ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: https://eduj.uowasit.edu.iq

Asst.Prof.Dr. Wissam Hamood Hashoosh

University of Thi Qar College of Education for Humanities

Email: Dr.wsam.h@utq.edu.iq

Keywords:

Vegetation Cover, NDVI, Remote Sensing, GIS, Cartographic Modeling

CC BY

A r t i c l e i n f o

Article history:

Received 10. Sep.2026

Revised 20. Oct.2026

Accepted 21. OCT.2026

Published 25. Nov.2026

Spatial Analysis. and Cartographic Modeling of Vegetation Cover Changes and Building a Predictive Model for Its Future Spatial Distribution Usi.ng Remote Sensing and G.I.S: An. Applied Study in. A.l.-Gharraf District

A B S T R A C T

This study aims to analyze and model the spatiotemporal changes of vegetation cover in Al-Gharraf District, Thi-Q.ar Governorate, for the period (2016–2026), and to build a predictive model for its spatial distribution for the year 2036 using the CA-Markov model. The study relied on satellite imagery from Landsat 8 (OLI/T.IRS) for two scenes dated 06/04/2016 and 02/04/2026. The Normalized Difference. Vegetation Index (NDVI) was derived and classified into five fixed spatial categories representing levels of vegetation cover density. Processing, analysis, and modeling operations were performed using ArcMap 10.8 and Idrisi Selva software, relying on the Land. Ch.an.ge. Modeler (LCM) tool to analyze changes and. transition matrices, after which the C.A.-Markov model was applied to simulate the future spatial distribution of vegetation cover.

The change analysis results for the period (2016–2026) showed that the total change rate reached (5.10%), with an annual average rate of (0.51%), with spatial dynamics in the distribution of vegetation cover categories despite the net change limitation in total areas. Future simulation results for the year 2036 indicated the continuation of spatial distribution changes across vegetation cover categories, with a positive trend in most categories except for the very weak vegetation cover category. Model accuracy assessment using the Kappa coefficient demonstrated agreement of (0.9086) between the 2026 map and the predicted map for 2036, and (0.7747) between the 2016 map and the predicted map for 2036, while the agreement between the two predictive models reached (0.8302).

.© 2026 EDUJ, College of Education for Humans Sciences, Wasit University

DOI: https://doi.org/10.31185/eduj.Vol65.Iss2.5683

التحليل والنمذجة الخرائطية لتغيرات الغطاء النباتي وبناء نموذج تنبؤي لتوزيعه المكاني المستقبلي باستعمال الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: دراسة تطبيقية في قضاء الغراف

أ.م.د. وسام حمود حاشوش
جامعة ذي قار ـ كلية التربية للعلوم الانسانية

الملخّص

يهدف البحث إلى تحليل ونمذجة التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي في قضاء الغراف بمحافظة ذي قار للمدة (٢٠١٦–٢٠٢٦)، وبناء نموذج تنبؤي لتوزيعه المكاني المستقبلي لعام ٢٠٣٦ باستخدام نموذج CA–Markov. واعتمدت الدراسة على المرئيات الفضائية للقمر الصناعي Landsat 8 (OLI/TIRS) للمشهدين الفضائيين بتاريخي ٢٠١٦/٠٤/٠٦ و٢٠٢٦/٠٤/٠٢، وتم اشتقاق مؤشر الاختلاف النباتي المعياري(NDVI) ، وتصنيفه إلى خمس فئات مكانية ثابتة تمثل مستويات كثافة الغطاء النباتي، ونُفذت عمليات المعالجة والتحليل والنمذجة باستخدام برنامجي ArcMap 10.8 و Idrisi Selva، بالاعتماد على نموذج Land Change Modeler (LCM) لتحليل التغيرات ومصفوفات الانتقال، ثم تطبيق نموذج CA– Markov لمحاكاة التوزيع المكاني المستقبلي للغطاء النباتي .

أظهرت نتائج تحليل التغير للمدة (٢٠١٦–٢٠٢٦) أن نسبة التغير الكلية بلغت (٥.١٠٪)، وبمتوسط سنوي قدره (٠.٥١٪)، مع وجود ديناميكية مكانية في توزيع فئات الغطاء النباتي على الرغم من محدودية التغير الصافي في إجمالي المساحات. واوضحت نتائج المحاكاة المستقبلية لعام ٢٠٣٦ إلى استمرار التغير في التوزيع المكاني لفئات الغطاء النباتي، مع اتجاه إيجابي في معظم الفئات باستثناء فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا. كما أظهر تقييم دقة النماذج باستخدام معامل كابا (Kappa) توافقًا بلغ (٠.٩٠٨٦) بين خريطة عام ٢٠٢٦ والخريطة التنبؤية لعام ٢٠٣٦، و(٠.٧٧٤٧) بين خريطة عام ٢٠١٦ والخريطة التنبؤية لعام ٢٠٣٦، في حين بلغ التوافق بين النموذجين. (٠.٨٣٠٢)

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي، NDVI، الاستشعار عن بعد، نظم المعلومات الجغرافية، النمذجة الخرائطية.

اولاً: المقدمة

النمذجة الخرائطية نوع من أنواع النمذجة المبنية داخل برمجيات نظم المعلومات الجغرافية، ويكون أساسها الخوارزميات الإحصائية، وهي تعتمد على الخطوات التحليلية التي يتبعها الباحث داخل بيئة نظم المعلومات الجغرافية لاشتقاق معلومات حول العلاقات المكانية بين الظواهر الجغرافية والتنبؤ بالنتائج المحتملة (عجرمة وشكري، ٢٠٢٢)، يؤثر الغطاء النباتي على التنوع البيولوجي، وميزانيات المياه والإشعاع، وانبعاثات الغازات الدفيئة، ودورة الكربون، وسبل العيش. وتُعد دراسة الغطاء النباتي وتغيراته أمراً بالغ الأهمية للإدارة البيئية، وتعتبر من اهم الدراسات التي تساهم في استدامة الموارد الطبيعية في ضل النمو المستمر للسكان والضغط المستمر عليها، وان عملية دراسة وتحليل ومراقبة الغطاء النباتي بالطرق التقليدية تحتاج الى وقت وجهد كبيرين من قبل المختصين، وان هذه الطرق تخلت عنها معظم الدول بعد ان برزت أهمية تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في هذا المجال، والتي تعتبر أدوات للبحث القائم على أسلوب علمي تطبيقي، إذ انها تؤدي وظيفة متكاملة في إنجاز التحليل والنمذجة للغطاء النباتي وإخراج خرائط موضوعية دقيقة باقل وقت وجهد وكلفة، وتعتبر عملية إدارة ومعالجة البيانات الكبيرة المكتسبة من المرئيات الفضائية على شكل قواعد

بيانات يمكن الاستفادة منها في دراسات أخرى لاحقة هذا ما تقدمه نظم المعلومات الجغرافية من أثر مهم في عمليات ادارة ومعالجة بيانات الاستشعار عن بعد.

مشكلة البحث:

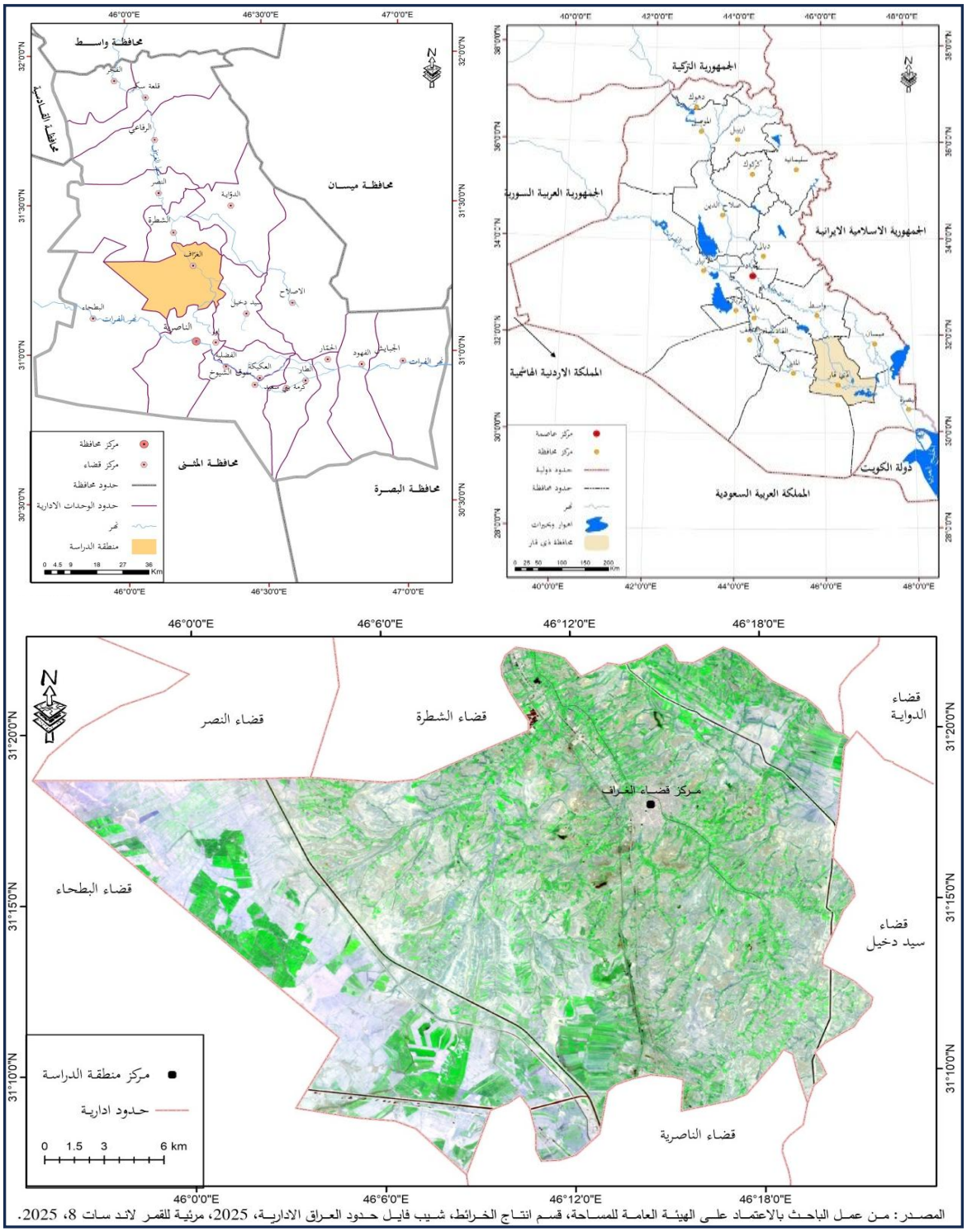
من خلال ظروف الجفاف التي تتعرض لها منطقة الدراسة والتي انعكس أثرها سلبيا على الغطاء النباتي بشكل خاص والموارد الطبيعية بشكل عام ومن هنا يحاول البحث الإجابة على عدت تساؤلات وهي ما حجم التغير المكاني والزماني في الغطاء النباتي في منطقة الدراسة خلال المدة المدروسة، وما هي انسب طريقة لاستخلاص وإدارة ومعالجة المعلومات الخاصة بالغطاء النباتي من المرئيات الفضائية، وهل يمكن بناء نمذج تنبؤي لتوزيعه المكاني المستقبلي.

