًا في النموذج. يُستخدم هذا النموذج في العديد من الدراسات البيئية والتخطيطية لتوقع التغيرات المستقبلية في الغطاء النباتي، مما يساعد في اتخاذ قرارات مستنيرة بشأن إدارة الموارد الطبيعية والتخطيط البيئي المستدام (عجرمة، ٢٠٢٢، ١٠٤) وكما في الشكل (٢).

شكل (٢) المخطط الهيكلي لفكرة التنبؤ بتغير الغطاء النباتي

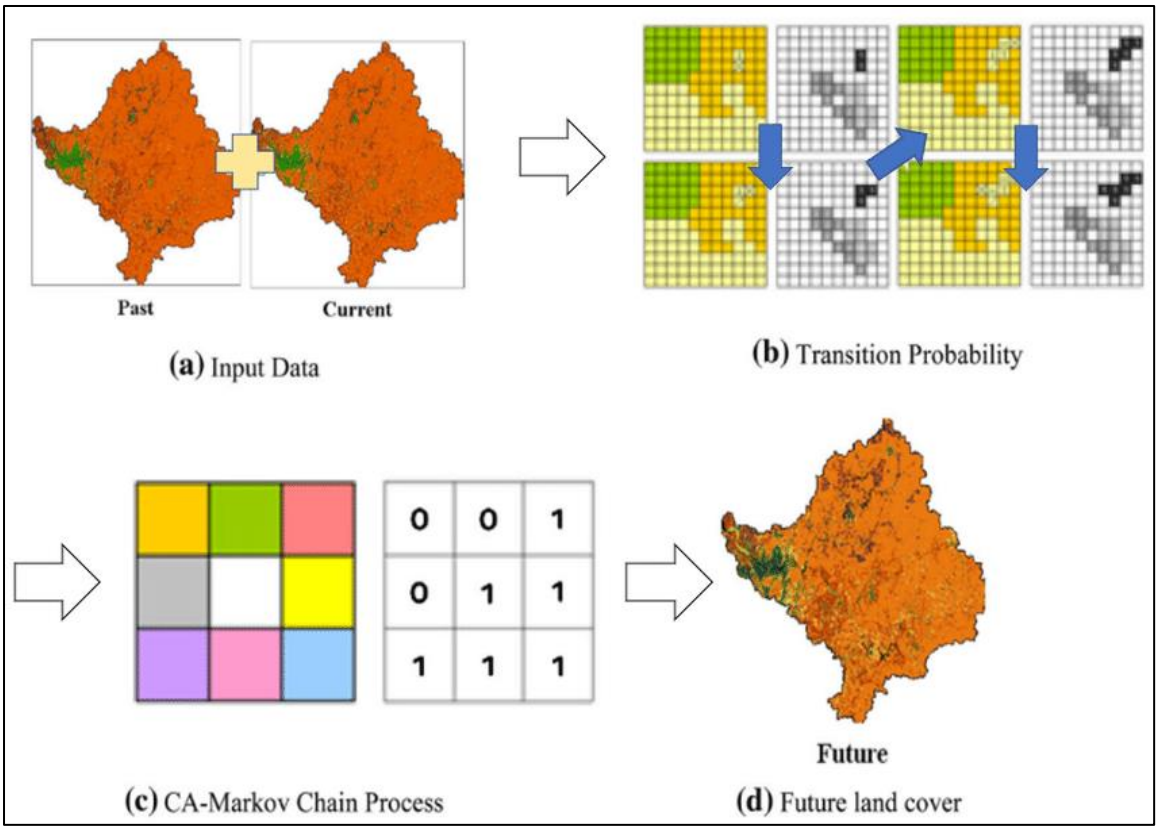


من عمل الباحث.

١. الية العمل:

- يقوم البحث باعتماد سنتين الأولى هي سنة الأساس وتعد أقدم سنة تأخذ في الدراسة الا وهي عام ١٩٩٠، ومقارنتها مع عام ٢٠٠٧ ومن ثم مقارنة ٢٠٠٧ مع عام ٢٠٢٤. 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).

