النمذجة المكانية–الزمانية لاستجابة الغطاء النباتي للتغيرات المناخية والجفاف باستخدام الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس (MGWR): دراسة تطبيقية لناحية قسروك للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

أ.م.د. علي سليمان ارزيك الكربولي
المديرية العامة لتربية الانبار
الانبار /العراق
alisu8720@gmail.com

م.م حنين حارث احمد جبر
الجامعة العراقية/ كلية الاداب/قسم الجغرافيا
بغداد /العراق
haneen.h.ahmed@aliraqia.edu.iq

الكلمات المفتاحية: التغير الزماني، التباين المكاني، الغطاء النباتي، الجفاف، (PDSI، MGWR).

كيفية اقتباس البحث

الكربولي، علي سليمان ارزيك، حنين حارث احمد جبر ، النمذجة المكانية–الزمانية لاستجابة الغطاء النباتي للتغيرات المناخية والجفاف باستخدام الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس (MGWR): دراسة تطبيقية لناحية قسروك للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)،مجلة مركز بابل للدراسات الانسانية، تشرين الثاني ٢٠٢٦، المجلد:١٦ ،العدد:١١ .

هذا البحث من نوع الوصول المفتوح مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي لحقوق التأليف والنشر (Creative Commons Attribution) تتيح فقط للآخرين تحميل البحث ومشاركته مع الآخرين بشرط نَسب العمل الأصلي للمؤلف، ودون القيام بأي تعديل أو استخدامه لأغراض تجارية.

مفهرسة في Indexed
IASJ

مسجلة في Registered
ROAD

Spatiotemporal Modeling of Vegetation Response to Climate Change and Drought Using Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR): An Applied Study of Qasrok Subdistrict for the Period 2000–2025

Asst. Prof. Dr. Ali Sulaiman Arzik Al-Karbouli
General Directorate of Education in Anbar Anbar / Iraq

Haneen Harith Ahmed Jabr (Assistant Lecturer)
Al-Iraqia University / College of Arts / Department of Geography
Baghdad / Iraq

Keywords : Temporal Change, Spatial Variation, Vegetation Cover, Drought, PDSI, MGWR.

How To Cite This Article
Al-Karbouli, Ali Sulaiman Arzik, Haneen Harith Ahmed Jabr, Spatiotemporal Modeling of Vegetation Response to Climate Change and Drought Using Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR): An Applied Study of Qasrok Subdistrict for the Period 2000–2025,Journal Of Babylon Center For Humanities Studies, November 2026,Volume:16,Issue 11.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Abstract

The two researchers aim to investigate the nature of the spatial and temporal variation in vegetation response to climatic and environmental factors in Qasrok Subdistrict, Shekhan District, Duhok Governorate, during the period 2000–2025. The study identifies the nature of the relationships between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and rainfall, temperature, the Palmer Drought Severity Index (PDSI), the Normalized Difference Moisture Index (NDMI), and elevation. It also examines changes in the direction, strength, and spatial scales of these relationships between the two study periods. The analysis is based on remote sensing data, climatic data, and a Digital Elevation

Model (DEM). A total of 340 fixed spatial locations were used for the analysis, with Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) employed as the principal model to identify the spatial variations in the relationships between vegetation cover and the explanatory factors.

The results showed that the spatial mean of the NDVI increased from 0.366 in 2000 to 0.429 in 2025. The mean NDMI increased from 0.093 to 0.121, while the mean temperature increased from 16.45°C to 19.38°C. In contrast, the mean rainfall decreased from 220.23 mm to 213.13 mm. The MGWR model demonstrated improved explanatory performance, with the coefficient of determination (R^2) increasing from 0.913 in the OLS model to 0.931 in 2000, and from 0.923 to 0.951 in 2025. The model also revealed clear differences in the spatial scales of the relationships and their changes between the two periods. NDMI was the most stable variable in terms of the direction of its effect and spatial significance, whereas rainfall and elevation exhibited greater changes. The sign of the rainfall coefficient changed at 219 locations, while the sign of the elevation coefficient changed at 312 locations. Temperature maintained a negative relationship, whereas both PDSI and NDMI maintained positive relationships with vegetation cover.

المستخلص:

يروم الباحثان الكشف عن طبيعة التباين المكاني والزماني لاستجابة الغطاء النباتي للعوامل المناخية والبيئية في ناحية قسروك التابعة لقضاء شيخان في محافظة دهوك خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، عن طريق تحديد طبيعة العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) وكل من التساقط المطري ودرجة الحرارة ومؤشر الجفاف (PDSI) ومؤشر رطوبة الغطاء النباتي (NDMI) والارتفاع، وبيان مدى تغير اتجاه هذه العلاقات وقوتها ومقاييسها المكانية بين فترتي البحث معتمدين بيانات الاستشعار عن بعد والبيانات المناخية ونموذج الارتفاع الرقمي، واستخدما (٣٤٠) موقعا مكانيا ثابتا للتحليل، الجغرافي الموزون متعدد المقاييس (MGWR) بوصفه النموذج الرئيس للكشف عن طبيعة الاختلافات المكانية في العلاقات بين الغطاء النباتي والعوامل المفسرة.

أظهرت النتائج ارتفاع المتوسط المكاني لمؤشر (NDVI) من (٠,٣٦٦) في عام (٢٠٠٠) إلى (٠,٤٢٩) في عام (٢٠٢٥)، وارتفع متوسط (NDMI) من (٠,٠٩٣–٠,١٢١)، وارتفع متوسط درجة الحرارة من (١٦,٤٥– ١٩,٣٨م) في حين انخفض متوسط التساقط المطري من (٢٢٠,٢٣–٢١٣,١٣) ملم وكشف نموذج (MGWR) عن تحسن القدرة التفسيرية، إذ ارتفعت قيمة (R^2) من (٠,٩١٣) في نموذج (OLS) إلى (٠,٩٣١) في عام (٢٠٠٠)، ومن

(٠,٩٢٣) إلى (٠,٩٥١) في عام (٢٠٢٥)، كما أظهر اختلافا واضحا في المقاييس المكانية للعلاقات وتغيرها بين الفترتين وكان (NDMI) أكثر المتغيرات استقرارا من حيث اتجاه التأثير والدلالة المكانية، في حين شهدت علاقتا التساقط المطري والارتفاع تغيرا أكبر، إذ تغيرت إشارة معامل التساقط المطري في (٢١٩) موقعا، وتغيرت إشارة معامل الارتفاع في (٣١٢) موقعا، بينما حافظت درجة الحرارة على اتجاه سالب، وحافظ (PDSI) و(NDMI) على اتجاه موجب.

اولا: المقدمة:

يعد الغطاء النباتي من المكونات الأساسية للنظم البيئية، وتتأثر حالته بتغير الظروف المناخية وتوافر المياه، مما يمثل بجعله مؤشر مهم لبيان التحولات التي تطرأ على البيئة، وتزداد أهمية رصده في المناطق التي تتباين فيها الأمطار ودرجات الحرارة وتتكرر فيها فترات الجفاف، وقد أتاح الاستشعار عن بعد إمكانية متابعة الغطاء النباتي مكانيا وزمنيا من خلال المؤشرات الطيفية، وفي مقدمتها مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) للكشف عن التغير في حالة الغطاء النباتي ومتابعة تدهوره خلال الفترات الزمنية المختلفة (خليل، ٢٠٢٢: ٢٨١) ويرتبط تغير الغطاء النباتي بصورة وثيقة بالظروف المناخية السائدة لاسيما التساقط المطري ودرجة الحرارة، فتغير كمية الأمطار وتوزيعها يؤثر في المياه المتاحة للنبات في حين ترتبط درجة الحرارة بمعدلات فقدان المياه والظروف الملائمة للنمو لكون ان الجفاف يمثل جانبا مهما من جوانب الضغط البيئي على الغطاء النباتي فاستمرار تناقص المياه المتاحة يؤدي إلى تراجع قدرة النبات على المحافظة على نشاطه ونموه، فموجات الجفاف لها أثر واضح في تدهور الغطاء النباتي وانحساره، تغير الغطاء النباتي للكشف عن درجة تأثره بالظروف المائية والمناخية، مما يجعل دراسة الجفاف ضمن تحليل استجابة الغطاء النباتي أمرا مهم في البيئات المتأثرة بالتذبذب المناخي ويمكن الاستدلال عليه باستخدام مؤشر الاختلاف الطبيعي للرطوبة (NDMI)، مما يوفر أساسا لإدخال رطوبة الغطاء النباتي ضمن تفسير التغير في الغطاء النباتي ويضاف إلى العوامل المناخية والمائية تأثير الخصائص الطبوغرافية، إذ يمكن لاختلاف الارتفاع أن يرتبط بتباين الحرارة والرطوبة والتصريف، مما يؤدي إلى اختلاف البيئة الملائمة للنمو النباتي من موقع إلى آخر داخل المنطقة نفسها، لا سيما في المناطق التي تتميز بتباين تضاريسي واضح (الكربولي، ٢٠٢٦: ٢٤١) وتشير هذه العلاقات مجتمعة إلى أن استجابة الغطاء النباتي للعوامل المناخية والبيئية والتضاريسية قد لا تكون متجانسة مكانيا فقد يختلف اتجاه العلاقة أو قوتها من موقع إلى آخر مما يعني أن العلاقة العامة على مستوى منطقة البحث قد لا تعكس بالضرورة ما يحدث في كل جزء منها، الا ان تطوير نموذج الانحدار الجغرافي

الموزون متعدد المقاييس (MGWR) مكن من تمثيل العلاقات المكانية ذات المقاييس المختلفة ولكل متغير بنطاق مكاني مستقل كاشفا طبيعة الاختلاف في العلاقات المكانية (Fotheringham et al:2017)

ومن هنا يتجه البحث إلى معرفة طبيعة التغير الحاصل في حالة الغطاء النباتي في ناحية قسروك خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، ليس من خلال قياس مقدار التغير في (NDVI) فقط، وإنما من خلال بحث استجابته للتساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف ورطوبة الغطاء النباتي والارتفاع، مع التركيز على التباين المكاني لهذه العلاقات والتغير الذي يمكن أن تكون قد شهدته خلال مدة البحث

١.مشكلة البحث: أن الدراسات التي تناولت تغير الغطاء النباتي في العراق ركزت بدرجة كبيرة على قياس التغير في قيم (NDVI) وربطه بالأمطار ودرجات الحرارة وحالات الجفاف، في حين لم تحظ طبيعة التباين المكاني في هذه العلاقات بالقدر نفسه من الاهتمام، فارتفاع أو انخفاض قيمة (NDVI) لا يبين بالضرورة ما إذا كانت العوامل المؤثرة في الغطاء النباتي تؤدي الدور نفسه في جميع المواقع، كما أن العلاقة العامة على مستوى منطقة البحث قد تخفي اختلاف قوة التأثير أو اتجاهه من موقع إلى آخر، ولا توضح ما إذا كانت هذه العلاقات قد تغيرت بين الفترات الزمنية المختلفة وتزداد أهمية هذه المشكلة في ناحية قسروك، بسبب التباين المكاني في الارتفاع والظروف البيئية، وما قد يترتب عليه من اختلاف في استجابة الغطاء النباتي للعوامل المناخية والبيئية، إلى جانب احتمال تغير هذه الاستجابة خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، لذلك تتمحور المشكلة حول معرفة طبيعة الاختلاف المكاني والزماني في استجابة الغطاء النباتي لهذه العوامل، ومدى تغير اتجاه وقوة تأثيرها بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥) لذلك فان

١. مشكلة البحث الرئيسة تتمحور في التساؤل التالي:

هل اختلفت استجابة الغطاء النباتي في ناحية قسروك للعوامل المناخية والبيئية مكانيا وزمنيا خلال المدة (٢٠٠٠– ٢٠٢٥)، وما مدى تغير اتجاه وقوة تأثير التساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف ورطوبة الغطاء النباتي والارتفاع بين عامي (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) ؟

٢. **فرضية البحث:** أن استجابة الغطاء النباتي في ناحية قسروك للعوامل المناخية والبيئية لا تتسم بالتجانس المكاني، وأن اتجاه وقوة تأثير التساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف ورطوبة الغطاء النباتي والارتفاع تختلف مكانيا، كما تفترض وجود تغير في طبيعة هذه العلاقات بين عامي (٢٠٠٠ –٢٠٢٥)، تنعكس على طبيعة العلاقات المكانية والزمنية مؤدية الى اختلاف استجابة الغطاء النباتي للظروف البيئية.