فرضية البحث:

ان هنالك تغير مكاني وزماني كبيرين في الغطاء النباتي في منطقة الدراسة قضاء الغراف خلال المدة المدروسة، مع إمكانية تكامل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في نمذجة وتحليل وبناء نموذج تنبؤي مستقبلي للغطاء النباتي. تهدف الدراسة الى نمذجة وتحليل تغير الغطاء النباتي مكانيا وزمانيا في منطقة الدراسة للمدة (٢٠١٦-٢٠٢٦)، والتنبؤ المستقبلي به في منطقة الدراسة لعام ٢٠٣٦ باستعمال نموذج CA-Markov.

تقع منطقة الدراسة قضاء الغرّاف مكانياً جنوبي العراق ضمن محافظة ذي قار، وهي تقع في منطقة السهل الرسوبي، يحدها من الشمال قضائي الشطرة والنصر ومن جهة الشرق الدواية وسيد دخيل ومن الجنوب قضاء الناصرية ومن الجهة الغربية قضاء البطحاء، وتقع فلكياً بين دائرتي عرض (٠" ٧ '٣١ °٣١ و"٣٠ '٢٢ °٣١) شمالا، وخطي طول (٠" '٥٥ °٤٥ و"٣٠ '٢١ °٤٦) شرقا، وتتميز بتضاريس منبسطة تتراوح ارتفاعاتها بين (٩-٦ متر) فوق مستوى سطح البحر. وتبلغ مساحتها الإجمالية (٦٦٨) كم٢ بنسبة (٥٪) من مساحة محافظة ذي قار البالغة (١٣٤٦٣.٢٨كم٢) والتي تشكل نسبة (٣,١٪) من مساحة العراق الاجمالية (٤٣٥٠٥٢) كم٢، خريطة (١).

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة من العراق ومحافظة ذي قار



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الهيئة العامة للمساحة، قسم انتاج الخرائط، شيب فايل حدود العراق الادارية، 2025، مرئية للقمر لاند سات 8، 2025.

ثانياً: البيانات والبرامج المستخدمة في البحث

استعملت مجموعة من البيانات والبرامج المناسبة للتعامل معها لغرض خلق بيئة تكاملية بين البيانات والبرامج وذلك لتحقيق اهداف الدراسة وهي كما يلي:

١- **البيانات:** تم الاعتماد على مرئيات القمر (Landsat 8) ذات المتحسس (OLI) و(TIRS) ذات دقة مكانية (١٥و٣٠م) من المصدر USGS على الرابط (https://earthexplorer.usgs.gov/)، بواقع مشهد فضائي واحد بتاريخ ٠٦/٠٤/٢٠١٦، ومشهد ثاني بتاريخ ٠٢/٠٤/٢٠٢٦ (Path 167, Row 38)، تم اختيار شهر نيسان (أبريل) لأن فيه الغطاء الخضري يكون مرتفع نسبياً والمحاصيل الشتوية تكون في مراحل نمو متقدمة، والاعشاب والنباتات الطبيعية تكون أكثر وضوحاً، وهنا تكون قيم NDVI عادة اعلى من بقية الأشهر، وتم اختيار مدة الدراسة ١٠ سنوات حديثة لكي تكون ضمن مستشعر واحد تلافياً الاختلاف المستشعرات بين المدتين، إذ تؤدي الاختلافات في خصائص مستشعرات (Landsat) إلى تباينات في تصنيف استخدامات الأراضي واستخلاص بيانات جودة المياه ومؤشرات الغطاء النباتي (Chen et al., 2019).

٢- البرامج المستخدمة في البحث:

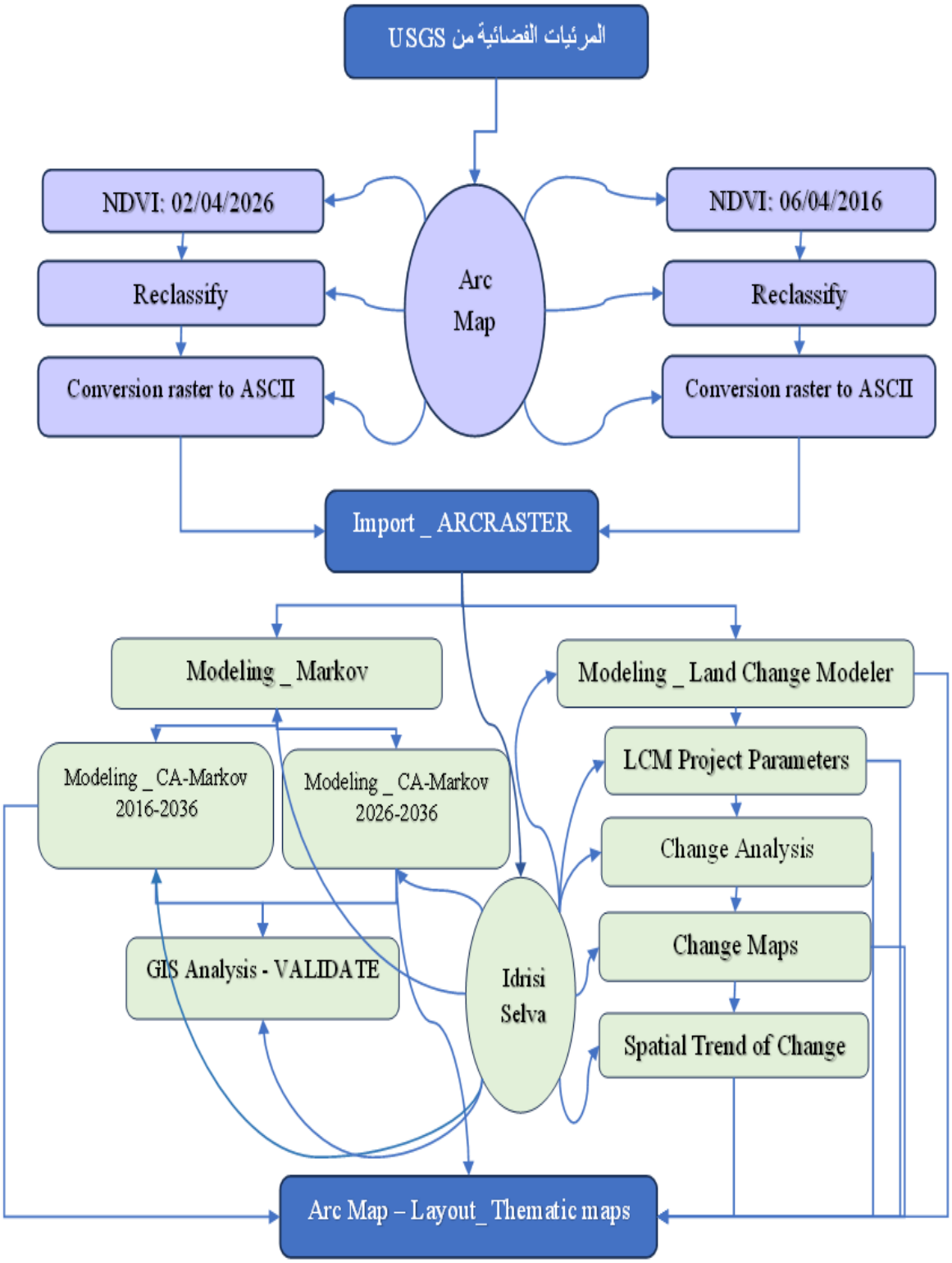
- برنامج ArcMap 10.8 وهو جزءًا من مجموعة Esri ArcGIS Desktop، والتي تُستخدم على نطاق واسع لتطبيقات نظام المعلومات الجغرافية (GIS). يسمح للمستعملين بتصور البيانات المكانية وتحليلها وتفسيرها.

- برنامج إدريسي سلفا (Idrisi Selva) هو برنامج تحليل مكاني جغرافي تم تطويره بواسطة مختبرات Clark في جامعة كلارك. ويستخدم بشكل كبير في تطبيقات علم نظم المعلومات الجغرافية (G IS)، والاستشعار عن بعد، واتخاذ القرارات المكانية. يدعم هذا البرنامج مهام مثل التحليل المكاني ومعالجة الصور والنمذجة وتصور البيانات الجغرافية المكانية.

ثالثاً: منهجية البحث

تضمنت منهجية البحث ست خطوات رئيسة تتمثل الحصول على البيانات الخام المكتسبة من الأقمار الاصطناعية ومن ثم معالجة هذه البينات وتهيئتها في برنامج (ARC map 10.8) ومن ثم تحويلها الى صيغة بيانات يتعرف عليها برنامج (Idrisi Selva) وفيه تتم عمليات نمذجة تغيرات الغطاء النباتي ومن ثم بناء نموذج تنبؤي للتوزيع المكاني المستقبلي وأيضا تقييم دقة هذا الانموذج والخطوة الأخيرة عمليات الإخراج الخرائطي في برنامج (ARC map 10.8)، وكما هي موضحة في المخطط الانسيابي في ادناه مخطط (١)، والذي تم الحفاظ فيه على لغة البرامج المستخدمة من اجل محاكاة خطوات العمل الفعلية للوصول الى النتائج.