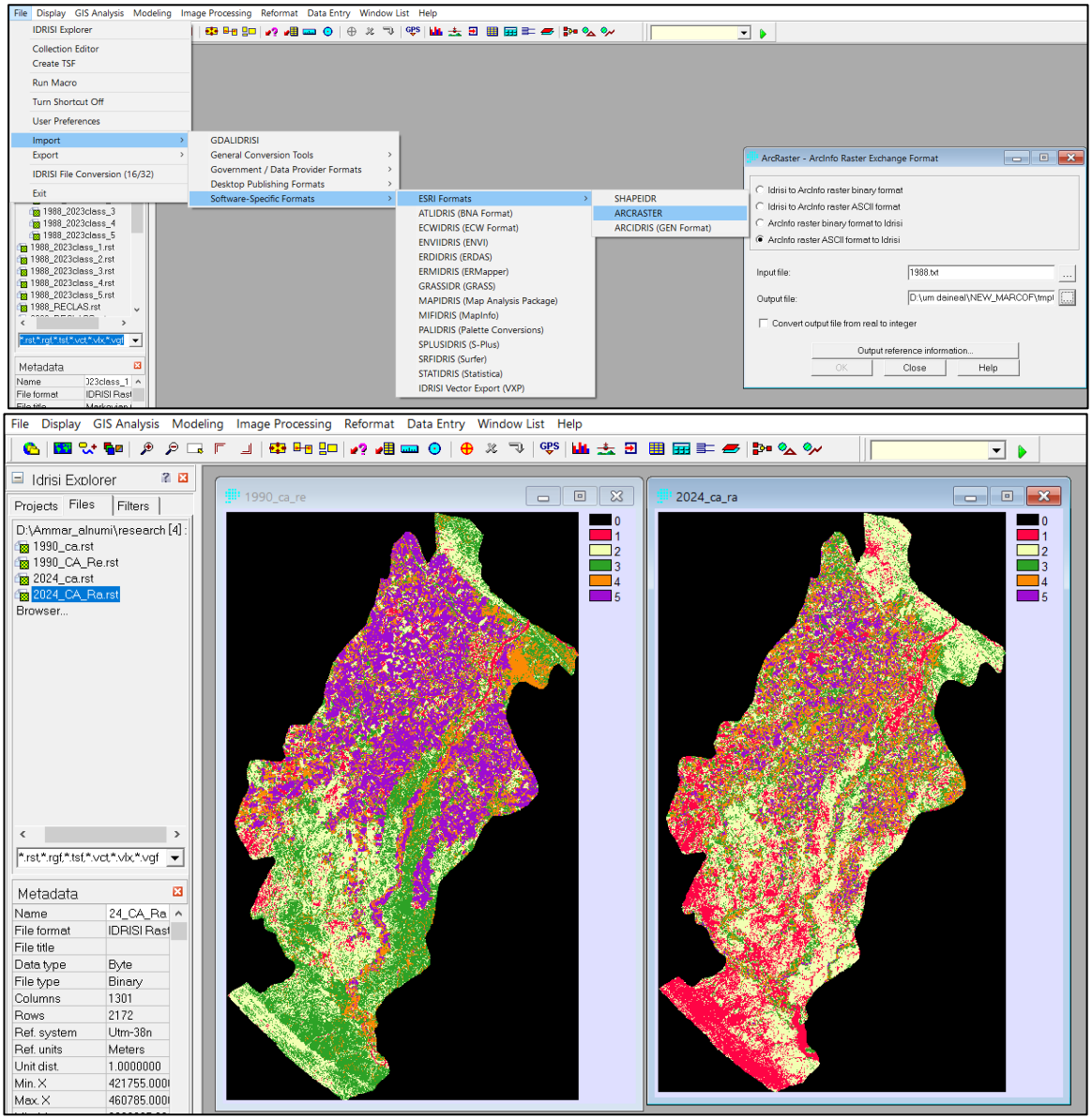
شكل (٣) فكرة معالجة المرئيات الفضائية للتنبؤ المستقبلي وفق انموذج ماركوف



.https://2u.pw/uYvCOzzS

- بعد معالجة المرئيات الفضائية واشتقاق الغطاء الخضري عن طريق NDVI، في برنامج ARC GIS، عمل إعادة تصنيف لكل سنة وتصنيفها الى خمسة أصناف فيبدأ الصنف الأول برقم ١ الذي يمثل بدون غطاء نباتي وينتهي الصنف الخامس برقم ٥ والذي يمثل الصنف الكثيف جداً.
- تصدير الطبقة التي اعيد تصنيفها بصيغة Text عن طريق الأداة Raster to ASCII في برنامج ARC GIS.
- فتح برنامج IDRISI واستيراد الطبقات في النقطة أعلاه وكما في الشكل (٤).