٣. **أهداف البحث:** تحليل التغير المكاني والزماني للغطاء النباتي في قسروك للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، وبيان طبيعة استجابته للتساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف ورطوبة الغطاء النباتي والارتفاع، والكشف عن مدى اختلاف اتجاه وقوة تأثير هذه المتغيرات مكانيا وزمنيا خلال الفترة المدروسة، وتحديد المتغيرات الأكثر ارتباطا بالتباين المكاني في الغطاء النباتي، وبيان اختلاف النطاق المكاني الذي تظهر ضمنه علاقات المتغيرات التفسيرية مع الغطاء النباتي

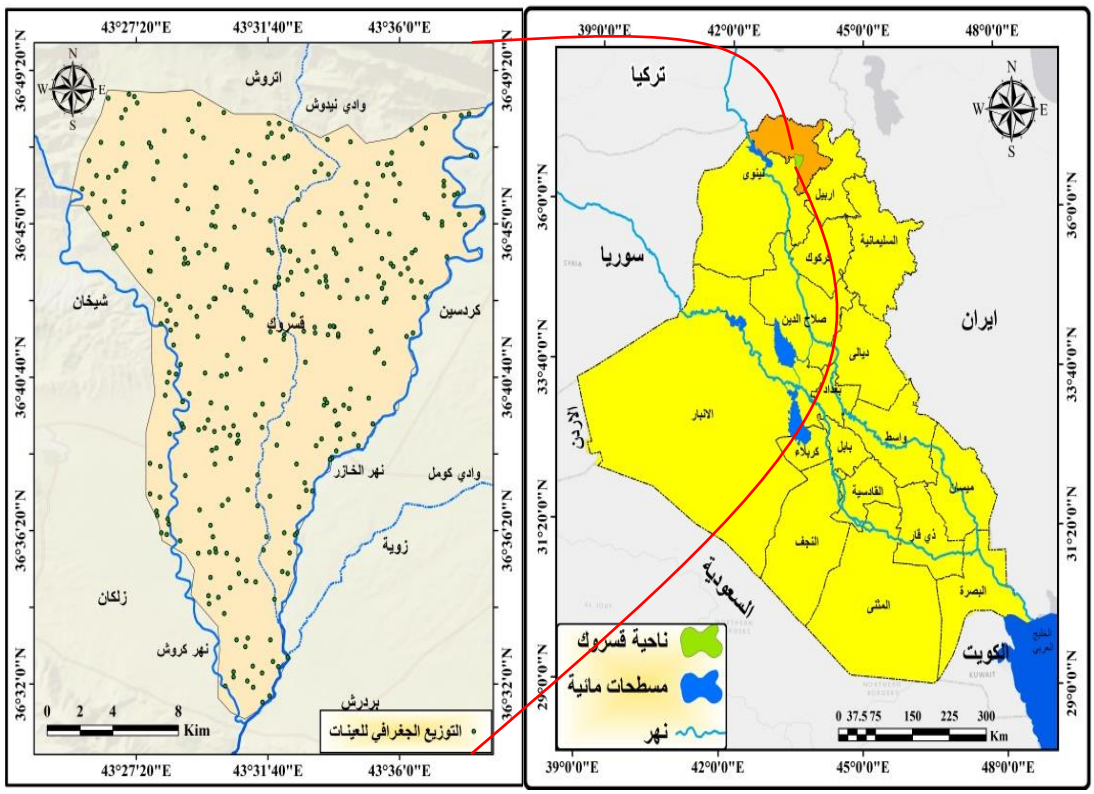
٤. **أهمية البحث:** تكمن أهمية البحث في تناول التغير في الغطاء النباتي في ناحية قسروك ضمن إطار يجمع بين البعد الزمني والبعد المكاني، إذ لا يقتصر على بيان مقدار التغير في الغطاء النباتي للمدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، وإنما يتجه إلى الكشف عن اختلاف استجابته للعوامل المناخية والبيئية من موقع إلى آخر، بما يساعد في فهم طبيعة العلاقات المؤثرة في الغطاء النباتي داخل منطقة البحث، كما يمكن أن تسهم نتائج البحث في توفير أساس مكاني يمكن الإفادة منه في تقييم حالة الغطاء النباتي وتحديد المناطق الأكثر تأثرا بالتغيرات المناخية والجفاف، ودعم الدراسات اللاحقة المتعلقة بالإدارة البيئية والتخطيط للموارد الطبيعية في ناحية قسروك والمناطق المماثلة لها

٥. **بيانات البحث ومصادرها:** اعتمد البحث بيانات الاستشعار عن بعد والبيانات المناخية والطبوغرافية اللازمة لتحليل استجابة الغطاء النباتي في ناحية قسروك خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، وقد تمت معالجة البيانات واستخراج المتغيرات باستخدام منصة (GEE)، إذ استخدمت مرئيات (Landsat) لاستخراج مؤشري (NDVI) و(NDMI)، وبيانات (CHIRPS) لتمثيل التساقط المطري، وبيانات (ERA5–Land) لدرجة الحرارة، وبيانات لاستخراج مؤشر الجفاف (PDSI)، فضلا عن نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ثم استخرجت قيم هذه المتغيرات عند (٣٤٠) نقطة مكانية ثابتة موزعة داخل حدود منطقة البحث، ينظر خريطة (١) ونظمت النتائج في قاعدة بيانات موحدة تمهيدا للتحليل الإحصائي والمكاني، أما التحليل الإحصائي والنمذجة المكانية فقد أجريا باستخدام Python ضمن بيئة(Google Colab)، حيث جرى أولا تطبيق نموذج الانحدار الخطي العام (OLS)، ثم تحليل البواقي مكانيا، وبعد ذلك تطبيق نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس (MGWR)، في حين استخدمت ArcGIS 10.8 في معالجة البيانات المكانية وإنتاج الخرائط النهائية وعرض التوزيع المكاني للمعاملات المحلية للنموذج

ثانيا: الموقع الجغرافي لناحية قسروك

تقع قسروك في الجزء الشمالي من قضاء شيخان ضمن محافظة دهوك في إقليم كردستان العراق، وتمثل إحدى الوحدات الإدارية التابعة للقضاء، وتتميز بموقع جغرافي يجمع بين الخصائص السهلية والارتفاعات المتباينة، الأمر الذي انعكس على التباين المكاني في الظروف الطبيعية والغطاء النباتي، فلكيا تمتد بين خطي طول (٤١′ ٤٣° – ٣٩′ ٤٣°) شرقاً، ودائرتي عرض (٣١′٣٦° – ٤٩′ ٣٦°) شمالاً، وتبلغ مساحتها (٣٤٠،٦٧٠) كم^{٢} مما يكسبها أهمية في دراسة الاستجابة النباتية، لكونها تقع ضمن بيئة تتباين فيها الخصائص التضاريسية والمناخية ورطوبة السطح، مما يوفر أساسا مناسبا لدراسة الاختلاف المكاني في العلاقة بين الغطاء النباتي والعوامل المناخية والبيئية، لا سيما التساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف والرطوبة والارتفاع .

خريطة (١) موقع منطقة البحث بالنسبة للعراق ولمحافظة دهوك



المصدر: بالاعتماد على المرئية الفضائية DEM2007 باستخدام برنامج ARC GIS

ثالثا: خصائص السطح:

تتصف ناحية قسروك بتباين واضح في مظاهر سطحها، حيث تراوحت قيم الارتفاع فيها بين (٣١٥–١٠٩٤م)، ينظر الجدول (٢) ويظهر التدرج التضاريسي بشكل واضح من الأجزاء

الجنوبية والوسطى ذات الاراضي المنبسطة تقريبا نحو الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية التي تسجل اعلى الارتفاعات، وينعكس هذا التباين في الناحية على اختلاف الظروف البيئية المحلية لاسيما درجة الحرارة والرطوبة، مما يجعل الارتفاع متغير مهم عند تفسير التباين المكاني في حالة الغطاء النباتي، ويظهر تأثير التباين الطبوغرافي بصورة أكثر وضوح في درجات الانحدار إذ تراوحت قيمه بين (٠–٤٨,١°)، تبدأ بالأسطح المستوية ضمن مدى (٠–٢,٤٥°)، في حين كانت الانحدارات الشديدة جدا ضمن مدى (٢٢,٨–٤٨,١°)، ويظهر من التوزيع المكاني أن المساحات الأقل انحدارا تنتشر بصورة أوسع في الأجزاء الوسطى والجنوبية من الناحية، في حين تتركز الانحدارات الأعلى بصورة أكبر في الأجزاء الشمالية والشمالية الغربية، وينعكس هذا التباين الطبوغرافي في طبيعة السطح والتصريف وعمق التربة، كما يمكن أن ينعكس في اختلاف الظروف الملائمة لنمو الغطاء النباتي من موقع إلى آخر.

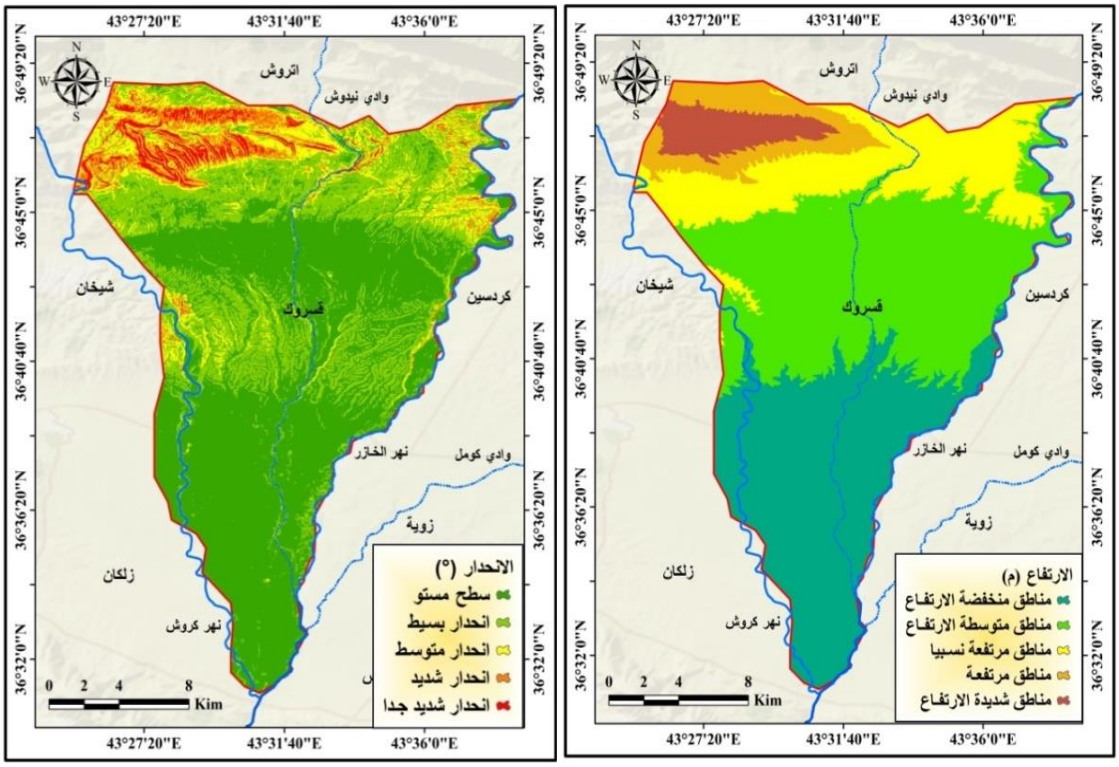
جدول (٢) فئات الارتفاع والانحدار في ناحية قسروك

الفئة	الارتفاع (م)	تصنيف الارتفاع	الانحدار(°)	تصنيف الانحدار
الأولى	٣١٥,٢٣–٣٨٥,٥٥	مناطق منخفضة الارتفاع	٠–٢,٤٥	سطح مستوٍ
الثانية	٣٨٥,٥٥–٤٦١,٩٩	مناطق متوسطة الارتفاع	٢,٤٦–٧,١٧	انحدار بسيط
الثالثة	٤٦١,٩٩–٥٨٧,٣٤	مناطق مرتفعة نسبيا	٧,١٨–١٤,٠٠	انحدار متوسط
الرابعة	٥٨٧,٣٤–٧٧٣,٨٥	مناطق مرتفعة	١٤,١–٢٢,٧	انحدار شديد
الخامسة	٧٧٣,٨٥–١٠٩٤,٨٧	مناطق شديدة الارتفاع	٢٢,٨–٤٨,١	انحدار شديد جدا

المصدر :بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) المطبق على منطقة البحث.