مخطط (١) خطوات عملية التحليل والنمذجة الخرائطية لتغيرات الغطاء النباتي وبناء نموذج تنبؤي لتوزيعه المكاني المستقبلي



رابعاً: مؤشر الاختلاف النباتي (NDVI) Normalize Difference vegetation Index

لدراسة الغطاء النباتي عن بُعد في منطقة محددة، أحد المؤشرات الشائعة هو مؤشر اختلاف الغطاء النباتي المعياري (NDVI)، تتراوح قيمه بين −١ و١، وهي تمثل الفرق بين انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وانعكاس الضوء الأحمر مقسومًا على مجموعهما. تشير القيم المنخفضة لمؤشر NDVI عمومًا إلى مناطق جرداء من الصخور أو الرمال أو التربة المكشوفة أو الثلج، بينما تشير القيم المرتفعة إلى غطاء نباتي أكثر اخضرارًا، بما في ذلك الغابات والأراضي الزراعية والأراضي الرطبة. يتم حساب NDVI وفقا للصيغة الآتية (Lillesand, 1987):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

حيث ان:

NDVI = دليل الغطاء النباتي

NIR = نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة وهي اختصار (NEAR−INFRARED)

RED = نطاق الاشعة الحمراء

صُنفت القيم الناتجة من (NDVI) إلى خمس فئات مكانية تمثل مستويات التباين في كثافة الغطاء النباتي ضمن منطقة الدراسة. وقد أُخذ بعين الاعتبار في تحديد الفئات طبيعة القيم الفعلية المسجلة في قضاء الغراف، فضلًا عن المحافظة على حدود تصنيف ثابتة لسنوات الدراسة، وذلك لضمان إمكانية إجراء المقارنة المكانية والزمنية بصورة سليمة، إذ واعتمدت الدراسة على خمس فئات لقيم NDVI، تبدأ بالفئة ذات القيم الأقل من الصفر، والتي تمثل الأسطح غير النباتية أو شبه الخالية من الغطاء النباتي، وتنتهي بالفئة ذات القيم التي تبلغ ٠,٣٠ فأكثر، والتي تمثل المناطق ذات الغطاء النباتي الجيد إلى الكثيف نسبيًا. وقد تم اعتماد الحدود ٠,٠٠، ٠,١٠، ٠,٢٠، ٠,٣٠ فواصل ثابتة بين الفئات، وتم تطبيق التصنيف ذاته خرائط NDVI للأعوام ٢٠١٦ و٢٠٢٦، دون تغيير حدود الفئات بين سنة وأخرى، وذلك للحفاظ على التجانس المنهجي للبيانات وإتاحة تحليل التغير في الغطاء النباتي واستخراج مصفوفات الانتقال بين الفئات باستخدام نموذج ماركوف. يتوافق هذا التصنيف مع طبيعة البيئات الزراعية وشبه الجافة في العراق بحسب مركز الأرصاد الجوية الزراعية العراقية إذ انه يعتمد فئات قريبة.

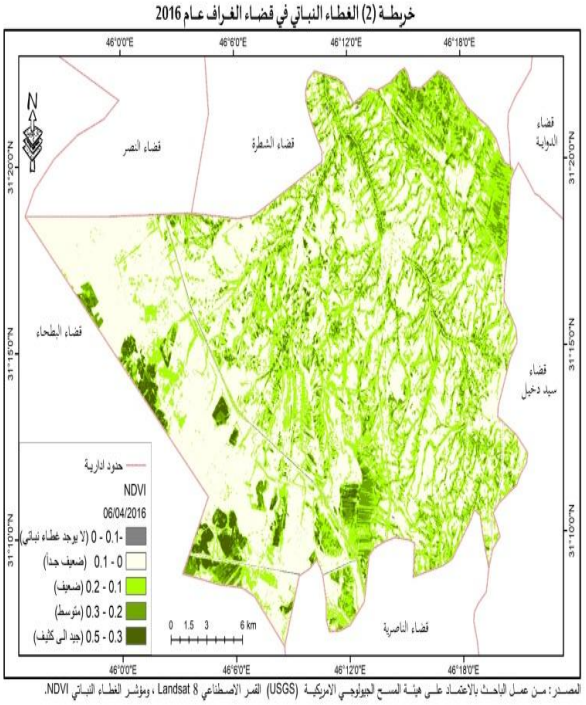
(https://www.agromet.gov.iq/eng/gis.php?utm_source=chatgpt.com)، وهو تصنيف أكثر واقعية للغطاء النباتي في منطقة الدراسة ويتوافق مع القيم (٠,٢-٠,٥) التي تمثل نباتات متناثرة الى متوسطة والقيم الأكثر من ٠,٦ ترتبط بالغطاء النباتي الكثيف، ولأن من اهداف البحث هو الانتقال من NDVI الى مصفوفة انتقال Markov أذا استخدمنا مثلا (٧) فئات سوف يزداد عدد حالات الانتقال الى ٤٩ احتمالاً في المصفوفة (٧*٧)، وقد تصبح بعض الفئات قليلة المساحة مما يجعل تفسير الانتقالات اكثر معقداً، اما في حالة ال (٥) فئات فأنها تعطي (٢٥) حالة انتقال فقط وتكون اكثر وضوحا في التحليل. وهنا يمكن القول ان تصنيف (NDVI) ليس تصنيفا قياسيا إذ انه يتأثر بالموسم والتربة والرطوبة ونوع المحاصيل، بل انه تصنيفاً يعتمد على الحدود المتداولة في ادبيات الاستشعار عن بعد وتكييفها مع خصائص منطقة الدراسة.

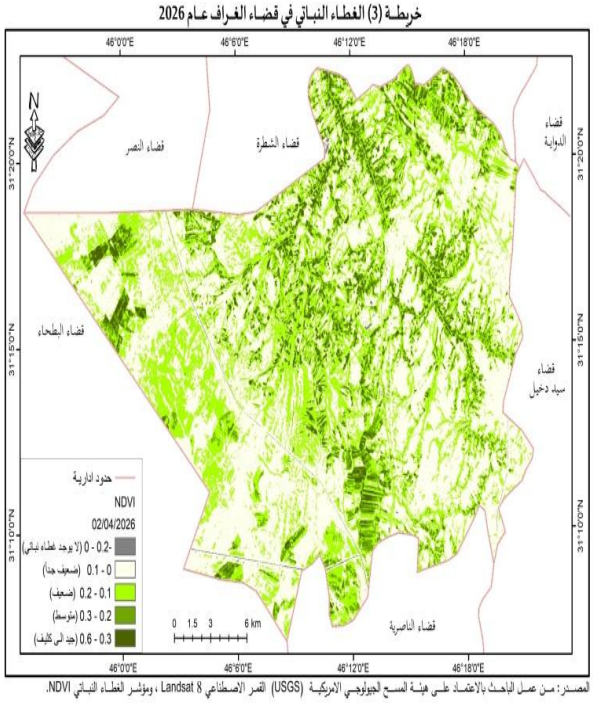
خامساً: تحليل تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦

أظهرت الخرائط (٢ و٣) نتائج تطبيق مؤشر الاختلاف النباتي (NDVI) على المرئيات المستخدمة في الدراسة للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦، وهي توضح بصرياً وباستخدام الفرق المساحي، وعند تحليلهما بالاعتماد على نموذج (LCM) في برنامج Idrisi Selva، تشير نتائج جدول (١) إلى أن الغطاء النباتي في قضاء الغراف منطقة الدراسة خلال المدة (٢٠١٦–٢٠٢٦) شهد تغيرا مساحيا كليا بلغ (٥.١٠٪)، وبمتوسط سنوي قدره (٠,٥١٪)، وهو ما يعكس محدودية التغير

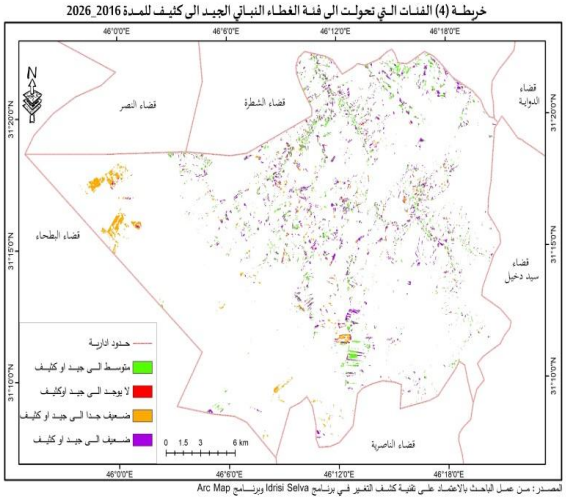
في إجمالي مساحات الفئات عند مقارنته بمساحة منطقة الدراسة البالغة (٦٦٨ كم²). إلا أن محدودية التغير الكلي لا تعني ثبات التوزيع المكاني للغطاء النباتي، إذ أظهرت النتائج تغيرات متفاوتة بين الفئات، إذ ازدادت مساحة الفئة

الخامسة (٠,٣ –٠,٥) بمقدار (١٤,٤٥ كم²)، في مقابل انخفاض مساحة الفئة (٠,١–٠,٢) بمقدار (١٦,٦٥ كم²). ويكشف ذلك عن وجود ديناميكية مكانية في توزيع الغطاء النباتي، تمثلت في إعادة توزيع المساحات بين درجات الكثافة النباتية، وليس مجرد زيادة أو نقصان موحد في الغطاء النباتي، وهذا واضح من خلال التحليل المكاني لخرائط التغير والانتقال بين الفئات الخرائط (٤_٩) وجدول (١) واللذان يشيران ان اعلى انتقال في الغطاء النباتي سجل من الفئة الضعيفة جدا الى الضعيفة بمساحة بلغت (٨٥.٥٣ كم٢)، واقله ، والذي يرتبط بالخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة مثل المناخ والتربة والموارد المائية وغيرها بالإضافة الى استخدامات الأرض والأنشطة البشرية المختلفة فيها.