شكل (٤) استيراد الطبقات الى برنامج IDRISI

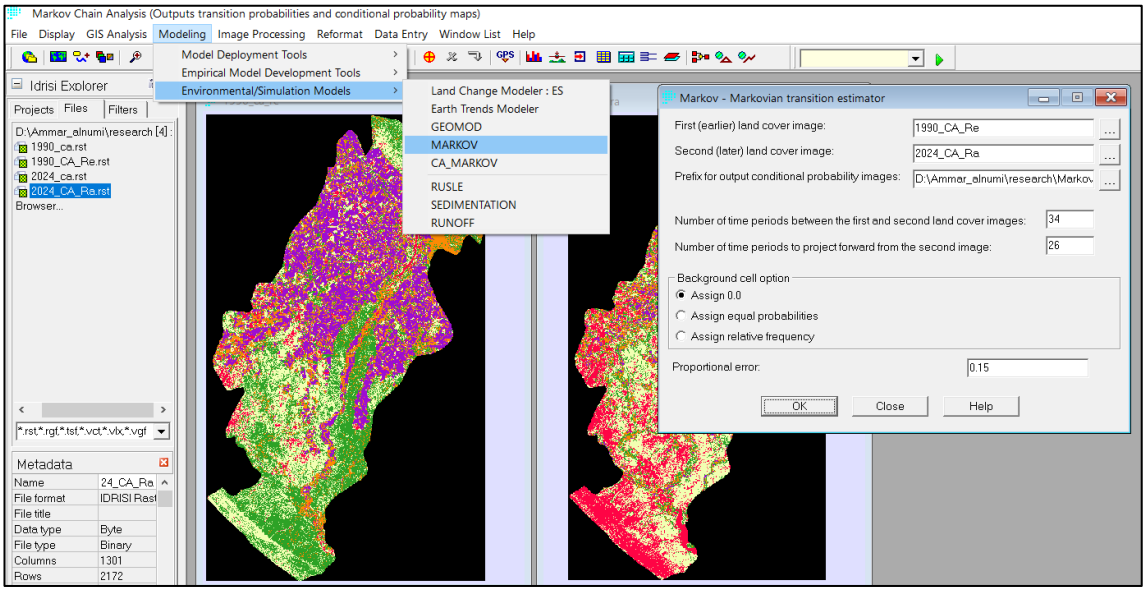


المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

- 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

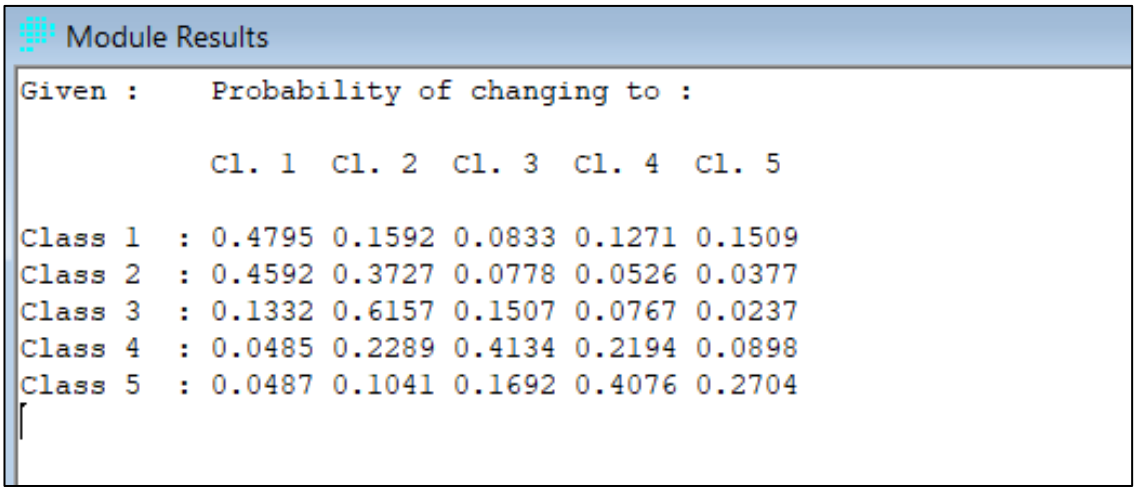
الاحتمالية لكل صنف فكلما اقتربت النتيجة من ٠ دلت على احتمالية التغير ضعيفة، وكلما اقتربت من ١ زادت احتمالية التغير.