وتوضح خريطتا الارتفاع (٢) والانحدار (٣) أن منطقة البحث لا تتمتع بتجانس تضاريسي، بل تتباين فيها الخصائص المورفومترية بصورة مكانية واضحة، وهذا التباين مهم في البحث الحالي لأن الارتفاع يمثل أحد المتغيرات الداخلة في تحليل استجابة الغطاء النباتي، بينما يساعد الانحدار في تفسير الإطار الطبوغرافي الذي تتشكل ضمنه هذه الاستجابة، ومن ثم فإن الجمع بين خصائص الارتفاع والانحدار يوفر أساسا مناسبا لفهم الاختلاف المكاني في توزيع الغطاء النباتي والعلاقات المرتبطة به خلال مدة البحث (٢٠٠٠–٢٠٢٥) .

الخريطة (٢) التوزيع المكاني للارتفاع في ناحية قسروك الخريطة(٣) التوزيع المكاني للانحدار في ناحية قسروك



المصدر: بالاعتماد على تحليل نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام برنامج ArcGIS 10.8

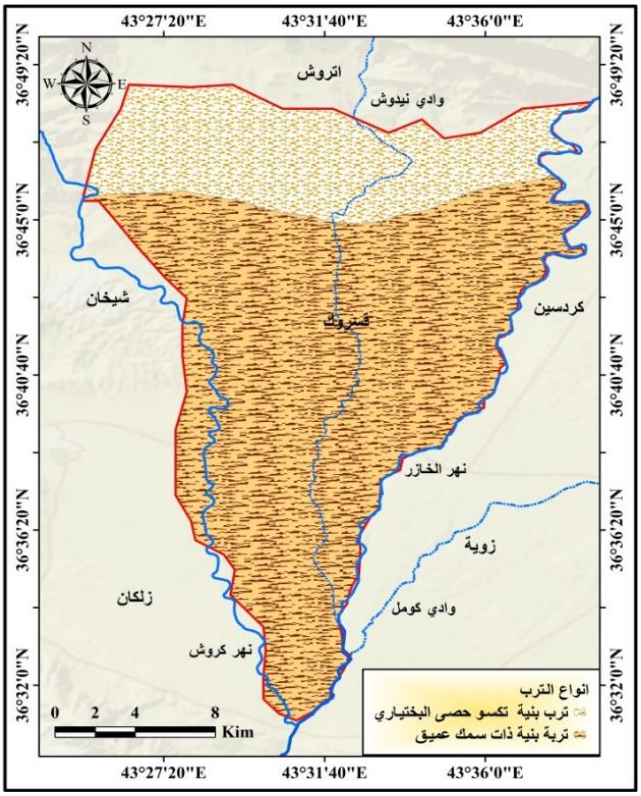
رابعا: التربة

تتوزع الترب في ناحية قسروك ضمن نوعين رئيسين الأول ترب بنية متوسطة السمك تكسو حصى البختياري وتتركز في الجزء الشمالي منها والثاني ترب بنية ذات سمك عميق تغطي معظم الأجزاء الوسطى والجنوبية ويعكس هذا التوزيع اختلافا في عمق التربة ومادة السطح وظروف تكوينها وهو نمط يتفق بصورة عامة مع طبيعة ترب إقليم كردستان العراق إذ ترتبط الترب الضحلة والمتوسطة بالمناطق الأكثر ارتفاعا وانحدارا وتأثرا بعمليات التعرية، في حين تميل الترب الأعمق إلى الظهور في المواقع الأكثر استقرارا والأقل انحدارا حيث تتوافر ظروف أفضل لتراكم المواد الدقيقة وتطور القطاع التربة علما أن عمق التربة يرتبط بصورة قوية

بالتضاريس فالترب الضحلة تنتشر في المناطق الجبلية والمواقع شديدة الانحدار بينما تسود الترب الأعمق في المواقع الأكثر استواء (Bellat et al,2026:p2513)

وتتميز الترب البنية في إقليم كردستان عموما بارتباطها بالظروف المناخية شبه المتوسطية وبمواد أصلية كلسية في كثير من مواقعها، كما أظهرت الدراسات الحقلية أن بعض ترب الإقليم تتراوح نسجتها بين الطينية والطميية، مع ارتفاع نسبي في محتوى الطين في الآفاق التحتية وتزايد المادة العضوية في الآفاق السطحية، وهي خصائص ترتبط بدرجة تطور القطاع الترابي وقدرته على الاحتفاظ بالمياه والعناصر الغذائية (Fayyadh & Ismail,2021:1502)

الخريطة (٤) التوزيع الجغرافي لانواع الترب



المصدر: بالاعتماد على خريطة الترب (لبيورنك ١٩٦٠)، باستخدام برنامجArcGIS 10.8

ان ناحية قسروك تتسم بوجود ترب بنية متوسطة السمك التي تكسو حصى البختياري في الجزء الشمالي ينظر الخريطة (٤) تعكس بيئة أكثر تأثرا بخصائص السطح وعمق التربة ومن ثم فإن محدودية السمك ووجود الحصى يمكن أن يحدا من كمية المياه المخزونة في القطاع الترابي مقارنة بالترب العميقة، لاسيما تحت ظروف الأمطار المحدودة وارتفاع التبخر، مما قد ينعكس على توافر المياه للنبات وعلى درجة رطوبة الغطاء النباتي، في حين توفر الترب البنية العميقة في الأجزاء الوسطى والجنوبية حجما أكبر من القطاع الترابي القابل لخزن المياه، الأمر الذي

يمكن أن يوفر ظروفا أكثر استقرارا لنمو النبات والمحافظة على رطوبته، وتكتسب هذه الفروق أهمية في تفسير التباين المكاني في مؤشري (NDVI) و(NDMI) خصوصا مع تباين الارتفاع والانحدار والظروف المناخية داخل الناحية.

خامسا: الخصائص المناخية:

تتصف منطقة البحث بخصائص مناخية موسمية واضحة إذ تتدرج الظروف المناخية في محطة خبات من فصل شتوي أكثر برودة ورطوبة إلى فصل صيفي مرتفع الحرارة والتبخر ومنخفض الرطوبة والأمطار وعن طريق تحليل معطيات الجدول (١) نرى ان المعدل السنوي لدرجة الحرارة يبلغ (٢١,٢°م) بينما يبلغ معدل الأمطار (٣٤٠,٦ ملم) ويصل معدل الرطوبة النسبية إلى (٥٣,١٪) في حين يبلغ مجموع التبخر (١٧٦٠,٠ ملم) ويكشف هذا التباين عن اختلاف واضح في الظروف المائية والحرارية خلال السنة وهو أمر يرتبط بصورة مباشرة بظروف نمو الغطاء النباتي وتباين نشاطه خلال المواسم المختلفة ويتركز التساقط المطري بصورة رئيسة خلال فصل الشتاء إذ بلغ المجموع الفصلي (١٧٨,٧ ملم) ثم ينخفض خلال الربيع إلى (١٠٥,٩ ملم) ويصبح محدودا خلال الصيف إذ يبلغ مجموع الأمطار (٥٦,٠ ملم) ويشير هذا التوزيع إلى أن القسم الأكبر من الإمداد المائي الطبيعي يحدث خلال الفصول الباردة والمعتدلة في حين يتزامن الموسم الحار مع انخفاض واضح في كمية الأمطار وتكتسب هذه الخاصية أهمية خاصة في البحث الحالي لأن الفترة الربيعية تمثل الفترة المعتمدة في معالجة مؤشري (NDVI) و(NDMI) وبالتالي فإن توفر المياه خلال هذه الفترة يمكن أن ينعكس بصورة مباشرة على مستوى النشاط النباتي وقيم المؤشرات الطيفية .

جدول (١) المعدلات الشهرية والفصلية والسنوية للعناصر المناخية في محطة خبات (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

الفصل	الشهر	الأمطار (ملم)	متوسط درجة الحرارة (°م)	الرطوبة النسبية (%)	التبخر (ملم)
الشتاء	كانون الأول	٦٨,٥	١١,٨	٧١,٥	٣٦,٥
	كانون الثاني	٥٧,١	٨,٢	٧٤,١	٢٢,٤
	شباط	٥٣,١	١٠,٣	٧٠,١	٣٤,٥
المعدل / المجموع الفصلي	الشتاء	١٧٨,٧	١٠,١	٧١,٩	٩٣,٤
الربيع	آذار	٥٦,٧	١٤,١	٦٦,٧	٨٢,٦
	نيسان	٤٠,١	١٩,٢	٤٢,٤	١١٠,١
	أيار	٩,١	٢٥,٣	٣٤,٣	١٨٥,٧
المعدل / المجموع الفصلي	الربيع	١٠٥,٩	١٩,٥	٤٧,٨	٣٧٨,٤
الصيف	حزيران	١,٥	٣٠,١	٣١,٥	٢٨٥,٢

	تموز	١٦,٨	٣٥,٠	٣٥,٥	٣٢٨,٨
	آب	٣٧,٧	٣٤,٠	٣٤,٤	٢٩٦,٩
المعدل / المجموع الفصلي	الصيف	٥٦,٠	٣٣,٠	٣٣,٨	٩١٠,٩
الخريف	أيلول	٣١,٦	٢٩,٣	٤٨,٩	٢٠٦,٩
	تشرين الأول	٢٤,٠	٢٣,٠	٦٣,٣	١١٧,٥
	تشرين الثاني	٤٩,٤	١٥,٣	٦٤,٦	٥٢,٩
المعدل / المجموع الفصلي	الخريف	١٠٥,٠	٢٢,٦	٥٨,٩	٣٧٧,٣
المعدل / المجموع السنوي	السنة	٤٤٥,٦	٢١,٢	٥٣,١	١٧٦٠,٠

المصدر : جمهورية العراق، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي ، قسم المناخ ، بيانات غير منشورة .

يتضح أثر التباين الحراري في ارتفاع متوسط درجة الحرارة الفصلي من (١٠,١°م) خلال الشتاء إلى (١٩,٥°م) في الربيع ثم إلى (٣٣,٠°م) خلال الصيف قبل أن ينخفض إلى (٢٢,٦°م) في الخريف ويرافق ارتفاع الحرارة زيادة واضحة في التبخر فقد بلغ المجموع الفصلي للتبخر خلال الشتاء (٩٣,٤ ملم) وارتفع في الربيع إلى (٣٧٨,٤ ملم) ثم بلغ أعلى مستوياته خلال الصيف بواقع (٩١٠,٩ ملم) مما يعني أن ارتفاع الحرارة خلال الفصل الحار لا يحدث بصورة منفردة بل يتزامن مع زيادة كبيرة في فقدان المياه الأمر الذي يمكن أن يزيد من الإجهاد المائي للنبات ويؤثر في استجابته للظروف المناخية خلال الموسم، وتظهر العلاقة بين الرطوبة والتبخر والأمطار بصورة أوضح عند المقارنة بين الفصول فقد بلغ معدل الرطوبة النسبية خلال الشتاء (٧١,٩٪) ثم انخفض إلى (٤٧,٨٪) في الربيع ووصل إلى (٣٣,٨٪) خلال الصيف قبل أن يرتفع في الخريف إلى (٥٨,٩٪) ويقابل هذا الانخفاض في الرطوبة ارتفاع التبخر خلال الأشهر الحارة مما يعكس زيادة العجز المائي خلال الصيف في حين تكون الظروف أكثر ملاءمة من الناحية الرطوبة خلال الشتاء والربيع وتساعد هذه الصورة المناخية في تفسير اختلاف حالة الغطاء النباتي موفرة أساسا لفهم العلاقة بين مؤشر (NDVI) ومؤشر (NDMI) والمتغيرات المناخية المستخدمة في البحث وتشير هذه الخصائص مجتمعة إلى أن البيئة المناخية في منطقة البحث تتصف بتباين موسمي يجمع بين وفرة نسبية للمياه وانخفاض الحرارة خلال الشتاء والربيع يقابله ارتفاع الحرارة والتبخر وانخفاض الأمطار والرطوبة خلال الصيف وهو تباين يمكن أن ينعكس على الاستجابة المكانية للغطاء النباتي لا سيما أن البحث لا يدرس التغير في (NDVI) بمعزل عن الظروف البيئية وإنما تربطه بالتساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف ورطوبة الغطاء النباتي ولذلك يمثل هذا الوصف المناخي الأساس الذي تستند إليه قراءة التغير في المؤشرات

الطيفية وتحليل العلاقات المكانية بين الغطاء النباتي والعوامل المؤثرة فيه خلال مدة البحث(عصمان وأحمد ٢٠٢٦: ٢١٨).