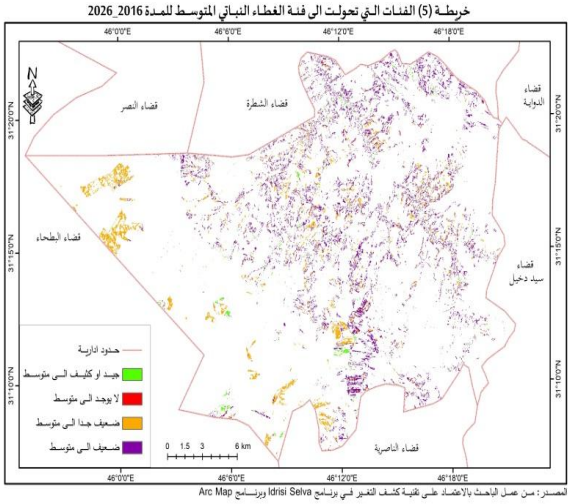


خريطة (4) الفئات التي تحولت الى فئة الغطاء النباتي الجيد الى كثيف للمدة 2016_2026



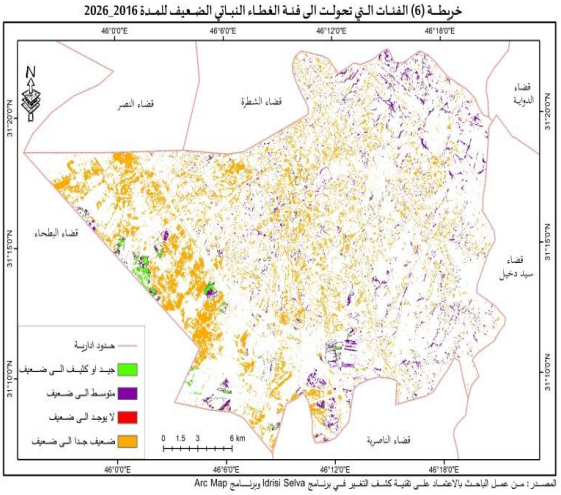
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (5) الفئات التي تحولت الى فئة الغطاء النباتي المتوسط للمدة 2016_2026



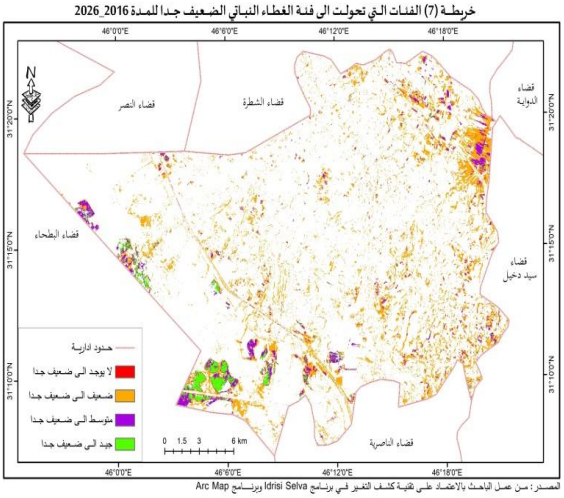
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (6) الفئات التي تحولت الى فئة الغطاء النباتي الضعيف للمدة 2016_2026



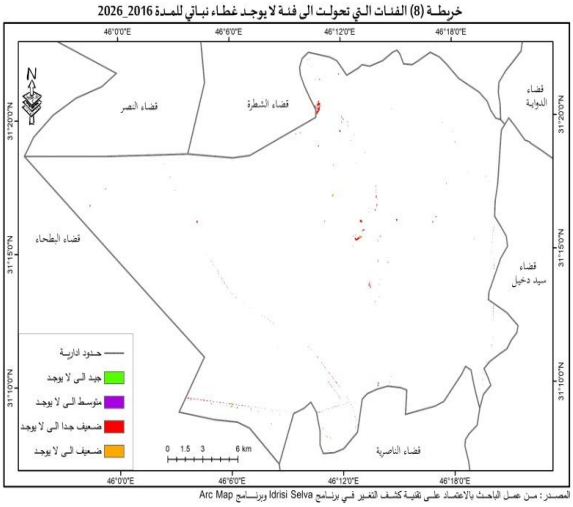
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (7) الفئات التي تحولت الى فئة الغطاء النباتي الضعيف جدا للمدة 2016_2026



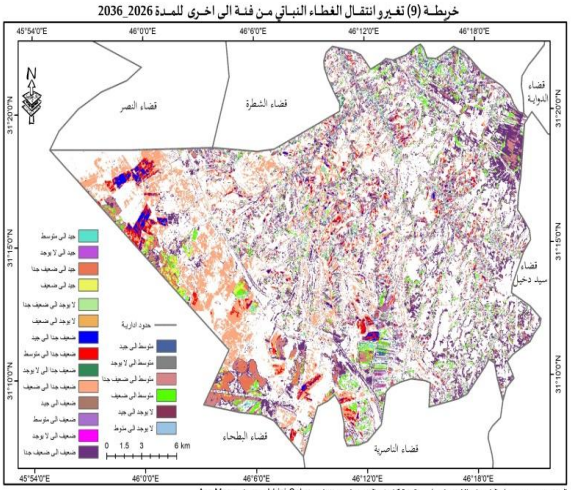
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (8) الفئات التي تحولت الى فئة لا يوجد غطاء نباتي للمدة 2016_2026



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (9) تغيرو انتقال الغطاء النباتي من فئة الى اخرى للمدة 2026_2036



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

جدول (١) مساحات ونسب التغير في فئات الغطاء النباتي في منطقة الدراسة للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦

الفئة	مساحة عام ٢٠١٦ (كم٢)	مساحة عام ٢٠٢٦ (كم٢)	التغير في الفئة	المساحات التي شهدت تغيرا في مصفوفة الانتقال (كم٢)	النسبة %	المساحة التي لم تتغير	مقدار التغير (*)	نسبة التغير لكل فئة % (**)	مجموع صافي التغير المطلق في مساحات الفئات (كم٢)	نسبة التغير الكلية % (***)
٠,٠٠-٠,١ لا يوجد غطاء نباتي	١,٤٤	١,٨٩	من ضعيف جدا	٠,٨	٨٨,٨٩	٠,٩٩	٠,٤٥	٣١,٢٥	٣٤,٠٧	٥,١٠
			من ضعيف	٠,٠٧	٧,٧٨					
			من متوسط	٠,٠١	١,١١					
			من جيد الى كثيف	٠,٠٢	٢,٢٢					
٠,١-٠,٠ ضعيف جداً	٣٧٥,١٦	٣٥٨,٥١	من لا يوجد	٠,٤٣	٠,٤٧	٢٦٦,٦	-١٦,٦٥	-٤,٤٤		
			من ضعيف	٦٩,٧٦	٧٥,٨٧					
			من متوسط	١٤,٨٨	١٦,١٨					
			من جيد الى كثيف	٦,٨٨	٧,٤٨					
٠,٢-٠,١ ضعيف	٢١٣,٩٧	٢١٦,١	من لا يوجد	٠,٠١	٠,٠١	١٠٣,٩٦	٢,١٣	١		
			من ضعيف جدا	٨٥,٥٣	٧٦,٢٣					
			من متوسط	٢١,٦٩	١٩,٣٤					
			من جيد الى كثيف	٤,٩٤	٤,٤١					
٠,٣-٠,٢ متوسط	٦١,٢	٦٠,٨١	من لا يوجد	٠	٠	١٥,٢٤	-٠,٣٩	-٠,٦٤		
			من ضعيف جدا	١٥,٣١	٣٣,٥٩					
			من ضعيف	٢٨,١٧	٦١,٨١					
			من جيد الى كثيف	٢,١	٤,٦١					
٠,٥-٠,٣ جيد الى كثيف	١٦,٢٨	٣٠,٧٣	من لا يوجد	٠	٠,٠٠	٢,٣٤	١٤,٤٥	٨٨,٧٦		
			من ضعيف جدا	٦,٩٧	٢٤,٥٤					
			من ضعيف	١٢,٠٤	٤٢,٣٩					
			من متوسط	٩,٣٩	٣٣,٠٦					
المجموع	٦٦٨	٦٦٨		٢٧٩		٣٨٩				
متوسط نسبة التغير السنوي (كم٢) ****							٠,٥١			

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (LCM) في برنامج Idrisi Selva الخرائط (٤-٩)

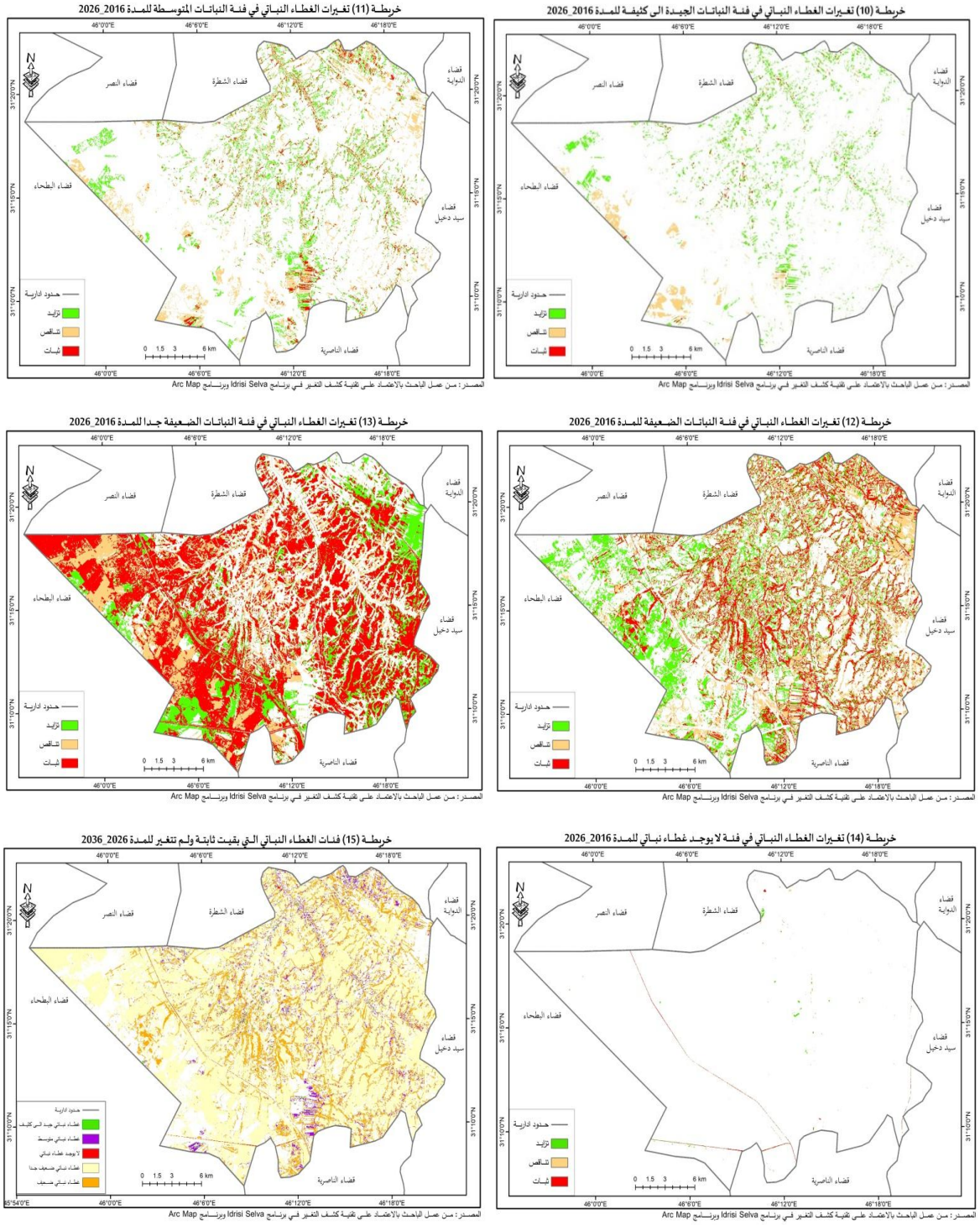
(*) **مقدار التغير** = المساحة الاحدث – المساحة الاقدم.