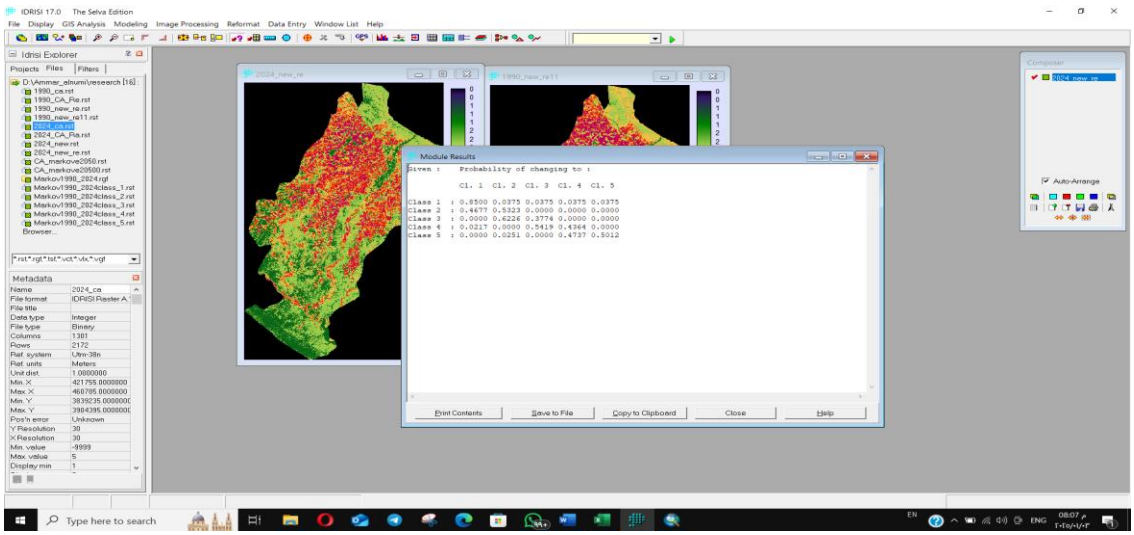
شكل (٥) الية الوصول الى انموذج ماركوف



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

شكل (٦) مصفوفة احتمالية التغير وفق أصناف الغطاء النباتي

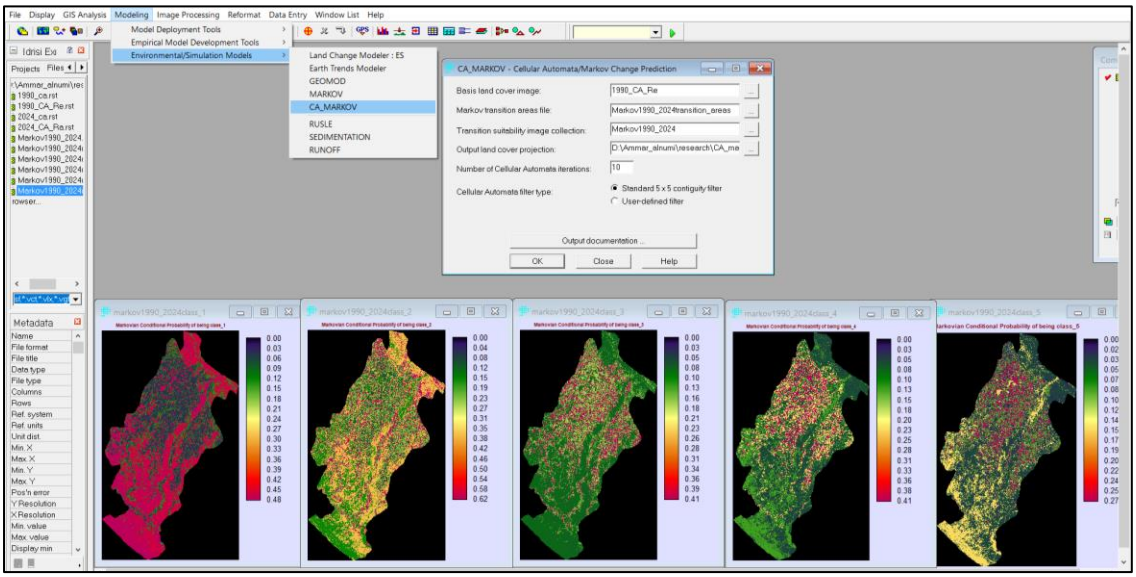




المصدر: اعتماداً على بيئة برنامج IDRISI.

- بعد ذلك أصـــبحت قواعد البيانات جاهزة لعمل التنبؤ من خلال اســـتخدام الاتمتة الخلوية لماركوف CA_ MARKOV، اذ يتم الوصول اليها من خلال الشكل (٧).