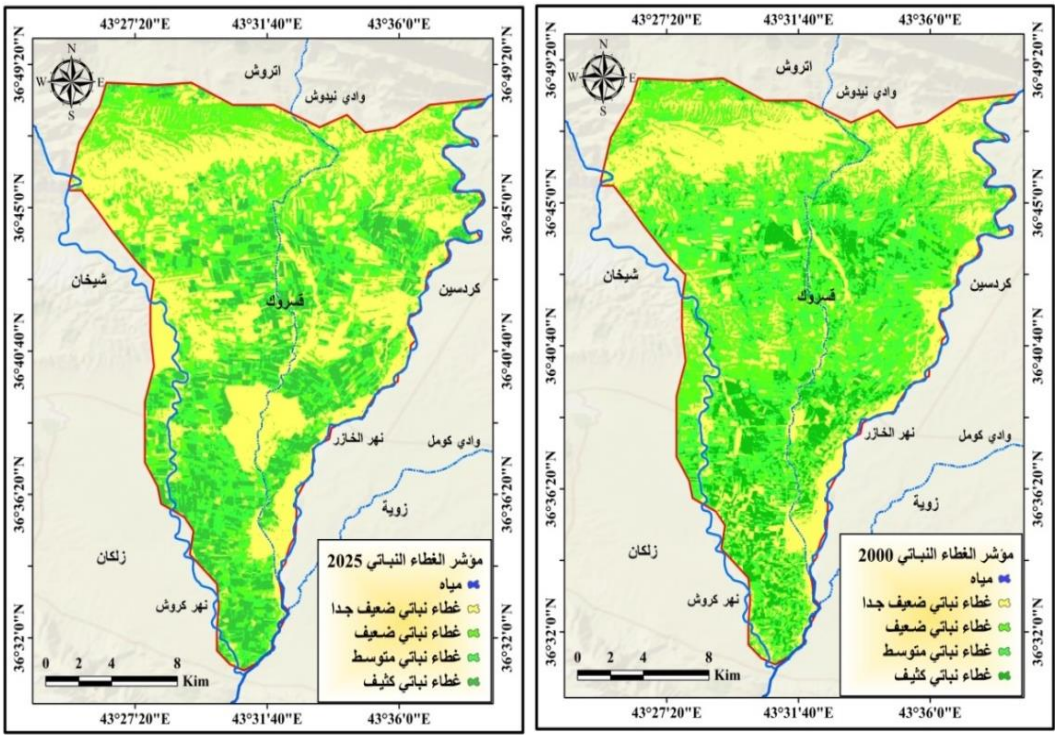
سادسا: التغير المكاني والزمني للمؤشرات والعناصر البيئية:

بعد بيان الخصائص المناخ والتربة والسطح لمنطقة البحث يأتي تحليل التغير الذي طرأ على الغطاء النباتي والعوامل البيئية المرتبطة به خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥) إذ تتيح المقارنة بين الفترتين التعرف على اتجاه التغير ومقداره والتباين المكاني الذي صاحبه ولا يقتصر ذلك على مؤشر الغطاء النباتي وإنما يشمل كذلك رطوبة الغطاء النباتي والعناصر المناخية ذات الصلة بحالته لذلك سنتناول كل متغير بصورة مستقلة من خلال عرض توزيعه المكاني في الفترتين ومقارنة خصائصه الإحصائية والمساحية ثم بيان طبيعة التغير الذي طرأ عليه وعلاقته بظروف منطقة البحث وصولا إلى تكوين صورة متكاملة عن التغيرات التي سبقت تحليل العلاقات المكانية بين المتغيرات.

١. التغير المكاني والزماني في مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

توضح الخريطتان (١) و(٢) التوزيع المكاني لفئات مؤشر (NDVI) في ناحية قسروك لعامي (٢٠٠٠–٢٠٢٥)، ويظهر من المقارنة وجود تغير في نمط توزيع الغطاء النباتي بين الفترتين، مع استمرار التباين المكاني بين اجزاء الناحية، فقد ارتفع المتوسط المكاني للمؤشر من (٠,٣٦٦) عام (٢٠٠٠) إلى (٠,٤٢٩) عام (٢٠٢٥)، كما ارتفعت القيمة العليا من (٠,٧٤٤) إلى (٠,٨٢٠)، في حين ارتفعت القيمة الدنيا من (٠,٠٢٠) إلى (٠,٠٧٦)، وهو ما يشير إلى تغير عام في الحالة النباتية خلال مدة البحث، مع بقاء الاختلاف المكاني بين المواقع واضحا كما في الخريطتين

الخريطة (٥) التوزيع المكاني لمؤشر (NDVI) ٢٠٠٠ الخريطة (٦) التوزيع المكاني لمؤشر (NDVI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م

ويبين الجدول (٢) أن مساحة الفئة ذات القيم المنخفضة جدا ارتفعت من (١١٦,١١٢) كم^{٢} إلى (١٤٤,٨٧٥) كم^{٢}، في مقابل انخفاض مساحة الفئة المتوسطة من (٨٩,٨٥٢ –٦٢,٦٥٠) كم^{٢}، بينما ارتفعت مساحة الفئة المرتفعة من (٤٠,٠٦٠–٥٢,٢٩٥) كم^{٢}، كما انخفضت مساحة فئة المياه والقيم السالبة من (٠,٤٣٩– ٠,١٣٤) كم^{٢}، وتوضح هذه القيم أن التغير لم يأخذ اتجاها واحدا نحو زيادة الغطاء النباتي في جميع الفئات، وإنما تمثل في إعادة توزيع المساحات بين مستويات الكثافة النباتية المختلفة، وهو ما يظهر مكانيا بصورة أوضح في الخريطتين.

جدول (٢) التغير المكاني في فئات مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) بين عامي (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

NDVI	٢٠٠٠ (كم^{٢})	٢٠٢٥ (كم^{٢})	مقدار التغير (كم^{٢})
مياه / قيم سالبة	٠,٤٣٩	٠,١٣٤	٠,٣٠٥–
منخفض جدا	١١٦,١١٢	١٤٤,٨٧٥	٢٨,٧٦٣+
منخفض	٩٤,٢٠٧	٨٠,٧١٧	١٣,٤٩٠–

متوسط	٨٩,٨٥٢	٦٢,٦٥٠	٢٧,٢٠٢–
مرتفع	٤٠,٠٦٠	٥٢,٢٩٥	١٢,٢٣٥+
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

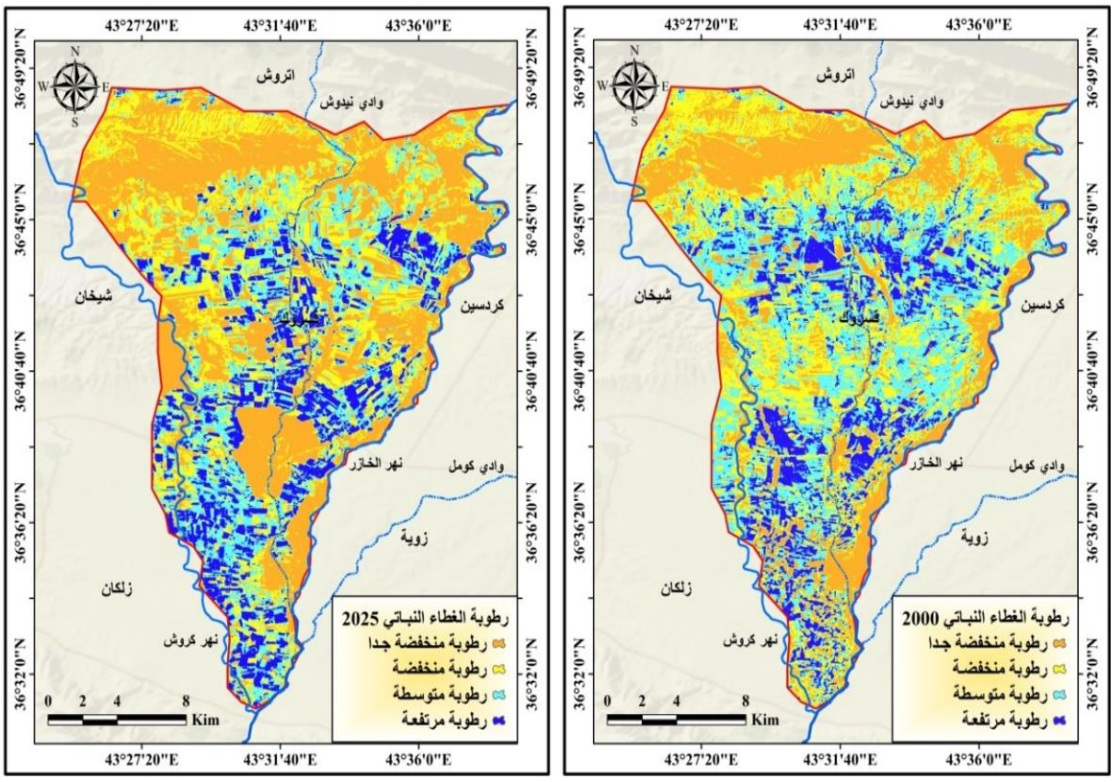
المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطة (٥) و (٦)

ويمكن تفسير هذا التغير في ضوء التبدل الذي طرأ على الظروف البيئية المصاحبة خلال الفترتين إذ تشير بيانات البحث إلى ارتفاع متوسط (NDMI) من (٠,٠٩٣) عام (٢٠٠٠) إلى (٠,١٢١) عام (٢٠٢٥) وهو ما يعكس تحسنا في الحالة الرطوبية للغطاء النباتي كما ارتفعت قيم (PDSI) من متوسط بلغ (–٧,٤٥١) إلى (١,٦٦٧) بما يشير إلى انتقال واضح في الحالة المائية من ظروف جفاف شديدة إلى ظروف أكثر رطوبة خلال الفترتين المعتمدتين للمؤشر ومن جهة أخرى ارتفع متوسط درجة الحرارة من (١٦,٤٥)°م إلى (١٩,٣٨)°م في حين انخفض متوسط التساقط المطري من (٢٢٠,٢٣) ملم إلى (٢١٣,١٣) ملم ولذلك فإن التحسن في حالة الغطاء النباتي لا يمكن إرجاعه إلى زيادة الأمطار وحدها بل يبدو أنه ارتبط بصورة أكبر بتحسن الحالة المائية التي يعكسها كل من (PDSI) و(NDMI) إلى جانب تأثير الاختلاف المكاني في الظروف الطبيعية داخل الناحية وتشير هذه النتيجة إلى أن استجابة الغطاء النباتي في ناحية قسروك خلال المدة (٢٠٠٠–٢٠٢٥) لا تتحدد بتغير عنصر مناخي منفرد إذ يمكن أن تتداخل آثار الحرارة والأمطار والحالة المائية ورطوبة الغطاء النباتي في تحديد مستوى النشاط النباتي كما أن التباين المكاني في الارتفاع والانحدار والتربة قد يؤدي إلى اختلاف قدرة المواقع على الاحتفاظ بالمياه والاستفادة منها ولذلك فإن التغير الظاهر يمثل حصيلة لتغير مجموعة من الظروف البيئية وليس نتيجة مباشرة لعامل واحد مما يمهد للانتقال إلى دراسة التغير في مؤشر (NDMI) ثم مقارنة ذلك بالتغير في بقية المتغيرات البيئية والمناخية (البدري وآخرون، ٢٠١٩: ٥٨٩)

٢.التغير المكاني والزماني في مؤشر رطوبة الغطاء النباتي(NDMI)

من المؤشرات الطيفية التي تستخدم في الكشف عن رطوبة للغطاء النباتي ويكتسب أهمية في البحث الحالي لارتباط رطوبة النبات بدرجة نشاطه واستجابته للظروف المناخية والمائية وقد أظهرت نتائج معالجة المرئيات الفضائية وجود تباين مكاني واضح في قيم المؤشر داخل الناحية بين عامي البحث كما يتضح من الخريطتين (٧ ، ٨) إذ تتوزع مستويات الرطوبة المختلفة بصورة غير متجانسة مع استمرار التباين المكاني بين الأجزاء الشمالية والوسطى والجنوبية للناحية .