(**) **نسبة التغير لكل فئة**= المساحة الاحدث – المساحة الاقدم ÷ المساحة الاقدم× ١٠٠.

(***) **نسبة التغير الكلية** = مجموع المساحات المتغيرة لكل الفئات ÷ مساحة منطقة الدراسة × ١٠٠.

(****) **متوسط نسبة التغير السنوي** = مجموع المساحات المتغيرة ÷ عدد السنوات بين المدتين.

ملاحظة: معادلة مقدار التغير ونسبة التغير لكل فئة وفقاً لـ (المحمد، ٢٠١٩، ص.١٢٥)، وتم حساب نسبة التغير الكلية ومتوسط نسبة التغير السنوي بناءً على صيغة (الغزي، ٢٠١٠، ١١٧).

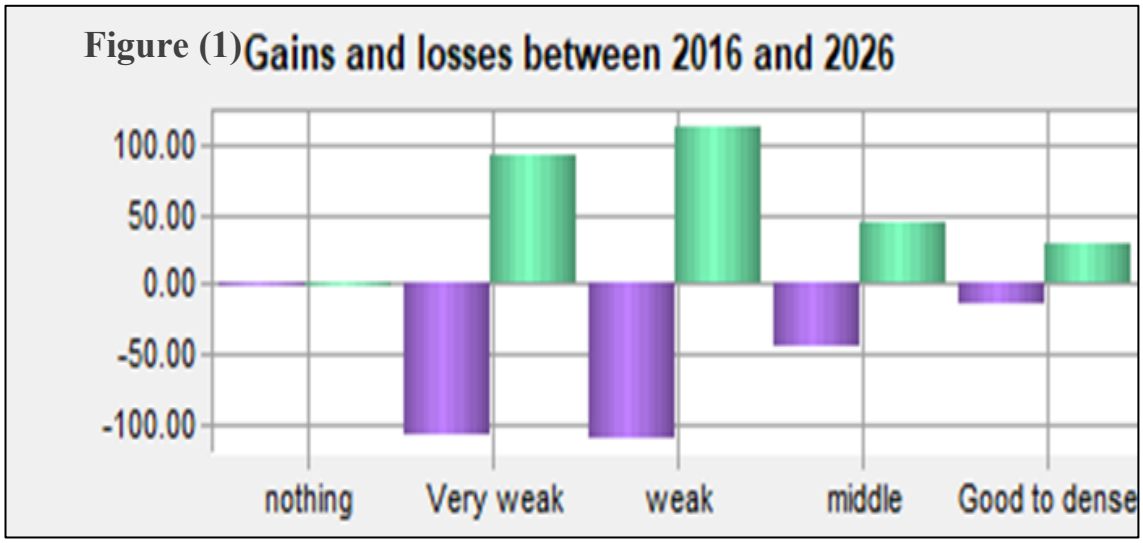


يتبين من الخرائط (١٠_١٥) والشكل (١) والجدول (٢) ان تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة خلال مدة الدراسة ٢٠١٦_٢٠٢٦ من حيث الزيادة والتناقص والثبات يشير الى ان أكبر تغير نحو الزيادة حدث في الفئة الثالثة التي تمثل الغطاء النباتي الضعيف بمساحة بلغت (١١٢.١٨ كم^{٢})، اما أكبر تناقص (خسارة) في الغطاء النباتي فقد حدث بذات الفئة بمساحة بلغت (١١٠.٠٤ كم^{٢}) أي ان هذه الفئة هي المتصدرة بين الفئات الأخرى من حيث الخسارة والربح في الغطاء النباتي لهم، بينما كانت الفئة الثانية التي تمثل الغطاء النباتي الضعيف جدا اكثر الفئات ثباتا ولم تتغير بمساحة بلغت (٢٦٦.٦ كم^{٢}).

جدول (٢) نتائج كشف التغير في الغطاء النباتي للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦

الفئات	المساحة / النسبة المئوية	تزايد	تناقص	ثبات	المجموع
لا يوجد غطاء نباتي	المساحة	٠,٩	٠,٤٥	٠,٩٩	٢,٣٤
	النسبة %	٣٨,٥٩	١٩,٢	٤٢,٢١	١٠٠
غطاء نباتي ضعيف جدا	المساحة	٩١,٩٦	١٠٨,٦٢	٢٦٦,٦	٤٦٧,١٨
	النسبة %	١٩,٦٨	٢٣,٢٥	٥٧,٠٧	١٠٠
غطاء نباتي ضعيف	المساحة	١١٢,١٨	١١٠,٠٤	١٠٣,٩٦	٣٢٦,١٨
	النسبة %	٣٤,٣٩	٣٣,٧٤	٣١,٨٧	١٠٠
غطاء نباتي متوسط	المساحة	٤٥,٥٨	٤٥,٩٧	١٥,٢٤	١٠٦,٧٩
	النسبة %	٤٢,٦٨	٤٣,٠٥	١٤,٢٧	١٠٠
غطاء نباتي جيد الى كثيف	المساحة	٢٨,٤	١٣,٩٤	٢,٣٤	٤٤,٦٨
	النسبة %	٦٣,٥٧	٣١,٢	٥,٢٣	١٠٠

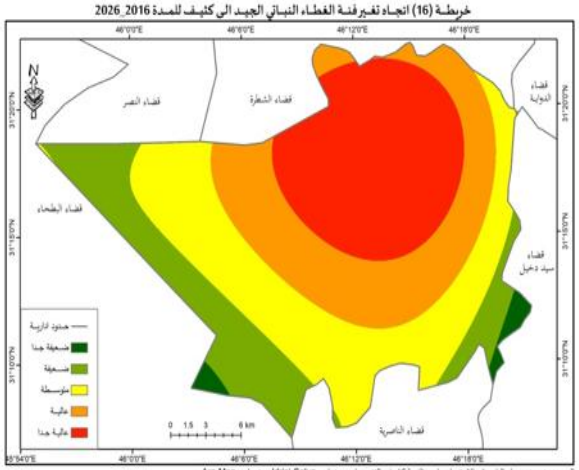
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (LCM) في برنامج Idrisi Selva الخرائط (١٠-١٤)



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (LCM) في برنامج
Idrisi Selva

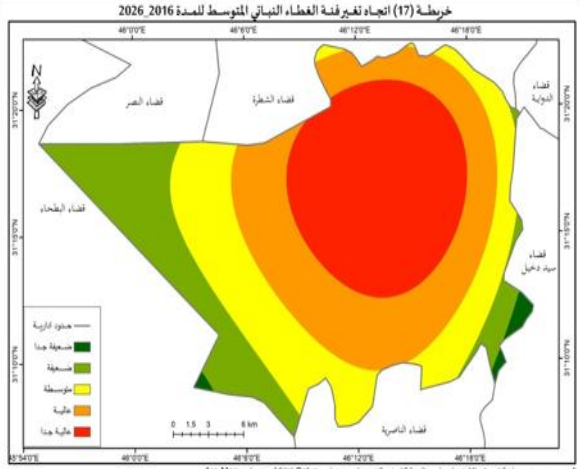
تشير نتائج الخرائط (١٦_٢٠) الخاصة بتحليل اتجاه تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦ ان اعلى اتجاه للتغير في فئة الغطاء النباتي الجيد الى كثيف والفئة متوسطة الغطاء النباتي يتركز في منتصف الجزء الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة وأضعفه يتركز في أجزاء قليلة من الجهة الجنوبية الغربية والشرقية، اما النزعة المكانية لاتجاه تغير الفئة ضعيفة الغطاء النباتي فكان اعلى اتجاه للتغير يتركز في مناطق كبيرة وسط منطقة الدراسة ويقل بالابتعاد عنها خصوصا بالتوجه الى الأجزاء الشرقية، واختلفت الفئة ضعيفة الغطاء النباتي الضعيف جدا في اتجاه تغيرها إذ اخذ اعلى اتجاه للتغير فيها اتجاها نحو الأجزاء الشرقية في منطقة الدراسة وتقل باتجاه الشمال الشرقي، اما فئة لا يوجد غطاء نباتي فأن اعلى اتجاه للتغير فيها تركز في منتصف منطقة الدراسة شمالا وجنوبا وتقل بالاتجاه غرباً وشرقاً.

خريطة (16) اتجاه تغير فئة الغطاء النباتي الجيد الى كثيف للمدة 2016_2026



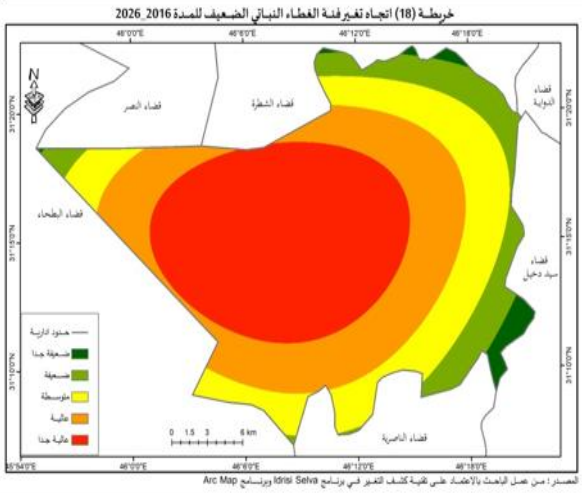
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (17) اتجاه تغير فئة الغطاء النباتي المتوسط للمدة 2016_2026



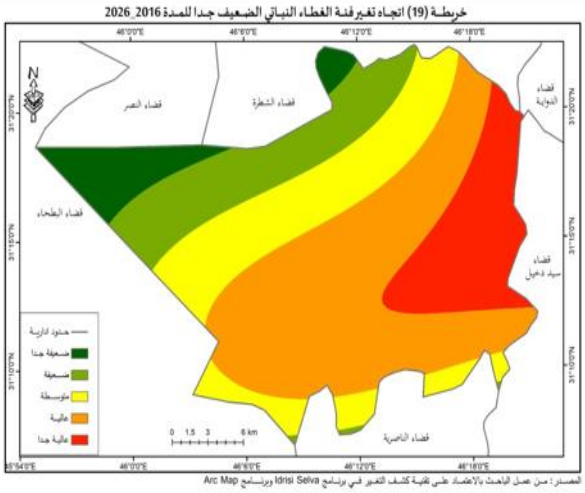
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (18) اتجاه تغير فئة الغطاء النباتي الضعيف للمدة 2016_2026