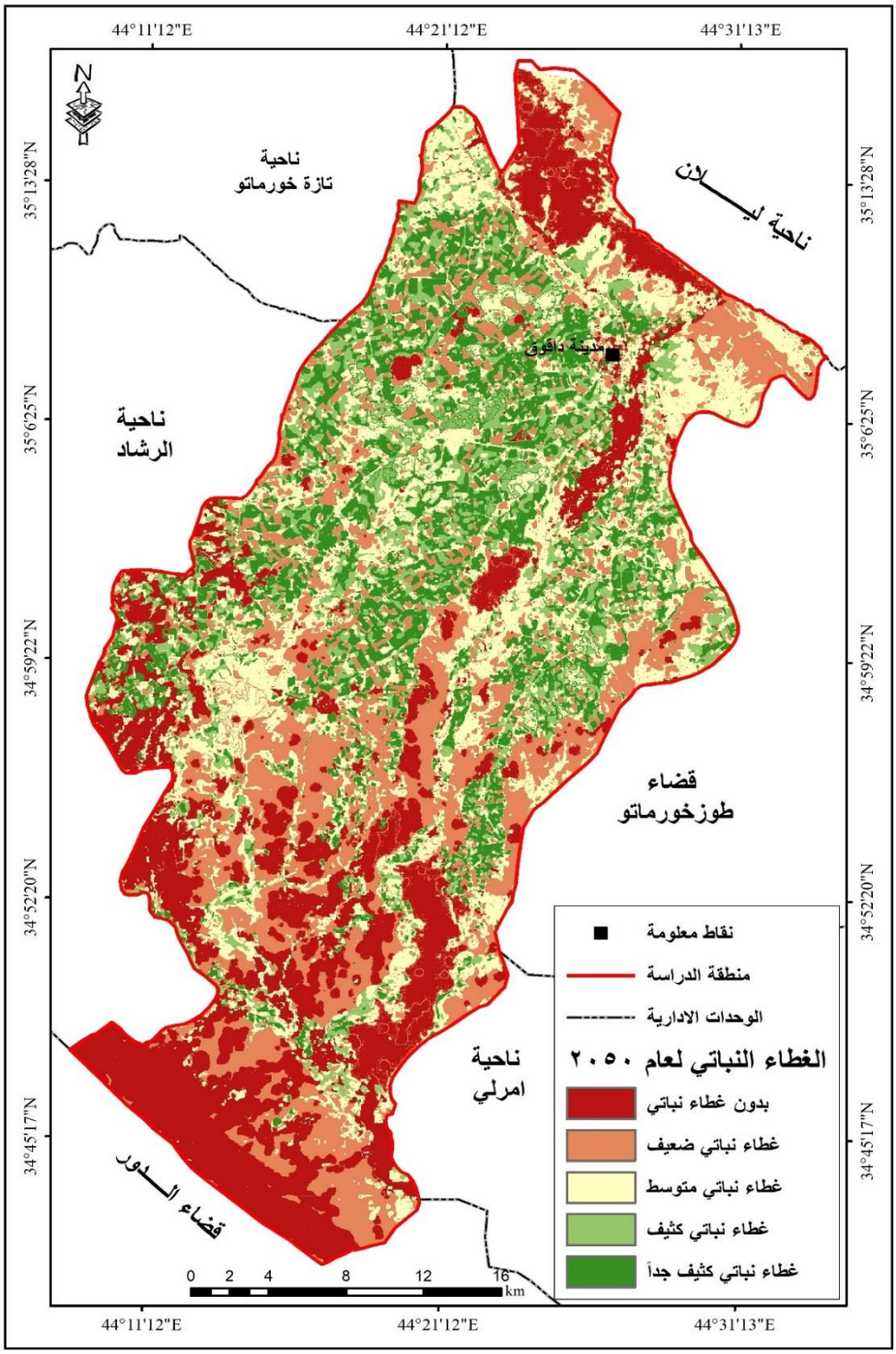
شكل (٧) الية الوصول للأتمتة الخلوية وفق نموذج ماركوف



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

- بعد ذلك تظهر نتائج الانموذج وكما في الخريطة (٤)، والتي من خلاله تم تصـــديرها الى برنامج ARC GIS، لإخراجها بشكل يتلاءم مع العناصر الخرائطية.

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



المصدر: اعتماداً على تطبيق انموذج CA Markov.

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

ت	أصناف الغطاء النباتي	٢٠٢٤		٢٠٥٠		مساحة التغير/كم٢
		المساحة/كم٢	النسبة%	المساحة/كم٢	النسبة%	
1	لا يوجد غطاء نباتي	252.9	21.2	275.9	23.1	23
2	ضعيف	406.7	34.1	412.6	34.6	5.9
3	متوسط	201.3	16.9	260.5	21.8	59.2
4	كثيف	201.4	16.8	125.2	10.5	-76.2
5	كثيف جداً	131	11	119.1	10.0	-11.9
المجموع		1193.3	1193.3	1193.3	100.0	
العلاقة الارتباطية		0.92				

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

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

- يسير الصنف (لا يوجد غطاء نباتي) نحو الزيادة، اذ بلغت مساحته في الوقت الحالي (٢٥٢.٩)كم٢ وبنسبة (٢١.٢)% لعام ٢٠٢٤، في حين بلغت مساحته في عام ٢٠٥٠ (٢٧٥.٩)كم٢ وبنسبة (٢٣.١)% أي ازدادت مساحة هذا الصنف بنحو (٢٣)كم٢.
- اتجه الصنف (ضعيف) نحو الزيادة ايضاً، فقد بلغت مساحته في عام ٢٠٢٤ (٤٠٦.٧)كم٢ وبنسبة (٣٤.١)كم٢ وبنسبة (٣٤.١)%، وبلغت في عام ٢٠٥٠ مساحة قدرها (٤١٢.٦)كم٢ وبنسبة (٣٤.٦)%، اذ بلغت مساحة الزيادة (٥.٩)كم٢.
- تزايدت مساحة الصنف (متوسط الكثافة) لتتجه نحو الموجب بمساحة بلغت (٢٠١.٣)كم٢ وبنسبة (١٦.٩)%، لتزداد مساحتها وتبلغ (٢٦٠.٥)كم٢ وبنسبة (٢١.٨)% في عام ٢٠٥٠، وبمساحة تغير (٥٩.٢)كم٢.
- جاء صنف (الكثيف) بمساحة تتناقص نحو السالب، وهو أكثر الأصناف تغيراً بمساحة بلغت (-٧٦.٢)كم٢، وهو فرق بين سنتي ٢٠٢٤، ٢٠٥٠ بمساحات بلغت (٢٠١.٤، ١٢٥.٢)كم٢ على التوالي.
- في حين سجل الصنف (كثيف جداً) تغيراً نحو السالب ايضاً في الوقت الحالي، اذ تناقصت مساحته بمقدار (-١١.٩)كم٢.