الخريطة (٧) التوزيع المكاني لمؤشر (NDMI) ٢٠٠٠ الخريطة (٨) التوزيع المكاني لمؤشر (NDMI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م

ويظهر التغير بين الفترتين من خلال القيم الإحصائية للمؤشر فقد ارتفع المتوسط من (٠,٠٩٣) عام (٢٠٠٠) إلى (٠,١٢١) عام (٢٠٢٥) كما ارتفعت القيمة القصوى من (٠,٤٦٠) إلى (٠,٤٨٥) في حين بلغت القيمة الدنيا (–٠,١١١) و(–٠,١٢٥) على التوالي ويشير ذلك إلى تغير في الحالة الرطوبة العامة للغطاء النباتي مع استمرار وجود مواقع ذات قيم منخفضة وسالبة بما يعكس بقاء التباين المكاني في الحالة المائية للنبات خلال الفترتين ويبين الجدول (٢) تغير مساحات فئات(NDMI) إذ ارتفعت مساحة فئة الرطوبة المنخفضة جدا من (٩١,٩١٨–١٣١,٨٧٣) كم^{٢} عام (٢٠٢٥) بينما ارتفعت مساحة فئة الرطوبة المرتفعة من (٤٨,٥٤٨–٥٠,٦١٢) كم^{٢} وتوضح هذه النتائج أن التغير لم يكن متجانسا بين فئات المؤشر بل اتخذ صورة إعادة توزيع للمساحات بين مستويات الرطوبة .

جدول (٣) التغير المكاني في فئات مؤشر رطوبة الغطاء النباتي (NDMI) بين عامي(٢٠٠٠– ٢٠٢٥)

NDMI	٢٠٠٠ (كم٢)	٢٠٢٥ (كم٢)	مقدار التغير (كم٢)
رطوبة منخفضة جدا	٩١,٩١٨	١٣١,٨٧٣	+٣٩,٩٥٥
رطوبة منخفضة	١٠٢,٠٢٩	٩٠,٣٣١	–١١,٦٩٨
رطوبة متوسطة	٩٨,١٧٦	٦٧,٨٥٣	–٣٠,٣٢٢
رطوبة مرتفعة	٤٨,٥٤٨	٥٠,٦١٢	+٢,٠٦٥
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

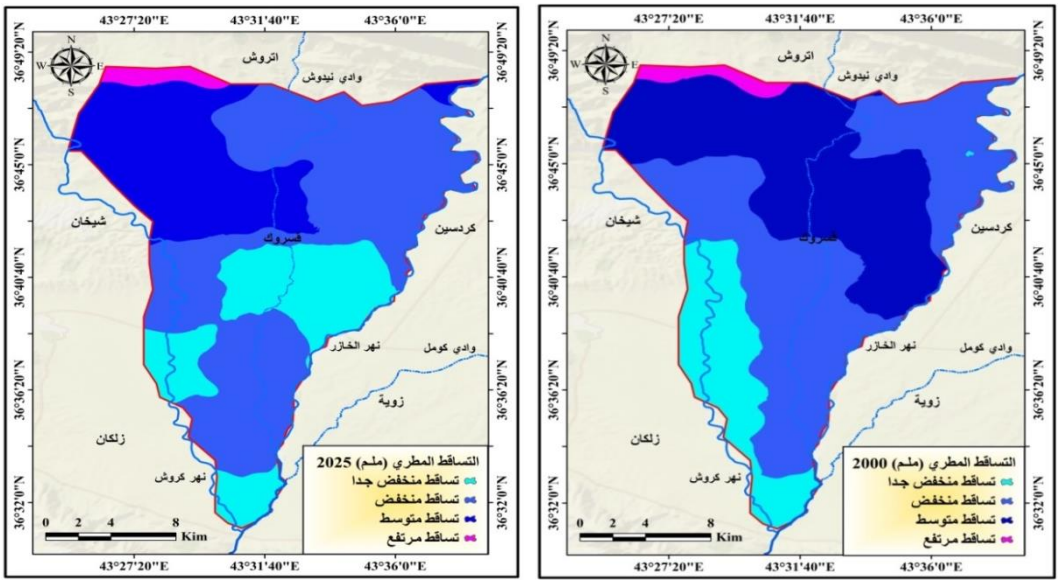
المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطة (٧) و (٨)

ويرتبط تغير الحالة الرطوبية للغطاء النباتي بالظروف المناخية والمائية السائدة خلال الفترتين، إذ انخفض متوسط التساقط المطري في بيانات العينة من (٢٢٠,٢٣) ملم عام (٢٠٠٠) إلى (٢١٣,١٣) ملم عام (٢٠٢٥) في حين ارتفع متوسط درجة الحرارة من (١٦,٤٥)°م إلى (١٩,٣٨)°م وهي تغيرات يمكن أن تزيد الطلب على المياه وترفع الإجهاد المائي في بعض المواقع، إلا أن الحالة العامة لمؤشر الجفاف شهدت تغيرا واضحا، إذ ارتفع متوسط (PDSI) من (–٧,٤٥١) عام (٢٠٠٠) إلى (١,٦٦٧) عام (٢٠٢٤) كما ارتفع متوسط (NDVI) من (٠,٣٦٦) إلى (٠,٤٢٩) ولذلك فإن التغير في (NDMI) ينبغي النظر إليه ضمن التداخل بين الظروف المطرية والحرارية والحالة المائية والخصائص الطبيعية للموقع، وليس بوصفه استجابة لعامل مناخي واحد، وتكتسب هذه النتيجة أهمية في سياق البحث لأن التغير في رطوبة الغطاء النباتي يمثل جانبا مكملا للتغير في حالته الخضرية، وقد ظهر ارتفاع متوسط (NDMI) بالتزامن مع ارتفاع متوسط (NDVI) بين الفترتين، إلا أن التوزيع المساحي للخريطة والجدول يوضح أن هذا التغير لم يحدث بالدرجة نفسها في جميع أجزاء قسروك مما يعزز أهمية الانتقال من وصف التغير في المؤشرات إلى دراسة العلاقات المكانية بين الغطاء النباتي والعوامل المناخية والبيئية وتحديد مدى اختلاف هذه العلاقات داخل الناحية .(Azeez et al., 2025:p356).

٣.التغير المكاني والزماني في التساقط المطري:

يمثل التساقط المطري أحد أهم العناصر المناخية المرتبطة بتوافر المياه للغطاء النباتي، وقد أظهرت خرائط التوزيع المكاني لفئات التساقط المطري في ناحية قسروك لعامي البحث (٩، ١٠) ويظهر من الخريطتين انتقال واضح في توزيع فئات التساقط لاسيما بين المناطق التي تتميز بمستويات التساقط المتوسطة والمناطق التي أصبحت ضمن فئات التساقط المنخفضة.

الخريطة(٩) التوزيع المكاني للتساقط المطري ٢٠٠٠ الخريطة (١٠) التوزيع المكاني للتساقط المطري ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م

ويبين الجدول (٤) التغير في المساحات التي شغلتها فئات التساقط المطري بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥) إذ ارتفعت مساحة فئة التساقط المنخفض جدا من (٤٩,٩–١٢١,٨) كم^{٢} كما ارتفعت مساحة فئة التساقط المنخفض من (٩٠,٩–١٢٤,٤) كم^{٢} كما وانخفضت فئة التساقط المرتفع من (٣٣,٥–٧٠,١) كم^{٢} وبذلك يظهر تغير واضح في التوزيع المساحي لفئات التساقط بين الفترتين، مع انتقال مساحات واسعة من الفئات الأعلى إلى الفئات الأقل، ينظر الجدول (٤)

جدول (٤) التوزيع المساحي لفئات التساقط المطري بين (٢٠٠٠– ٢٠٢٥)

فئة التساقط المطري	٢٠٠٠ (كم^{٢})	٢٠٢٥ (كم^{٢})	مقدار التغير (كم^{٢})
تساقط منخفض جدا	٤٩,٩٨٤	١٢١,٨٨٩	+٧١,٩٠٥
تساقط منخفض	٩٠,٩٩٦	١٢٤,٤٧٦	+٣٣,٤٨٠
تساقط متوسط	١٦٦,١٧٣	٨٧,٢٠١	–٧٨,٩٧٢
تساقط مرتفع	٣٣,٥١٧	٧٠,١٠٤	–٢٦,٤١٣
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطة (٩) و (١٠)

وتتوافق هذه الصورة مع التغير في متوسط التساقط الذي أظهرته بيانات نقاط البحث، إذ انخفض متوسط التساقط من نحو (٢٢٠,٢٣) ملم عام (٢٠٠٠) إلى (٢١٣,١٣) ملم عام (٢٠٢٥) إلا أن هذا الانخفاض العام ترافق مع تغير أكبر في النمط المكاني لتوزيع الأمطار، وهو ما يجعل أثر التساقط المطري على الغطاء النباتي غير مرتبط بقيمة المتوسط وحدها، بل بتوزيعه المكاني داخل منطقة البحث، وباختلاف كمية المياه التي تصل إلى المواقع المختلفة، لاسيما عند مقارنته بالتغير الذي طرأ على مؤشر (NDVI) ومؤشر (NDMI) خلال المدة نفسها ويكتسب هذا التغير أهمية أكبر في ضوء ارتفاع متوسط درجة الحرارة بين الفترتين من (١٦,٤٥)°م إلى (١٩,٣٨)°م وما يرافق ارتفاع الحرارة من زيادة محتملة في الطلب التبخير، لذلك فإن انخفاض التساقط مع ارتفاع الحرارة يمثل تغيرا في الظروف المائية والحرارية التي يعمل ضمنها الغطاء النباتي، في حين تشير النتائج العامة للبحث إلى أن حالة الجفاف شهدت تغيرا مختلفا خلال الفترتين، مما يعني أن تأثير التساقط المطري لا يمكن قراءته منفردا عن بقية المتغيرات المناخية والمائية، الأمر الذي يبرر الانتقال لاحقا إلى تحليل درجة الحرارة ثم مؤشر الجفاف، قبل الوصول إلى دراسة العلاقات المشتركة بينها وبين الغطاء النباتي.

٤. التغير المكاني والزماني في درجة الحرارة

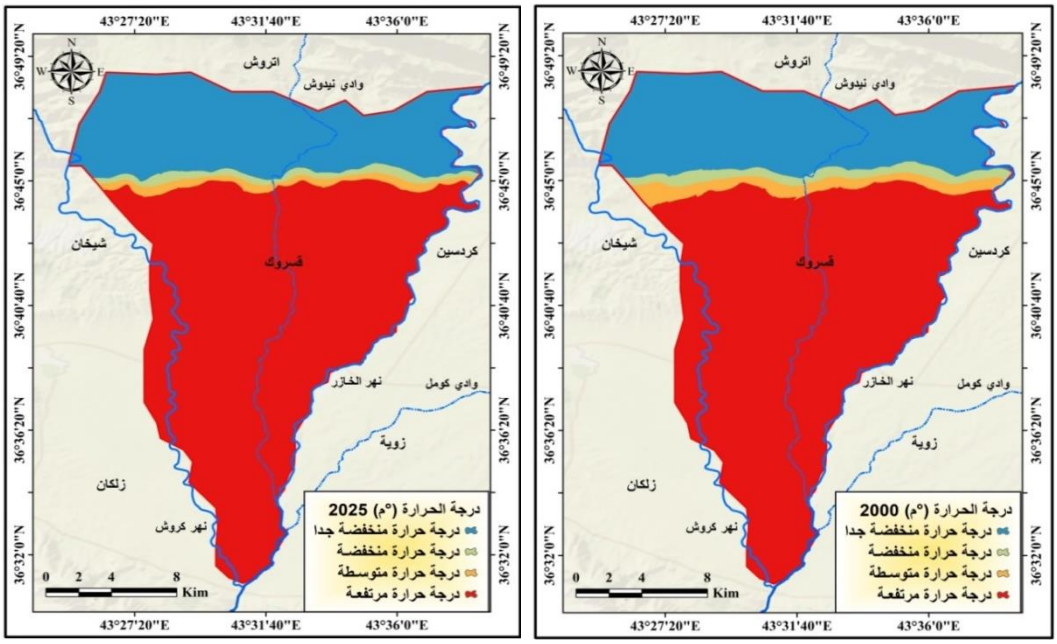
توضح الخريطة (١١، ١٢) التوزيع المكاني لفئات درجة الحرارة في ناحية قسروك، ويظهر اختلاف واضح في التوزيع المكاني للفئات الحرارية داخل منطقة البحث، بما يعكس التباين الحراري المرتبط باختلاف الموقع والارتفاع والظروف السطحية، كما يبين الجدول (٥) التغير في المساحات التي شغلتها الفئات الحرارية خلال الفترتين اذ ارتفعت مساحة فئة درجة الحرارة المنخفضة جدا من (٩٣,٠٤٧) كم^{٢} عام (٢٠٠٠) إلى (٩٦,٣٨٩) كم٢ عام (٢٠٢٥)، في حين انخفضت مساحة الفئة المنخفضة من (١٢,٨٧٧) كم^{٢} إلى (٩,٦٠٧) كم^{٢} وتظهر الخريطتين استمرار هيمنة الفئة الحرارية المرتفعة على معظم منطقة البحث خلال الفترتين، مع تغير محدود في توزيع بقية الفئات.