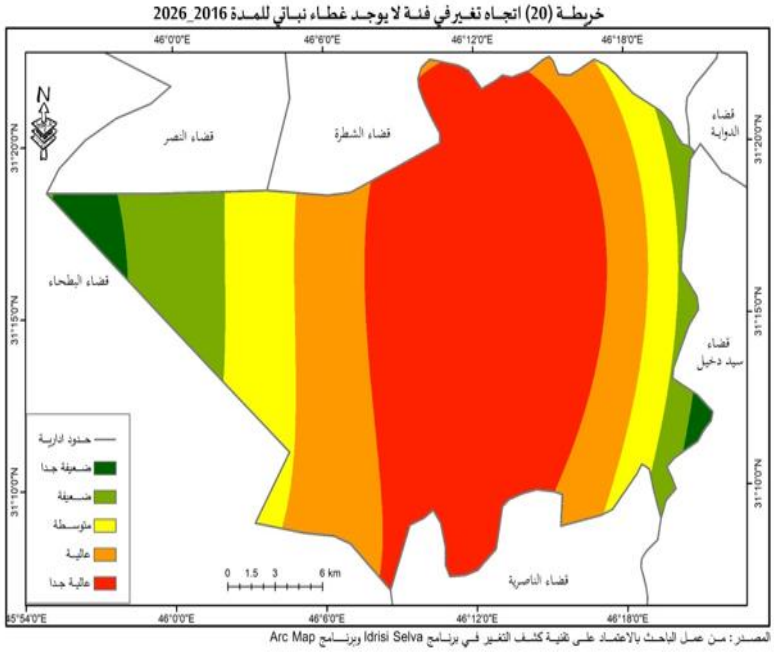
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (19) اتجاه تغير فئة الغطاء النباتي الضعيف جدا للمدة 2016_2026



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

خريطة (20) اتجاه تغير في فئة لا يوجد غطاء نباتي للمدة 2016_2026



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على تقنية كشف التغير في برنامج Idrisi Selva وبرنامج Arc Map

سادساً: التنبؤ بتغير الغطاء النباتي المحتمل باستخدام انموذج CA–Markov

النمذجة المكانية هي عملية تحليلية تهدف الى دراسة ومحاكاة الظواهر الجغرافية لغرض ادارتها وتنميتها، ويعد نموذج CA_MARKOV انموذج هجين للتنبؤ بتغطية الأراضي يجمع بين تقنيات "الأتمتة الخلوية" (Cellular Automata) و"سلاسل ماركوف" (Markov Chain) حيث يضيف هذا الإجراء عنصراً يتمثل في "التجاور المكاني" ومعلومات حول التوزيع المكاني المحتمل لعمليات الانتقال إلى تحليل سلاسل ماركوف، والتي هي عبارة عن سلسلة من المتغيرات العشوائية التي توضع فيها الاحتمالات الانتقالية في مصفوفة تربيعية ابعادها N*N تسمى بالمصفوفة الانتقالية أو مصفوفة ماركوف (Memarian et al., 2012). يتمتع نموذج "CA–Markov" بالقدرة على محاكاة تغييرات الغطاء الأراضي بين فئات متعددة، حيث يجمع بين إجراءات "الآلية الخلوية" (CA) وسلسلة ماركوف (Markov chain) ورغم أن تحليل ماركوف لا يأخذ في الاعتبار أسباب تغيير الغطاء الأراضي ويفتقر إلى الحساسية للمكان (البعد المكاني)، إلا أن نموذج "CA–Markov" – باعتماده نهج الآلية الخلوية (CA) – يتجاوز الافتراضات المرتبطة بنهج ماركوف، ويأخذ في الاعتبار بشكل صريح التغيرات المكانية والزمانية على حد سواء (Agarwal et al., 2002)، تم اختيار نموذج "CA–Markov" لمحاكاة تغيير الغطاء النباتي استناداً إلى المتطلبات التالية: القدرة على المحاكاة الديناميكية، والكفاءة العالية في ظل ندرة البيانات، وسهولة المعايرة، والقدرة على محاكاة أنماط معقدة وأشكال متعددة للغطاء النباتي.

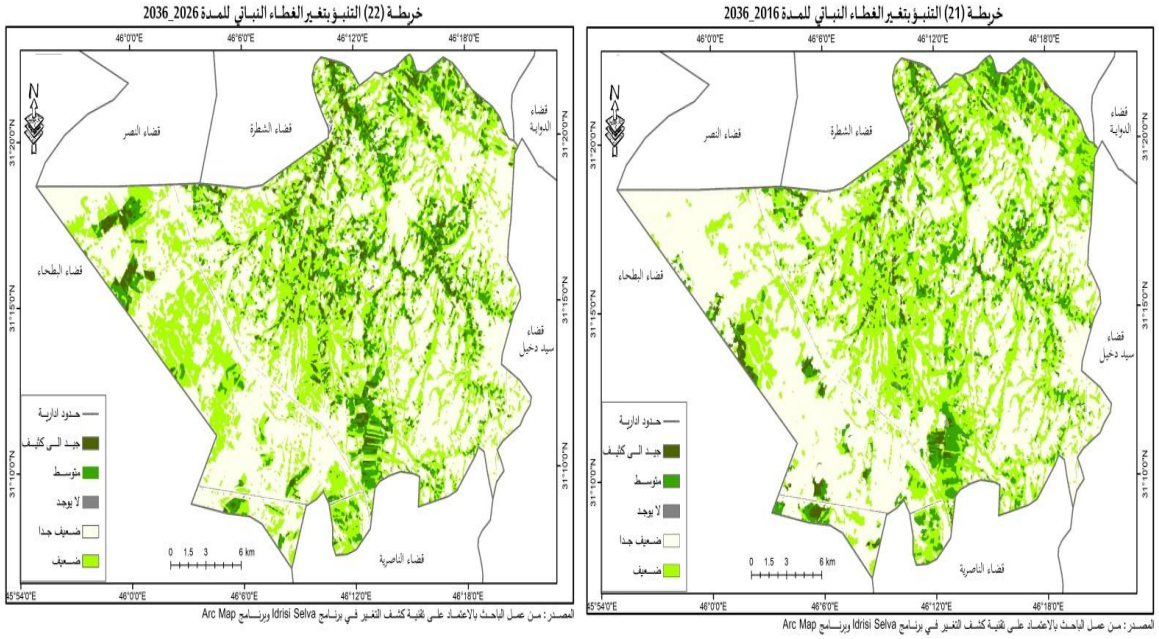
جدول (٣) مصفوفة احتمالية الانتقال (Markov) لتغيرات الغطاء النباتي لعام ٢٠٣٦

الفئة	لا يوجد غطاء نباتي	غطاء نباتي ضعيف جدا	غطاء نباتي ضعيف	غطاء نباتي متوسط	غطاء نباتي جيد الى كثيف
لا يوجد غطاء نباتي	٠,٦٨٧٣	٠,٣٠١٤	٠,٠٠٨٨	٠,٠٠٠٦	٠,٠٠١٩
غطاء نباتي ضعيف جدا	٠,٠٠٢١	٠,٧١٠٥	٠,٢٢٨٠	٠,٠٤٠٨	٠,٠١٨٦
غطاء نباتي ضعيف	٠,٠٠٠٣	٠,٣٢٦٠	٠,٤٨٥٨	٠,١٣١٧	٠,٠٥٦٣
غطاء نباتي متوسط	٠,٠٠٠٢	٠,٢٤٣١	٠,٣٥٤٤	٠,٢٤٨٩	٠,١٥٣٥
غطاء نباتي جيد الى كثيف	٠,٠٠١٣	٠,٤٢٣٠	٠,٣٠٣٦	٠,١٢٨٧	٠,١٤٣٥

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على Markov – Markovion transition estimator في برنامج Idrisi Selva

يتضح من تحليل مصفوفة احتمالية الانتقال لنموذج ماركوف جدول (٣) أن ديناميكية الغطاء النباتي المتوقعة في منطقة الدراسة حتى عام ٢٠٣٦ تتباين بين فئات الغطاء النباتي المختلفة فقد سجلت فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا أعلى احتمالية للاستقرار ضمن الفئة نفسها إذ بلغت (٧١.٠٥٪)، تلتها فئة المناطق الخالية من الغطاء النباتي بنسبة (٦٨.٧٣٪)، في حين بلغت احتمالية استقرار فئة الغطاء النباتي الضعيف (٤٨.٥٨٪)، وانخفضت احتمالية الاستقرار بصورة واضحة في فئتي الغطاء النباتي المتوسط والجيد إلى الكثيف بلغت (٢٤.٨٩٪) و(١٤.٣٥٪) على التوالي. كما توضح المصفوفة أن احتمال انتقال الغطاء النباتي المتوسط نحو الفئات الأقل كثافة بلغ نحو (٥٩.٧٧٪)، في حين ارتفع هذا الاحتمال إلى (٨٥.٦٦٪) بالنسبة للغطاء النباتي الجيد إلى الكثيف، مما يدل إلى احتمالية تعرض أجزاء من المناطق ذات الكثافة النباتية المرتفعة إلى التراجع في مستوى كثافة الغطاء النباتي مستقبلًا، وبلغت احتمالية انتقال المناطق الخالية من الغطاء النباتي نحو فئات نباتية أعلى (٣١.٢٧٪)، مما يوضح وجود إمكانية لتحسن الغطاء النباتي في بعض المواقع. تعكس مصفوفة الانتقال اتجاها مكانيا محتملًا نحو إعادة توزيع كثافة الغطاء النباتي، مع وجود مؤشرات على تراجع بعض

الفئات النباتية الأعلى كثافة مقابل استقرار نسبي للفئات الأقل كثافة، وهو ما سيتم تفسيره مكانيا بالاشتراك مع مخرجات نموذج الأتمتة الخلوية CA وخريطة التنبؤ النهائية لعام ٢٠٣٦. خريطة (٢١) التي اعتبرنا فيها عام ٢٠١٦ أساس للتنبؤ بعام ٢٠٣٦، وخريطة (٢٢) التي تم فيها اعتبار عام ٢٠٢٦ أساس للتنبؤ بالغطاء النباتي عام ٢٠٣٦، ويلاحظ منهما مع جدول (٤):



جدول (٤) مساحة الغطاء النباتي المتوقعة في قضاء الغراف لعام ٢٠٣٦ باعتماد سنتي أساس ٢٠١٦ و٢٠٢٦

الفئة	٢٠١٦_٢٠٣٦		٢٠٢٦_٢٠٣٦		مقدار التغير	مقدار التغير
	المساحة كم٢	النسبة %	المساحة كم٢	النسبة %	٢٠١٦_٢٠٣٦	٢٠١٦_٢٠٣٦
لا يوجد غطاء نباتي	١,٧١	٠,٢٦	١,٩١	٠,٢٩	٠,٢٧	٠,٠٢
غطاء نباتي ضعيف جدا	٣٧٠,٢٤	٥٥,٤١	٣٥٣,٨٣	٥٢,٩٥	- ٤,٩٢	- ٤,٦٨
غطاء نباتي ضعيف	٢١٥,٥١	٣٢,٢٥	٢١٧,٦٨	٣٢,٥٨	١,٥٤	١,٥٨
غطاء نباتي متوسط	٦٢,٥٨	٩,٣٧	٦٢,٢	٩,٣١	١,٣٨	١,٣٩
غطاء نباتي جيد الى كثيف	١٨,١١	٢,٧١	٣٢,٥٩	٤,٨٨	١,٨٣	١,٨٦
المجموع	٦٦٨	١٠٠	٦٦٨	١٠٠	٩,٩٤	٩,٥٣

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (LCM) في برنامج Idrisi Selva الخرائط (٢١-٢٢) وجدول (١).