تاسعاً. تقييم دقة الانموذج:

أُجريت الدراسة لتقييم دقة نتائج نموذج ماركوف بهدف التحقق من صحتها. تم استخدام خريطة الغطاء النباتي لعام ١٩٩٠ كأساس، وخريطة عام ٢٠٠٨ كمرحلة لاحقة. بعد ذلك، طُبِّق نموذج ماركوف للتنبؤ بخريطة عام ٢٠٢٤، مع العلم أن الخريطة الفعلية لعام ٢٠٢٤ تم استخراجها من المرئيات الفضائية. بالتالي، لدينا نوعان من خرائط الغطاء النباتي لعام ٢٠٢٤: الأولى هي نتيجة التنبؤ للفترة ١٩٩٠–٢٠٠٨، والثانية هي الخريطة الفعلية المستخرجة من المرئيات الفضائية.

بعد ذلك، تم استخدام أداة "VALIDATE" للتحقق من صحة النتائج، كما هو موضح في الشكل (٨). تُوفر أداة VALIDATEوسيلة لقياس التوافق بين صورتين فئويتين (عدد صحيح أو بايت)، حيث تُعتبر إحداهما خريطة "مقارنة" والأخرى خريطة "مرجعية". يمكن أن تحتوي كل صورة على ما يصل إلى ٣٢,٠٠٠ فئة. عادةً ما تكون خريطة المقارنة ناتجة عن نموذج محاكاة أو تصنيف، ويتم تقييم دقتها مقابل الخريطة المرجعية التي تمثل الواقع. يمكن أيضًا استخدام ملفات مجموعة الصور، مثل تلك الناتجة عن الوحدات النمطية مثل BAYCLASSأوBELIEF ، بدلاً من خريطة واحدة.

يُقدم نموذج VALIDATE تحليلاً إحصائيًا شاملاً يُجيب على سؤالين مهمين:

١. **ما مدى توافق زوج من الخرائط من حيث كمية الخلايا في كل فئة؟**

٢. **ما مدى توافق زوج من الخرائط من حيث موقع الخلايا في كل فئة؟**

يحسب VALIDATE مؤشرات اتفاق Kappa المختلفة والإحصائيات ذات الصلة للإجابة على هذه الأسئلة. يقوم التحليل بتقسيم الاتفاق والاختلاف بين الصورتين إلى العناصر التالية:

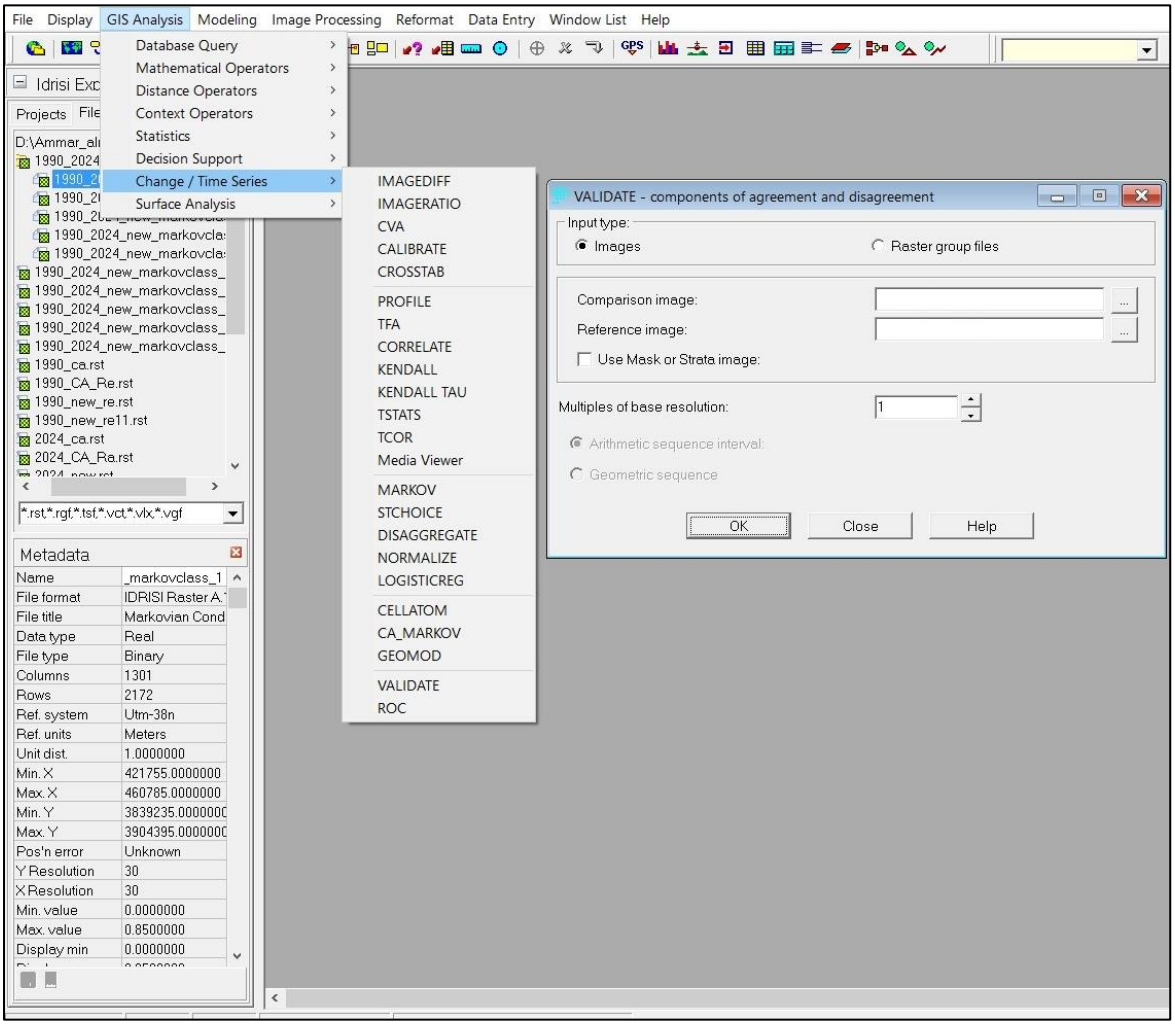
- **الاتفاق التام** :عدد الخلايا التي تتطابق تمامًا بين الخريطتين.
- **الخلاف الكمي** :عدد الخلايا التي تختلف في الفئة بين الخريطتين.
- **الخلاف المكاني** :عدد الخلايا التي تتطابق في الفئة ولكنها تختلف في الموقع بين الخريطتين.