جدول (٥) التغير المكاني لفئات درجة الحرارة بين (٢٠٠٠– ٢٠٢٥)

فئة درجة الحرارة	٢٠٠٠ (كم^{٢})	٢٠٢٥ (كم^{٢})	مقدار التغير (كم^{٢})
درجة حرارة منخفضة جدا	٩٣,٠٤٧	٩٦,٣٨٩	+٣,٣٤٢
درجة حرارة منخفضة	١٢,٨٧٧	٩,٦٠٧	–٣,٢٧٠
درجة حرارة متوسطة	١٤,١٣٥	١٠,٧٤٦	–٣,٣٨٩
درجة حرارة مرتفعة	٢٢٠,٦١١	٢٢٣,٩٢٨	+٣,٣١٧
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطة (١١) و (١٢)

الخريطة(١١) التوزيع المكاني لدرجة الحرارة ٢٠٠٠ الخريطة (١٢) التوزيع المكاني لدرجة الحرارة ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م

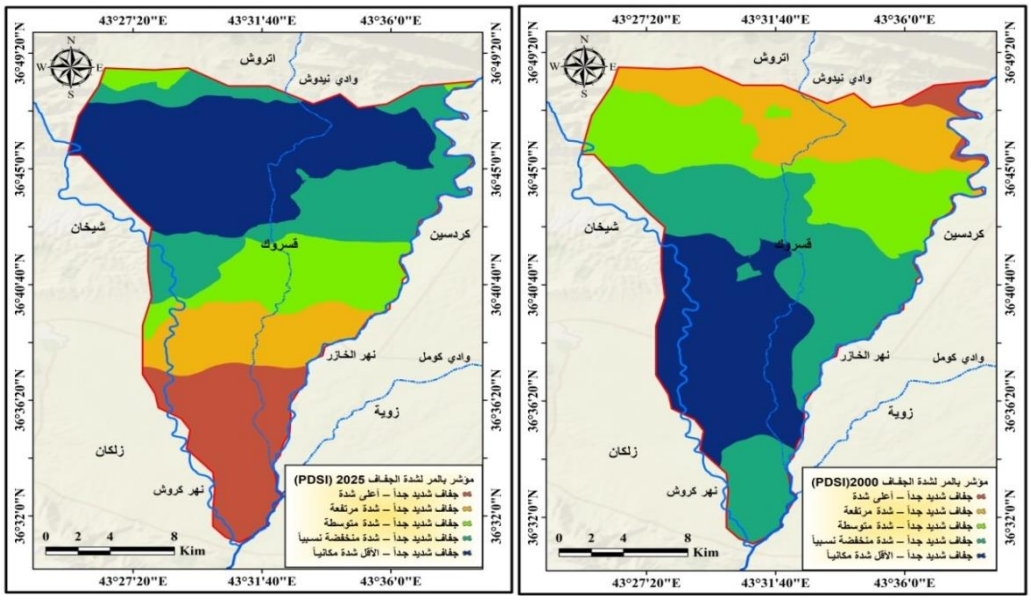
ويتضح التغير الحراري بصورة أكبر من خلال مقارنة المتوسطات المستخرجة من مواقع البحث، إذ ارتفع متوسط درجة الحرارة من (١٦،٤٥)°م عام (٢٠٠٠) إلى (١٩،٣٨)°م عام (٢٠٢٥)، بزيادة مقدارها نحو (٢،٩٤)°م، كما ارتفعت القيمة القصوى من (١٧،٤٨)°م إلى (٢٠،٣٨)°م، في حين ارتفعت القيمة الدنيا من (١٤،٥١)°م إلى (١٧،١٩)°م، ويشير هذا التغير إلى انتقال حراري واضح بين الفترتين، وهو تغير مهم في سياق البحث لما لارتفاع درجة الحرارة من أثر في الطلب التبخير وفقدان المياه، ومن ثم في الظروف المائية التي تحيط بالغطاء النباتي، ويرتبط ارتفاع درجات الحرارة بالتغيرات الأخرى التي ظهرت في العناصر البيئية خلال الفترة نفسها، إذ انخفض متوسط التساقط المطري من (٢٢٠،٢٣) ملم إلى (٢١٣،١٣) ملم، في حين ارتفع متوسط (NDVI) من (٠،٣٦٦) إلى (٠،٤٢٩)، وارتفع متوسط (NDMI) من (٠،٠٩٣) إلى (٠،١٢١)، ولذلك فإن تغير الحالة النباتية لا يمكن تفسيره عبر الاتجاه الحراري وحده، وإنما ينبغي النظر إلى الحرارة ضمن مجموعة المتغيرات المائية والمناخية والخصائص الطبيعية

لمنطقة، وهو ما يمهد للانتقال إلى دراسة التغير في مؤشر الجفاف (PDSI) بوصفه مؤشرا يجمع في دلالته بين الظروف المائية والحرارية

٥. التغير المكاني والزماني في شدة الجفاف وفق مؤشر(PDSI)

من المؤشرات المستخدمة في التعبير عن حالة التوازن المائي والتباين في شدة الجفاف، واعتمد هذا المؤشر للكشف عن التغير المكاني في الظروف المائية داخل ناحية قسروك ومقارنته بين عامي البحث وتوضح الخرطتين (١٣، ١٤) التوزيع المكاني لفئات شدة الجفاف، ويظهر من المقارنة اختلاف واضح في توزيع درجات شدة الجفاف داخل الناحية ، مع استمرار التباين المكاني بين أجزاء الناحية.

الخريطة(١٣) التوزيع المكاني لمؤشر بالمر ٢٠٠٠ الخريطة (١٤) التوزيع المكاني لمؤشر بالمر ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠– ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م

ويبين الجدول (٦) التغير في المساحات التي شغلتها فئات شدة الجفاف، إذ ارتفعت مساحة فئة الجفاف الشديد جدا ذات الشدة الأعلى من (٢٢،٨٤٥) كم^{٢} عام (٢٠٠٠) إلى (٥٥،٦٥١) كم^{٢} عام (٢٠٢٣)، في حين انخفضت مساحة الفئات ذات الشدة المرتفعة والمتوسطة والمنخفضة نسبيا من (٥٤،٤٤١) و(٧٥،٥٧٠) و(١٠٧،٨٠٣) كم^{٢} إلى (٤٥،٦١٢) و(٥٦،٣٥٥) و(٧٨،٦٤٨) كم^{٢} على التوالي، بينما ارتفعت مساحة الفئة المصنفة ضمن الجفاف الشديد جدا

ذات الشدة الأقل مكانيا من (٨٠,٠١١) كم^{٢} إلى (١٠٤,٤٠٤) كم^{٢}، وتوضح الخريطتان والجدول تغيرا في توزيع شدة الجفاف داخل الناحية.

جدول (٦) التغير المكاني لشدة الجفاف وفق PDSI بين (٢٠٠٠– ٢٠٢٥)

فئة شدة الجفاف	٢٠٠٠ (كم^{٢})	٢٠٢٥ (كم^{٢})	مقدار التغير (كم^{٢})
جفاف شديد جدا – أعلى شدة	٢٢,٨٤٥	٥٥,٦٥١	+٣٢,٨٠٦
جفاف شديد جدا – شدة مرتفعة	٥٤,٤٤١	٤٥,٦١٢	–٨,٨٢٩
جفاف شديد جدا – شدة متوسطة	٧٥,٥٧٠	٥٦,٣٥٥	–١٩,٢١٥
جفاف شديد جدا – شدة منخفضة نسبيا	١٠٧,٨٠٣	٧٨,٦٤٨	–٢٩,١٥٥
جفاف شديد جدا – الأقل شدة مكانيا	٨٠,٠١١	١٠٤,٤٠٤	+٢٤,٣٩٣
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطة (١٣) و (١٤)

ويتزامن هذا التغير مع اختلاف واضح في القيم العامة لمؤشر (PDSI) في بيانات البحث، إذ انتقل المتوسط من (–٧,٤٥١) عام (٢٠٠٠) إلى (١,٦٦٧) عام (٢٠٢٤)، وهو ما يعكس تغيرا كبيرا في الحالة المائية العامة بين الفترتين، كما أن متوسط (NDVI) ارتفع من (٠,٣٦٦) إلى (٠,٤٢٩)، وارتفع متوسط (NDMI) من (٠,٠٩٣) إلى (٠,١٢١)، في حين انخفض متوسط التساقط المطري من (٢٢٠,٢٣) ملم إلى (٢١٣,١٣) ملم وارتفع متوسط درجة الحرارة من (١٦,٤٥)°م إلى (١٩,٣٨)°م، وتبين هذه التغيرات أن حالة الجفاف خلال الفترة المدروسة لا يمكن قراءتها بالاعتماد على الأمطار وحدها، وإنما ضمن العلاقة بين الإمداد المطري والظروف الحرارية والحالة المائية العامة ويكتسب التغير في مؤشر (PDSI) أهمية خاصة في البحث الحالي لأنه يمثل أحد المتغيرات المستخدمة في تفسير استجابة الغطاء النباتي، لذا فإن اختلاف شدة الجفاف وتوزيعها المكاني بين الفترتين يوفر أساسا لمقارنة التغير في حالة الغطاء النباتي ورطوبته مع التغير في الظروف المائية، كما أن اختلاف التوزيع المكاني لفئات الجفاف بين الخريطتين يشير إلى أن التحول في الحالة المائية لم يكن متجانسا داخل ناحية قسروك، وهو ما يمهد للانتقال إلى دراسة التغير في معامل الجفاف ضمن نموذج (MGWR) لاحقا، حيث سيتم الانتقال من وصف حالة الجفاف إلى قياس اختلاف تأثيره في الغطاء النباتي مكانيا.