ان الغطاء النباتي في منطقة الدراسة يتجه نحو التغير الإيجابي في جميع الفئات باستثناء فئة الغطاء النباتي (الضعيف جدا) التي يسير تغيرها سلباً، وعند اجراء مقارنة بين النموذجين الغطاء النباتي عام ٢٠٣٦ باعتبار عام ٢٠١٦ سنة أساس، والغطاء النباتي عام ٢٠٣٦ باعتبار عام ٢٠٢٦ سنة أساس. يلاحظ ان النموذجين متطابقين تقريبا من حيث التوزيع المكاني لفئات الغطاء النباتي في منطقة الدراسة، ومن حيث كميته أيضا، وهذا ما سنتحقق منه.

سابعا: تقييم دقة النماذج

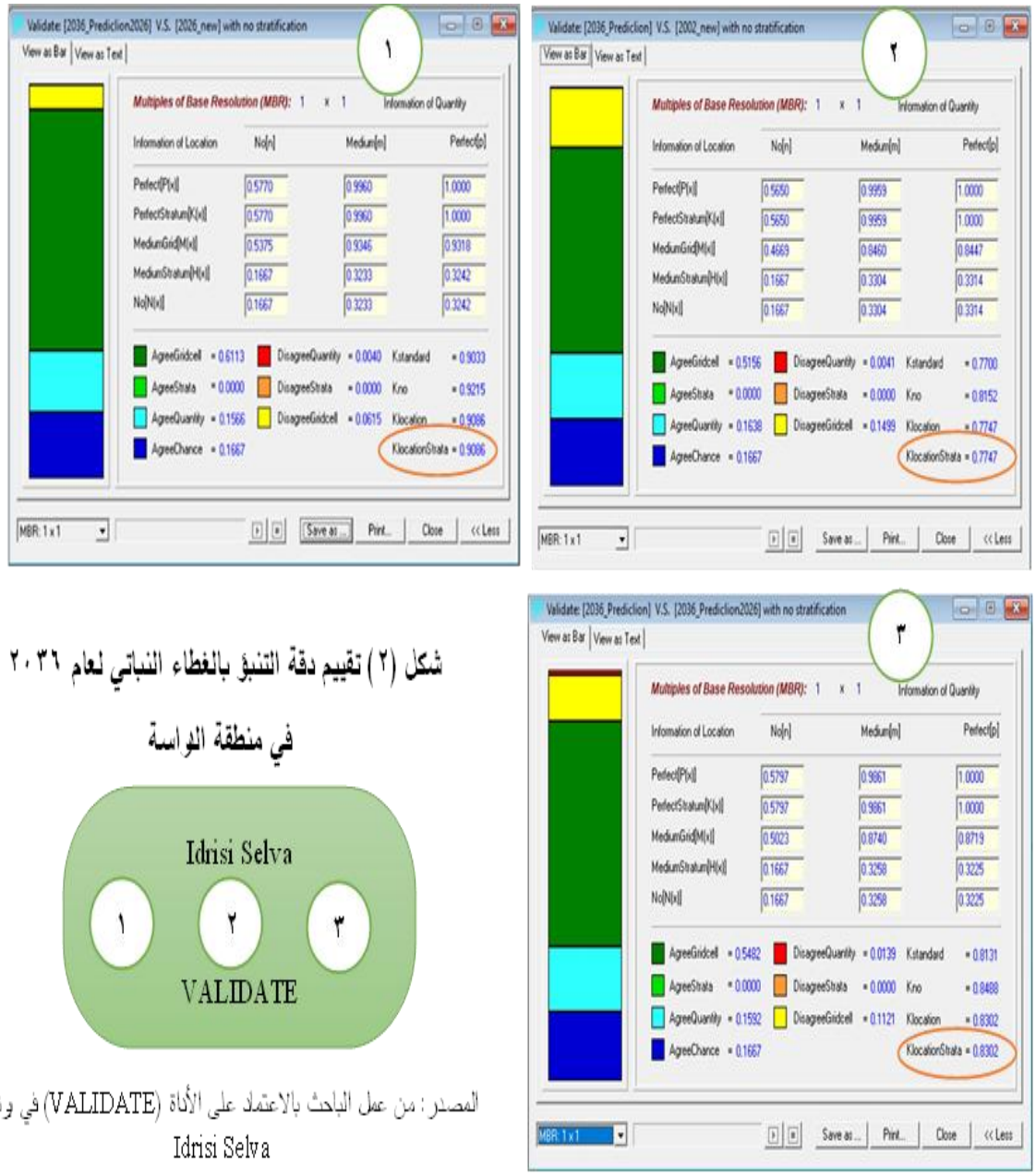
تكمن أهمية التنبؤ والدور المحوري الذي يؤديه في الدراسات الجغرافية والبيئية في مدى دقة النتائج المعتمدة على تطبيق النموذج بشكل صحيح لاستخراج المخرجات النهائية. وتُعد مقارنة نتائج المحاكاة بالخريطة المرجعية—أو قياس معامل الاختلاف كابا Kappa (Araya & Cabral ,. 2010) ، من أبرز الطرق المستخدمة لتقييم كفاءة هذه النماذج. وبناءً على ذلك، جرى تقييم دقة خرائط التنبؤ بالتغيرات المستقبلية من خلال المقارنة البصرية مع خريطة سنة الأساس، بالإضافة إلى حساب معاملي الاختلاف والتوافق لكابا عبر برنامج (Idrisi Selva)؛ إذ يُعد هذا المعامل من أهم المؤشرات المعتمدة في العديد من الدراسات التي تناولت التنبؤ بالغطاء الأرضي باستخدام نموذج (CA–Markov)، نظراً لكونه يقدم ملخصاً ثابتاً للتوافق بناءً على العدد الإجمالي للخلايا، مما يجعله خياراً رئيساً لدى الكثير من الباحثين لتقييم دقة التنبؤ (Wang et al., 2012).

توفر أداة VALIDATE طريقة لقياس مدى التطابق بين صورتين من النوع الفئوي خريطة مقارنة وخريطة أساس، عادة ما تكون الخريطة الاساس ناتجة عن نموذج محاكاة تقارن بالخريطة الأساس التي تمثل الواقع، وتقدم وحدة VALIDATE وضيفة إحصائية مهمة تتمثل بقياس عدد الخلايا في كل خريطة وموقع هذه الخلايا لغرض المقارنة، تقوم VALIDATE بحساب مؤشرات "كابا" (Kappa) المختلفة للتطابق والإحصاءات المرتبطة بها للإجابة عن هذه الأسئلة، وتوضح هذه الإحصاءات مدى تطابق خريطة المقارنة مع الخريطة المرجعية، حيث يُقسّم التحليلُ حالاتِ التطابق وعدم التطابق بين الصورتين إلى المكونات التالية:

- التطابق الناتج عن الصدفة
- التطابق الناتج عن الكمية
- التطابق الناتج عن الموقع على مستوى الطبقات
- التطابق الناتج عن الموقع على مستوى خلية الشبكة
- عدم التطابق الناتج عن الموقع على مستوى خلية الشبكة
- عدم التطابق الناتج عن الموقع على مستوى الطبقات
- عدم التطابق الناتج عن الكمية

وأظهرت نتائج تقييم الدقة شكل (٢) وجود نسبة توافق واختلاف مرتفعة بين خريطة الأساس لعام ٢٠٢٦ والخريطة التنبؤية لعام ٢٠٣٦؛ حيث بلغت الدقة العامة لمعامل كابا (٠.٩٠٨٦) أي بنسبة (٩٠.٨٦٪)، وهي درجة عالية جداً أي توافق شبه تام، وبلغت نسبة التوافق والاختلاف بين خريطة الأساس ٢٠١٦ والخريطة التنبؤية لعام ٢٠٣٦، إذ سجلت الدقة العامة لمعامل كابا (٠.٧٧٤٧) أي بنسبة (٧٧.٤٧٪)، وهو توافق جوهري بحسب تصنيف قيم معامل كابا، وسجلت

هذه النسبة توافق واختلاف عند تقييم دقة النموذجين المتنبئ بهما (٠.٨٣٠٢) أي بنسبة (٨٣.٠٢٪) وهي نسبة تمثل توافق شبه تام ايضاً، هذا يؤكد أن عملية التنبؤ قد تمت بكفاءة الدقة.