يُعد هذا التحليل ضروريًا لتحديد دقة النموذج ومدى توافقه مع الواقع، مما يُسهم في تحسين النماذج المستقبلية والتنبؤات المتعلقة بالغطاء النباتي(Montserrat, 2020, p4)

- الاتفاق بسبب الصدفة.
- الاتفاق بسبب الكمية.
- اتفاق بسبب الموقع على المستوى الطبقي.
- اتفاق بسبب الموقع على مستوى خلية الشبكة.
- الاختلاف بسبب الموقع على مستوى خلية الشبكة.
- الاختلاف بسبب الموقع على المستوى الطبقي.

- الاختلاف بسبب الكمية.

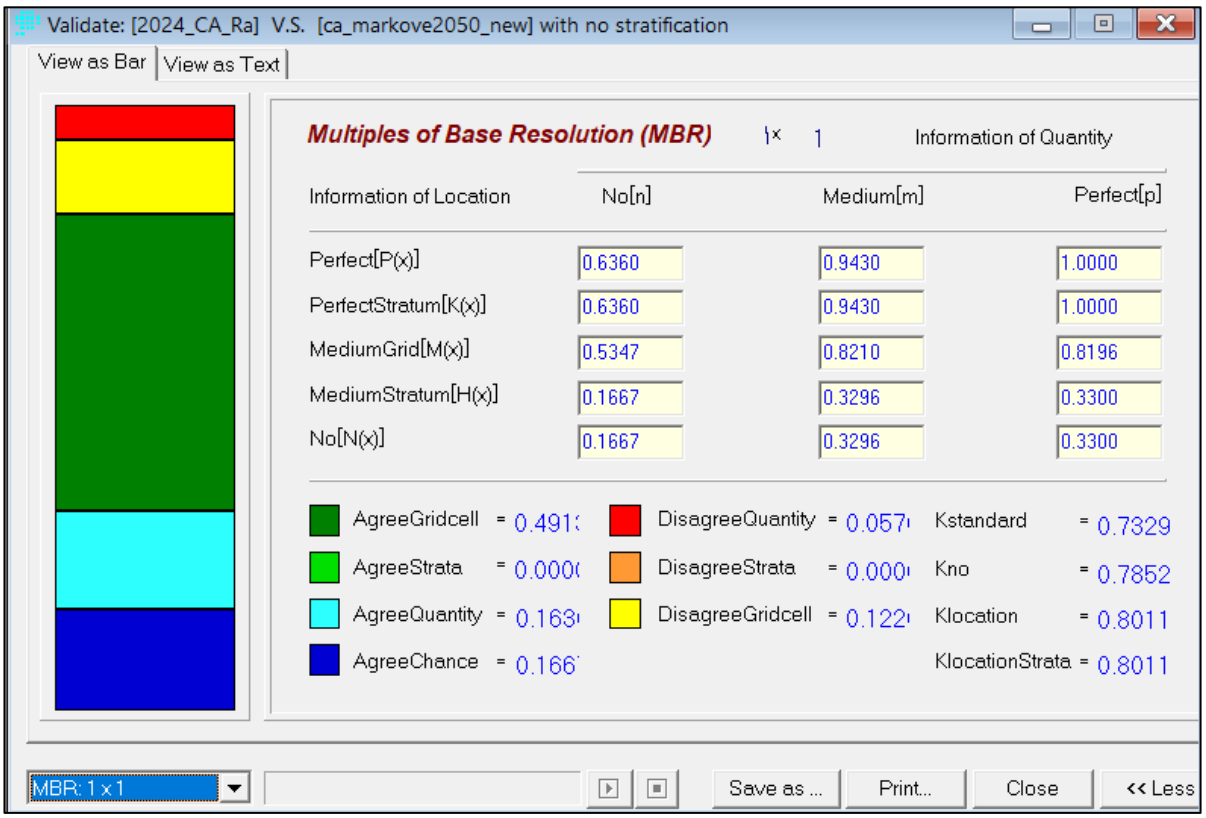
شكل (٨) الوصول الى أداة التحقق من صحة البيانات