النموذج المكاني المستخدم في تحليل استجابة الغطاء النباتي (MGWR)

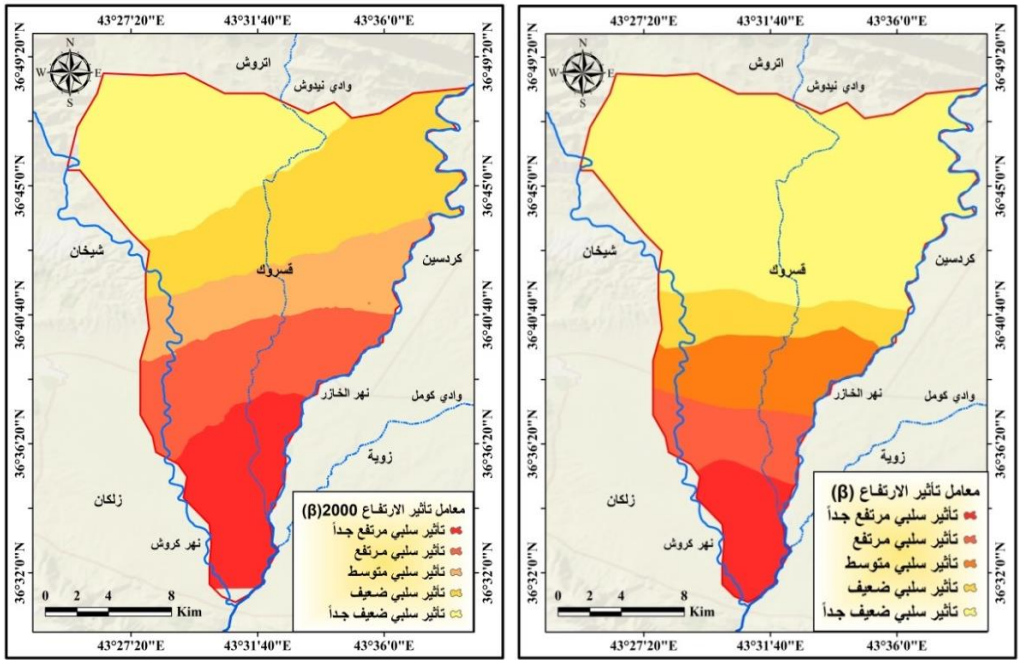
تفرض طبيعة العلاقات بين الغطاء النباتي والعوامل المناخية والبيئية التعامل مع البيانات بوصفها علاقات مكانية وليست علاقات إحصائية عامة فقط، إذ قد تختلف قوة العلاقة واتجاهها من موقع إلى آخر تبعا لاختلاف الظروف المحلية، ولذلك فإن نموذج الانحدار العالمي لا يكون كافيا عندما تكون العلاقات غير مستقرة مكانيا، وتزداد أهمية هذه المسألة عند دراسة منطقة تتباين فيها الخصائص المناخية والطبوغرافية والتربوية مثل ناحية قسروك إذ إن استخدام معامل واحد لكل متغير يفترض أن تأثيره متشابه في جميع المواقع في حين أن الاستجابة الفعلية للغطاء النباتي قد تتباين مكانيا ويعد هذا النموذج امتدادا للانحدار الجغرافي الموزون وقد طور لمعالجة اختلاف المقياس المكاني للعلاقات بين المتغيرات إذ يسمح بتقدير معاملات محلية تختلف من موقع إلى آخر وفي ذات الوقت لا يفترض أن جميع المتغيرات تعمل ضمن النطاق المكاني نفسه بل يحدد نطاقا مكانيا مستقلا لكل متغير من خلال قيمة (Bandwidth) بذلك يمكن معرفة ما إذا كان تأثير متغير معين يرتبط بالظروف القريبة من الموقع أم يمتد إلى نطاق مكاني أوسع وهذه الخاصية تجعل النموذج أكثر ملاءمة لدراسة العلاقات البيئية متعددة العوامل والتي يمكن أن تختلف في طبيعة تأثيرها وفي المقياس المكاني الذي تعمل عنده وتتمثل القيمة الأساسية للنموذج في أنه لا ينتج معامل واحد للعلاقة بين المتغير التابع وكل متغير مفسر وإنما ينتج معاملات محلية يمكن من خلالها الكشف عن التباين المكاني في اتجاه العلاقة وقوتها ويوفر لكل متغير نطاق مكاني خاص به مما يتيح التمييز بين العلاقات ذات الطابع المحلي والعلاقات التي تكون أكثر استقرارا على نطاق أوسع (Fotheringham et al:2017:p1259)وبناء على طبيعة البحث الحالي اختير (MGWR) لتحليل استجابة مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) للتساقط المطري ودرجة الحرارة ومؤشر الجفاف (PDSI) ومؤشر رطوبة الغطاء النباتي (NDMI) والارتفاع لأن الهدف لا يقتصر على معرفة وجود علاقة بين هذه المتغيرات وإنما يتجه إلى الكشف عن اختلاف هذه العلاقات مكانيا ومعرفة ما إذا كانت المتغيرات الخمسة تعمل ضمن مقياس مكاني واحد أم أن لكل منها نطاقا مكانيا مختلفا كما تسمح مقارنة معاملات النموذج بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥) بتحديد مدى تغير اتجاه وقوة الاستجابة المكانية للغطاء النباتي خلال الفترة المدروسة ولغرض تقييم مدى ملاءمة النموذج المكاني لا تعرض نتائج (MGWR) بمعزل عن النموذج العالمي بل تقارن مع نتائج الانحدار الخطي العام (OLS) من خلال مؤشرات ملاءمة النموذج مثل (R^2) و(R^2 المعدل) و(AICc) إلى جانب فحص الارتباط المكاني في البواقي وبذلك لا يعتمد الحكم على النموذج الأفضل على ارتفاع قيمة معامل التحديد

وحده وإنما ينظر أيضا إلى قدرة النموذج على تمثيل البنية المكانية للبيانات وتحسين تفسير العلاقات دون تجاهل طبيعة الاعتماد المكاني .

التغير المكاني في معامل تأثير الارتفاع في نموذج (MGWR)

كشفت نتائج النموذج أن تأثير الارتفاع في مؤشر (NDVI) لم يكن ثابتا مكانيا، بل اختلفت قوة العلاقة بين مواقع منطقة البحث، كما يتضح من الخريطتين (١٥، ١٦) ويظهر التغير بصورة خاصة في انتقال مساحة واسعة من المواقع من مستويات التأثير السلبي الأقوى إلى المستوى السلبي الضعيف جدا، إذ اتسعت هذه الفئة من (٨٩،٤٤٤) كم^{٢} عام (٢٠٠٠) إلى (١٩٩،٧١٥) كم^{٢} عام (٢٠٢٥)، في مقابل تراجع الفئات ذات التأثير السلبي الأقوى، مما يشير إلى ضعف الارتباط بين الارتفاع وحالة الغطاء النباتي في أجزاء واسعة من الناحية خلال الفترة المدروسة وتبرز أهمية (MGWR) في هذه النتيجة لأنه أظهر أن أثر الارتفاع لا يمكن تمثيله بمعامل واحد على مستوى ناحية قسروك، إذ كشف التباين المحلي في قوة العلاقة ومكن من تحديد المناطق التي يكون فيها الارتفاع أكثر ارتباطا بتغير (NDVI) والمناطق التي يضعف فيها هذا الارتباط، كما أن تغير المعاملات المحلية بين الفترتين يدل على أن العلاقة لم تحافظ على المستوى المكاني نفسه مع الزمن، وهو ما يصعب الكشف عنه من خلال نموذج الانحدار العالمي الذي يفترض ثبات المعامل عبر منطقة البحث .

الخريطة(١٥ ، ١٦)التغير المكاني لمعامل تأثير الارتفاع في نموذجMGWR



المصدر: من نتائج نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس(MGWR) ، وإعداد الباحث باستخدام برنامج ArcGIS 108

جدول (٧) التغير المكاني لمعامل تأثير الارتفاع في نموذج MGWR بين (٢٠٠٠– ٢٠٢٥)

فئة التأثير	٢٠٠٠ (كم٢)	٢٠٢٥ (كم٢)	مقدار التغير (كم٢)
تأثير سلبي مرتفع جدا	٤٨,٤٧٨	١٨,٩٦٢	−٢٩,٥١٦
تأثير سلبي مرتفع	٦٠,٧٦٤	٣٧,٩٥٤	−٢٢,٨١٠
تأثير سلبي متوسط	٥١,٢٣٧	٥١,٦٩٣	+٠,٤٥٦
تأثير سلبي ضعيف	٩٠,٧٤٧	٣٢,٣٤٧	−٥٨,٤٠٠
تأثير سلبي ضعيف جدا	٨٩,٤٤٤	١٩٩,٧١٥	+١١٠,٢٧١
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

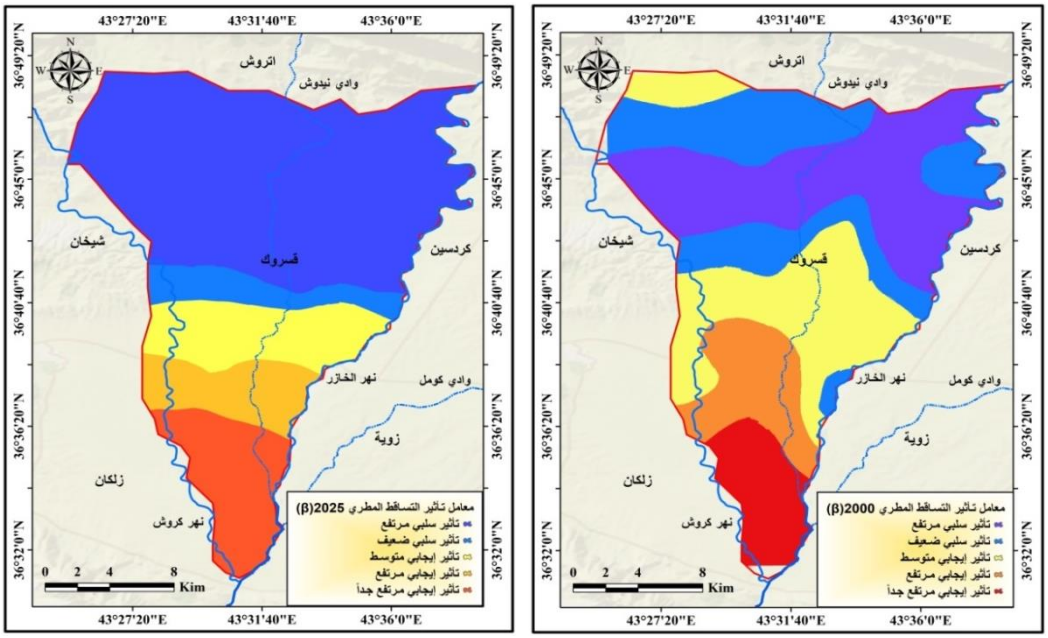
المصدر: بالاعتماد على بيانات الخرائط (١٥، ١٦)

ويكتسب هذا التغير دلالته عند النظر إلى الارتفاع ضمن منظومة العوامل الأخرى لأن أثره في الغطاء النباتي قد يتداخل مع التغير في درجة الحرارة والرطوبة والتربة والانحدار لذلك فإن التحول الذي كشفه (MGWR) لا يعني تغير أثر الارتفاع بمعزل عن البيئة المحيطة وإنما يعكس تغيرا في المساهمة المكانية للارتفاع ضمن منظومة العوامل المفسرة للغطاء النباتي وهذه هي القيمة الرئيسة التي يضيفها النموذج إلى تفسير التباين المكاني في استجابة (NDVI) .

التغير المكاني في معامل تأثير التساقط المطري في نموذج (MGWR)

كشفت نتائج النموذج أن علاقة التساقط المطري بمؤشر (NDVI) اتخذت نمطا مكانيا مختلفا بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥)، وهو ما يظهر في الخريطتين الممثلتين للتوزيع المكاني للمعامل، ويشير اتساع نطاق التأثير السلبي في التمثيل المكاني لعام (٢٠٢٥) إلى أن العلاقة بين كمية التساقط والنشاط النباتي لم تعد متجانسة على مستوى ناحية قسروك، بل أصبحت أكثر تباينا من موقع إلى آخر، وهو ما يمثل أحد الجوانب التي يكشف عنها (MGWR) بصورة أفضل من النموذج العالمي وتبرز قيمة النموذج في أنه يبين أن تأثير التساقط المطري لا يمكن اختزاله في علاقة واحدة تمثل الناحية بأكملها، إذ تتغير المعاملات محليا تبعا للموقع، وقد تراوحت معاملات التساقط المطري عام (٢٠٢٥) بين نحو (−٠,٠٠٠٣٠٥٣) و(٠,٠٠٠٥٩٤٣)، بما يعكس اختلافا واضحا في اتجاه العلاقة وقوتها مكانيا، كما أن نطاق هذا التباين كان أكثر وضوحا في (٢٠٢٥) مقارنة بـ(٢٠٠٠)، الأمر الذي يشير إلى تغير المقياس المكاني للعلاقة مع الزمن (Fotheringham et al:2017)

الخريطتين(١٧، ١٨) التغير المكاني لمعامل تأثير الارتفاع في نموذجMGWR



المصدر: من نتائج نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس(MGWR) ، باستخدام برنامجArcGIS 108

جدول (٨)التوزيع المساحي والتغير في معامل تأثير التساقط المطري في نموذج MGWR (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