شكل (٢) تقييم دقة التنبؤ بالغطاء النباتي لعام ٢٠٣٦ في منطقة الواسة

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الأداة (VALIDATE) في برنامج Idrisi Selva

تمثل المتغيرات الافقية (y) ثلاثة مستويات محتملة لمعلومات الكمية: n تعني عدم توفر معلومات، وm تعني معلومات متوسطة، وp تعني معلومات تامة. وتشير المتغيرات العمودية (x) المرموز لها بحرف كبير إلى واحد من خمسة مستويات محتملة لمعلومات الموقع: N(x) تعني عدم توفر معلومات، وH(x) تعني معلومات متوسطة على مستوى الطبقة (stratum)، وM(x) تعني معلومات متوسطة على مستوى خلية الشبكة، وK(x) تعني معلومات تامة على مستوى خلية الشبكة مع توفر معلومات غير تامة على مستوى الطبقة، وP(x) تعني معلومات تامة على مستوى خلية الشبكة عبر المشهد بأكمله، وفيما يلي تفصيل ذلك (Eastman, 2012; Pontius & Suedmeyer, 2004):

١- يُشير N(n) إلى درجة التطابق الناجمة عن الصدفة، وهي درجة التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة تكون فيها قيمة الانتماء لكل فئة في كل خلية شبكة مساوية لـ J/١، حيث يمثل J العدد الإجمالي للفئات في التحليل إذا أظهرت الخريطة المرجعية أن كل خلية تنتمي إلى فئة واحدة فقط عند مستوى دقة البيانات الخام، فإن درجة التطابق N(n) تكون مساوية لـ J/١ عند مستوى الدقة هذا؛ لأن كل خلية تكون صحيحة بنسبة J/١. ويكافئ مستوى التطابق هذا درجة التطابق المتوقعة بين الخريطة المرجعية وخريطة يتم فيها تعيين كل خلية شبكة خام لإحدى الفئات J باحتمالية قدرها J /١.

٢- يوضح N(m) درجة التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة تتميز بتوزيع m بين الفئات المختلفة في كل خلية، حيث يرمز m إلى متجه توزيع الفئات في خريطة المقارنة. ويكافئ N(m) درجة التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة مقارنة معدّلة، حيث يتمثل التعديل في توزيع مواقع الخلايا الخام عشوائياً داخل خريطة المقارنة.

٣- يبين H(m) درجة التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة مقارنة معدّلة، حيث يتمثل التعديل في توزيع مواقع الخلايا عشوائياً داخل كل طبقة (stratum) من طبقات خريطة المقارنة. وعندما يؤدي التعديل إلى توزيع مواقع خلايا الشبكة عشوائياً، تظل كل خلية داخل طبقتها (أي لا تنتقل أي خلية شبكة عبر حدود الطبقات).

٤- يمثل M(m) التشابه بين الخريطة المرجعية وخريطة المقارنة غير المعدّلة. وهو يعبر عن نسبة خلايا الشبكة المصنفة بشكل صحيح، ويُعد المقياس الأكثر شيوعاً لقياس التطابق بين الخرائط. ومع ذلك، فإن تفسير M(m) ينطوي على صعوبة؛ نظراً لأن نسبة كبيرة –بشكل يثير الدهشة– من المشهد الطبيعي قد تكون صحيحة بمحض الصدفة. علاوة على ذلك، يخلط M(m) بين التطابق الناجم عن الكمية والتطابق الناجم عن الموقع.

٥- يعرض K(m) درجة التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة مقارنة معدّلة؛ حيث يتمثل التعديل في إعادة ترتيب مواقع الخلايا –بأفضل صورة ممكنة– داخل كل طبقة (stratum) من طبقات خريطة المقارنة، وذلك بهدف تعظيم التطابق بين خريطة المقارنة المعدّلة والخريطة المرجعية. وتعتمد طريقة التعديل هذه على تبديل مواقع خلايا الشبكة، مع الالتزام بقيد بقاء كل خلية داخل طبقتها (أي عدم انتقال أي خلية عبر حدود الطبقات).

٦- يعرض P(m) قيمة التماثل بين الخريطة المرجعية وخريطة مقارنة معدّلة؛ حيث يتمثل التعديل في إعادة ترتيب مواقع الخلايا –بأفضل صورة ممكنة– في خريطة المقارنة بأكملها، وذلك بهدف تعظيم التطابق بين خريطة المقارنة المعدّلة والخريطة المرجعية. وتعتمد طريقة التعديل هذه على تبديل مواقع خلايا الشبكة في أي مكان داخل خريطة المقارنة (أي يُسمح بإعادة ترتيب مواقع الخلايا عبر حدود الطبقات). ومن ثم، تكون قيمة P(m) مساوية لـ ١ إذا وفقط إذا كان توزيع النسب m في خريطة المقارنة مطابقاً لتوزيع النسب p في الخريطة المرجعية.

٧- يؤكد P(p) التطابق التام، وهو التطابق بين الخريطة المرجعية وخريطة تمتلك معلومات دقيقة وتامة عن كل من الكمية والموقع. ولذلك، تكون قيمة P(p) دائماً مساوية لـ ١.

ثامناً: الاستنتاجات

١- أكد البحث على أهمية تكامل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في نمذجة وتحليل الغطاء النباتي في منطقة الدراسة للمدة ٢٠١٦_٢٠٢٦، كونهما أدوات تمكن الوصول الى ادق النتائج بأقصر الطرق واقل تكلفة.

٢- نستنتج من البحث أهمية طريقة الفرق المساحي في الكشف عن تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة واستنتاج خرائط هذا التغير، وفي المقابل، قصور طريقة النظام الخلوي، إذ تبين بالتجربة ان البرنامج يعامل مع الخلية الصورية بعمومية في حين انها قد تحتوي أكثر من صنف.

٣- تبين من خلال عملية الكشف عن التغير في برنامج (Idrisi Selva) محدودية التغير الصافي في إجمالي مساحات الفئات عند مقارنته بمساحة منطقة الدراسة البالغة (٦٦٨ كم²). إلا أن محدودية التغير الكلي لا تعني ثبات التوزيع المكاني للغطاء النباتي، إذ أظهرت النتائج تغيرات متفاوتة بين الفئات.

٤- اتضح من البحث أن هنالك نماذج عدة عالمية معتمدة تستخدم للتنبؤ المستقبلي مثل PLUS & FLUS& (CLUE) وغيرها، لكن أهمها في بحثنا هو ما اعتمدنا عليه نموذج CA_MARKOV الهجين للتنبؤ بتغطية الأراضي الذي يجمع بين تقنيات "الأتمتة الخلوية" (Cellular Automata) و"سلاسل ماركوف" (Markov Ch ain) حيث يضيف هذا الإجراء عنصراً يتمثل في "التجاور المكاني" ومعلومات حول التوزيع المكاني المحتمل لعمليات الانتقال إلى تحليل سلاسل ماركوف.

٥- نستنتج أيضا من خلال خرائط التنبؤ بالغطاء النباتي لعام ٢٠٣٦ ان تغير الغطاء النباتي يأخذ اتجاه إيجابي باستثناء فئة أراضي الغطاء النباتي الضعيف جدا، وان دقة هذا التنبؤ تسجل توافق جوهي وتوافق شبه تام.

تاسعاً: التوصيات

١- الاعتماد على التقنيات الحديثة في الجغرافيا (GIS&RS)، وربطها بخوارزميات الاتمتة الخلوية لرفع دقة رصد وتحليل والتنبؤ بالتغيرات المكانية.

٢- تفعيل خطط استراتيجية لاستثمار الأراضي في فئة الغطاء النباتي الضعيف جدا عبر مشاريع التنمية المستدامة والتشجير للحد من ظاهرة التصحر.

٣- استحداث مؤسسة متخصصة لرصد التغيرات البيئية، يعتمد على التقنيات السحابية (Cloud Computing مثل Google Earth Engine) لتقديم تحليلات لحظية وأنظمة إنذار مبكر تحت إشراف أكاديمي وحكومي مشترك.

٤- الاستفادة من قاعدة البيانات لبناء نماذج تنبؤية قائمة على الاحتمالات وسيناريوهات التغير المناخي والنمو السكاني، مع الأخذ بالاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية المؤثرة لتوفير نماذج تنبؤية مستقبلية تدعم صناعة القرار.

٥- اعتماد نماذج محاكات حديثة مثل CA–Markov، لكونها توفر دقة عالية في التنبؤ بالغطاء النباتي بشكل خاص والاغطية الأرضية بشكل عام والتغيرات البيئية ومحاكاة السيناريوهات المستقبليّة الأقرب للواقع.

قائمة المصادر:

١- عجرمة، أشرف عبده علي، وشكري نرمين أحمد محمد خليل. (٢٠٢٢). أساليب الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد بين النظرية والتطبيق. *المجلة العربية لتكنولوجيا المعلومات والبيانات، ٢(٢)*، ٩٣-١١٨.

٢- الغزي، حسن سوادي نجيبان. (٢٠١٠). تغيرات الغطاء الأرضي لمنطقة هور الحمار للمدة (١٩٧٣_٢٠٠٨) باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد [اطروحة دكتوراه غير منشورة]. جامعة البصرة، كلية التربية.

٣- المحمد، هيفاء أحمد محمد. (٢٠١٩). التغيرات في أنماط استعمالات الأراضي والغطاء النباتي في حوض وادي العرب "منطقة ما بعد بحيرة السد" باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية [اطروحة دكتوراه غير منشورة]. الجامعة الأردنية. قاعدة بيانات Dissertations.

4- Araya, Y. H., & Cabral, P. (2010). Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal. Remote Sensing, 2(6), 1549–1563. https://doi.org/10.3390/rs2061549

5- C. Agarwal, G. M. Green, J. M. Grove, T. P. Evans and C. M. Schweik. (2002). "A Review and Assessment of Land-Use Change Models: Dynamics of Space, Time, and Human Choice," Northeastern Research Station, USDA Forest Service, Delaware.

6- Chen, F., Lou, S., Fan, Q., Wang, C., Claverie, M., Wang, C., & Li, J. (2019). Normalized difference vegetation index continuity of the Landsat 4–5 MSS and TM: Investigations based on simulation. Remote Sensing, 11(14), Article 1681. https://doi.org/10.3390/rs11141681.

7- Eastman, J. R. (2012). IDRISI Selva Manual / Guide to Geographic Information and Image Processing. Clark University (Clark Labs).

8- Lillesand, T. M. and R. W. Keifer. (1987). Remote sensing image interpretation. 2th ed., Johen Wiley and Sons Co. New York.

9- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J. B., Sung, C. T. B., Sood, A. M., & Abbaspour, K. (2012). Validation of CA-Markov for simulation of land use and cover change in the Langat Basin, Malaysia. Journal of Geographic Information System, 4(6), 542–554. https://doi.org/10.4236/jgis.2012.46059

10- Pontius, R. G., Jr., & Suedmeyer, B. (2004). Components of agreement between categorical maps at multiple resolutions. In R. S. Lunetta & J. G. Lyon (Eds.), Remote Sensing and GIS Accuracy Assessment (pp. 233–251). CRC Press.

11- Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X. B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model. Procedia Environmental Sciences, 13, 1238–1245. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.117