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

بعد ادخال المتغيرات في الشـكل أعلاه، تظهر نتائج المطابقة بين عام ٢٠٢٤ التي تم الحصـول عليها عن طريق التنبؤ وبين عام ٢٠٢٤ الناتج عن المرئيات الحقيقية والتي تعد كواقع حال، للحصـول على التطابق بين النوعين وقد ظهرت النتائج في الشـكل (٩). فقد ظهرت المطابقة قيمة نهائية بلغت ٠.٨٠١ وهي تعني انها تحقق نسبة ٨٠٪ وهي نسبة جيده جداً بمعنى ان الانموذج تنطبق عليه كافة الشروط التي تحقق الوصول الى الحقيقة.

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



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

الاستنتاجات:

- حققت التقنيات الحديثة خطوة مهمة في علم الجغرافية، اذ نقلتها من عالم الوصـــف الى عالم التنبؤ بتغير مسار الظاهرة.
- ان لبرنامج الادريســي وتحديدً انموذج ماركوف ضــمن الاتمتة الخلوية، الكفاءة العالية في التنبؤ بتغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسـة، فهو يتعامل مع الخلايا الشـبكية وهي أصـغر وحدة صـورية متوفرة ضمن البيانات الفضائية.
- تتناقص المساحات الخضـراء الكثيفة في عام ٢٠٥٠، وتزداد مساحة الأراضـي الجرداء بصـورة كبيرة، مما يشـكل خطراً بيئياً على العراق بشـكل عام ومنطقة الدارسـة على وجه الخصـوص. وهذا يؤكد ان التغير المناخي سائر ومستمر نحو الجفاف.

- حقق الادريسي مستوى دقة بلغ ٨٠٪ بين الواقع والتنبؤ، وهذا يؤكد مصداقية النتائج التي تم الحصول عليها لعام ٢٠٥٠.

التوصيات:

- ضرورة الاعتماد على التقنيات الحديثة في معالجة المشاكل البيئية الحالية والمستقبلية والتي يتم الحصول عليها عن طريق البيانات الفضائية.
- التوجه نحو استغلال زراعة الأشجار والتوسع بها في العراق عامة ومنطقة الدراسة على وجه الخصوص، كونها تساعد على تقليل حدة الجفاف الذي انتاب الإقليم.
- التوسع في استغلال عملية حصاد المياه، لاسيما على الاودية موسمية الجريان واستخدامها في عملية الارواء للمحاصيل الزراعية.
- الاهتمام بالبرامج التي تعمل على التنبؤ بتغير الظاهرات الجغرافية، لانه كفيل بالكشف عن الخطط التي سيتم استخدامها مستقبلاً.

قائمة المراجع :

- 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.
- Saeed Nadi,2014 Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators, https://scholar.google.com/citations?user=xuxs3LMAAAAJ&hl=en.
- 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.
- USGS, 2023, 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.
- Jane,s J. Biles, 2004, Reconciling space and timein geography, University western michigan Kalamazoo.
- Feng Chen, Shenlong Lou, Normalized Difference Vegetation Index Continuity of the Landsat 4-5 MSS and TM: Investigations Based on Simulation, Submission received: 14 May 2019 / Revised: 8 July 2019 / Accepted: 12 July 2019 / Published: 16 July 2019.
- 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.

Bibliography of Arabic References (Translated to English)

- Ashraf Abdu Ala Ajermah, Nermeen Ahmed Mohamed Khalil Shokry, "Geospatial Artificial Intelligence Methods in GIS and Remote Sensing: Between Theory and Application," The Arab International Journal of Information and Data Technology, Vol. 2, No. 2, April – June 2022.
- Feng Chen, Shenlong Lou, Normalized Difference Vegetation Index Continuity of the Landsat 4-5 MSS and TM: Investigations Based on Simulation, Submission received: 14 May 2019 / Revised: 8 July 2019 / Accepted: 12 July 2019 / Published: 16 July 2019.
- Jane,s J. Biles, 2004, Reconciling space and timein geography, University western michigan Kalamazoo.
- 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.
- 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.
- Saeed Nadi,2014 Multi-criteria, personalized route planning using quantifier-guided ordered weighted averaging operators, https://scholar.google.com/citations?user=xuxs3LMAAAAJ&hl=en.
- USGS, 2023, 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.