فئة تأثير التساقط المطري	٢٠٠٠ (كم٢)	٢٠٢٥ (كم٢)	مقدار التغير (كم٢)
تأثير سلبي مرتفع	١٠١,٣١٩	١٩٢,٧٠٦	+٩١,٣٨٨
تأثير سلبي ضعيف / قريب من الصفر	٨٦,٢٩١	٣٢,٦٩٠	–٥٣,٦٠١
تأثير إيجابي متوسط	٨٣,٦٢٤	٥٠,٣٠٠	–٣٣,٣٢٤
تأثير إيجابي مرتفع	٣٧,٥٢٤	٢٨,٨٩٠	–٨,٦٣٤
تأثير إيجابي مرتفع جدا	٣١,٩١٣	٣٦,٠٨٣	+٤,١٧١
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخرائط (١٧، ١٨)

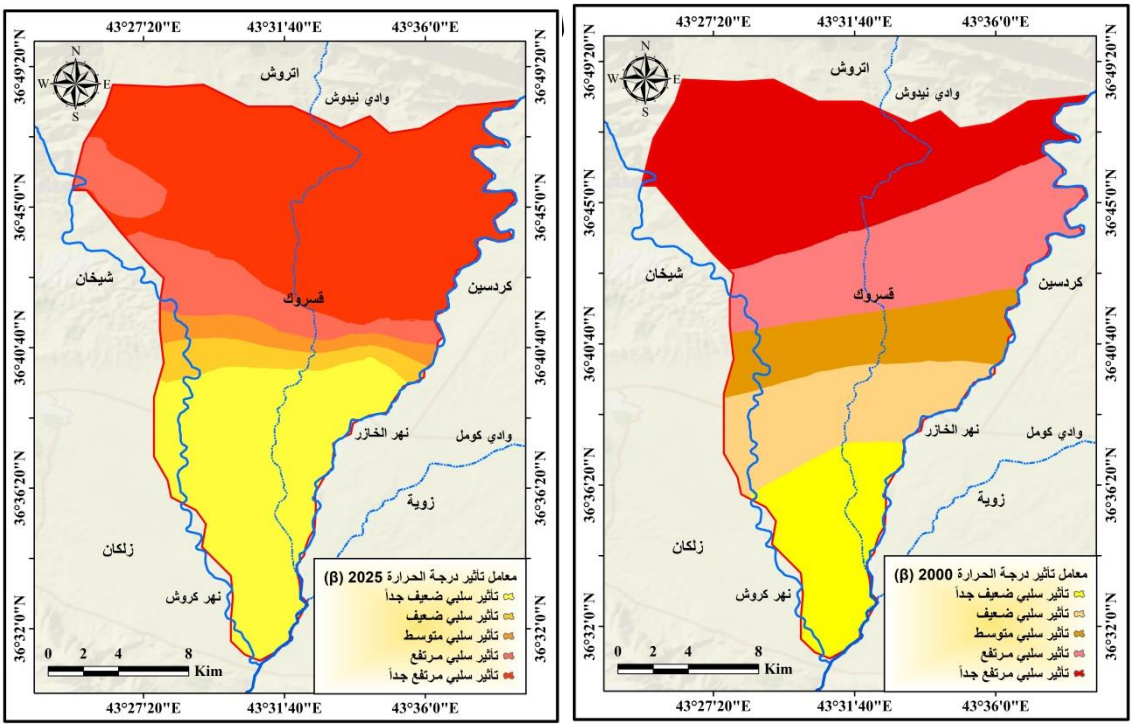
وتدل هذه النتيجة على أن انخفاض أو ارتفاع التساقط لا يؤدي بالضرورة إلى الاستجابة النباتية نفسها في جميع أجزاء المنطقة، لأن أثر المطر يتأثر بخصائص الموقع والظروف المائية والحرارية والتضاريسية، ومن هنا تظهر أهمية (MGWR) في الكشف عن أين يزداد تأثير

التساقط وأين يضعف، وكيف يتغير هذا التأثير مكانيا بين الفترتين، بدلا من الاكتفاء بمعامل عام واحد على مستوى الناحية.

التغير المكاني في معامل تأثير درجة الحرارة في نموذج (MGWR)

تكشف نتائج نموذج (MGWR) أن العلاقة بين درجة الحرارة ومؤشر (NDVI) اتسمت باستقرار اتجاهها العام، مع اختلاف واضح في قوة التأثير من موقع إلى آخر، كما توضح الخريطتان (١٩) و(٢٠)، إذ بقيت المعاملات المحلية سالبة خلال الفترتين، إلا أن نطاق قوة هذا التأثير اتغير مكانيا بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥)، وهو ما يشير إلى أن ارتفاع درجة الحرارة يرتبط بانخفاض الاستجابة النباتية بدرجات متفاوتة تبعا للموقع والظروف البيئية المحيطة

الخريطتين(١٩، ٢٠)التغير المكاني لمعامل تأثير درجة الحرارة في نموذجMGWR



باستخدام برنامجArcGIS 108

ويظهر هذا التغير بوضوح من خلال انتقال جزء من المساحة نحو فئة التأثير السلبي الضعيف جدا، التي ارتفعت من (٤٨،٨٨٣–٧٩،٩٣٩) كم^{٢}، في مقابل تقلص بعض الفئات ذات التأثير السلبي الأشد، مما يعكس تغيرا في التوزيع المكاني لقوة العلاقة، وليس تغيرا في اتجاهها، وتدعم القيم المحلية هذا التباين، إذ تراوح معامل درجة الحرارة في عام (٢٠٢٥) بين (–٠،٠٠٤٠٤٠٢– ٠،٠٠١٣٧٤٣–)، وهو نطاق يكشف عن اختلاف ملحوظ في مقدار التأثير الحراري بين المواقع وتبرز أهمية (MGWR) في هذه النتيجة من خلال قدرته على إظهار أن التأثير الحراري، رغم

ثبات اتجاهه العام، لا يعمل بالقوة نفسها في كامل ناحية قسروك، إذ يمكن أن تكون العلاقة أكثر وضوحا في مواقع معينة وأضعف في مواقع أخرى، وهو ما يسمح بفهم أفضل للتباين المكاني في استجابة الغطاء النباتي لدرجة الحرارة، ولا سيما عند وجود اختلاف في الارتفاع والرطوبة والتربة والتساقط المطري، وبذلك يوضح النموذج أن العلاقة بين الحرارة والغطاء النباتي ليست علاقة مكانية متجانسة حتى عندما يبقى اتجاهها واحدا (Fotheringham et al:2017)

جدول (٩) التوزيع المساحي لفئات معامل تأثير درجة الحرارة في نموذج MGWR (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

فئة تأثير الحرارة	٢٠٠٠ (كم٢)	٢٠٢٥ (كم٢)	مقدار التغير (كم٢)
تأثير سلبي ضعيف جدا	٤٨,٨٨٣	٧٩,٩٣٩	+٣١,٠٥٦
تأثير سلبي ضعيف	٥٣,٣١٣	٣٥,٥٤٤	–١٧,٧٦٨
تأثير سلبي متوسط	٤٧,١٢٨	٢١,٧٦٤	–٢٥,٣٦٣
تأثير سلبي مرتفع	٨٤,٧١٣	١٠٣,٠١١	+١٨,٢٩٨
تأثير سلبي مرتفع جدا	١٠٦,٦٣٤	١٠٠,٤١١	–٦,٢٢٣
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

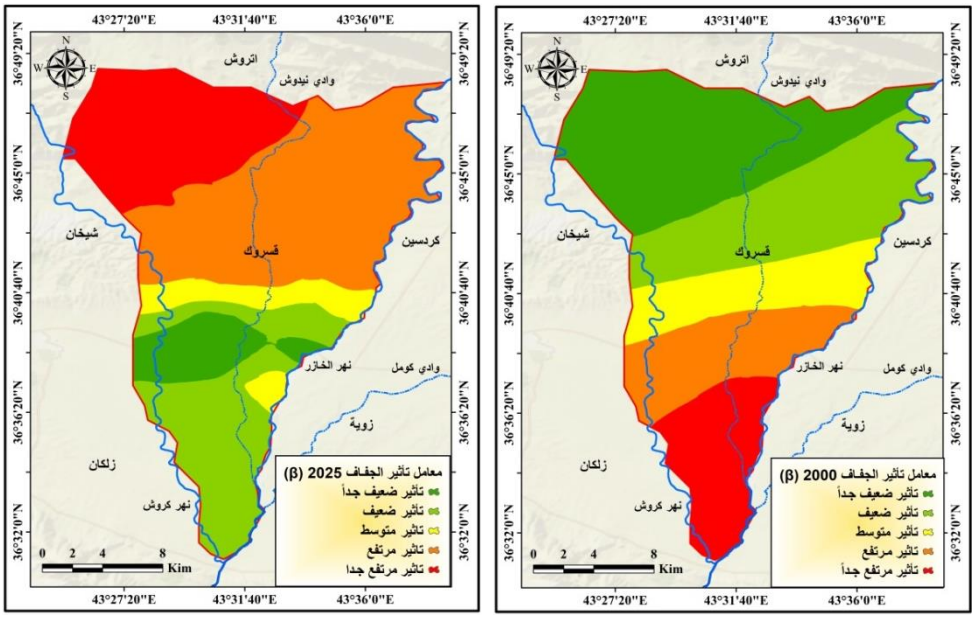
المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطتين (١٩، ٢٠)

وتكتسب هذه النتيجة أهمية في تفسير التغير النباتي خلال مدة البحث، لأن ارتفاع متوسط درجة الحرارة بين الفترتين من (١٦,٤٥)°م إلى (١٩,٣٨)°م ترافق مع استمرار الإشارة السالبة للمعامل المحلي، إلا أن مقدار التأثير اختلف مكانيا، مما يؤكد أن الاستجابة النباتية للحرارة لا تحددها قيمة الحرارة وحدها، وإنما تتشكل ضمن مجموعة من الظروف المحلية، وهنا تظهر الإضافة العلمية للنموذج في تحويل العلاقة من معامل حراري عام إلى نمط مكاني يمكن تحديد اختلافه بين مواقع منطقة البحث

التغير المكاني في معامل تأثير الجفاف (PDSI) في نموذج (MGWR)

كشفت نتائج نموذج (MGWR) أن العلاقة بين مؤشر الجفاف ومؤشر (NDVI) شهدت تغيرا مكانيا واضحا بين الفترتين، إذ لم يحتفظ تأثير الجفاف بالقوة المكانية نفسها في أجزاء منطقة البحث، كما يتضح من الخريطتين (٢١، ٢٢) ويبرز هذا التغير في انتقال الثقل المكاني للمعاملات نحو المستويات الأعلى من التأثير، وهو ما يعكس تغيرا في أهمية الحالة المائية في تفسير التباين المكاني للغطاء النباتي بين الفترتين

الخريطتين(٢١، ٢٢)التغير المكاني لمعامل تأثير الارتفاع في نموذجMGWR



المصدر: من نتائج نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس(MGWR) ، باستخدام برنامجArcGIS 108

وتبرز هنا قيمة (MGWR) في أنه أظهر أن هذا التغير لم يكن مجرد تغير في المتوسط العام، بل امتد إلى المقياس المكاني للعلاقة نفسها، إذ بلغ نطاق (PDSI) نحو (٣٣٩) موقعا في (٢٠٠٠)، ثم انخفض إلى (٢٢) موقعا في (٢٠٢٥)، مما يشير إلى انتقال العلاقة من نمط مكاني واسع ومتقارب إلى علاقة أكثر محلية وتباينا بين المواقع، وهذه النتيجة مهمة لأنها تكشف أن دور الحالة المائية في تفسير الغطاء النباتي أصبح أكثر اعتمادا على الخصائص المحلية للموقع خلال الفترة اللاحقة، وهو ما لا يظهر عند استخدام معامل انحدار عالمي واحد

جدول (١٠) التوزيع المساحي لفئات معامل تأثير PDSI في نموذج MGWR والتغير بينها

فئة معامل تأثير PDSI	٢٠٠٠ (كم٢)	٢٠٢٥ (كم٢)	مقدار التغير (كم٢)
تأثير ضعيف جدا	٨٩,٧٩٩	٥٢,٢٦٩	٣٧,٥٢٩–
تأثير ضعيف	٩٦,٦٢٤	٢٩,٨٦٩	٦٦,٧٥٥–
تأثير متوسط	٥٠,٢٨٦	٤٩,٥٨٢	٠,٧٠٤–
تأثير مرتفع	٥٥,٣١٧	٢٩,٦٢٢	٢٥,٦٩٥–
تأثير مرتفع جدا	٤٨,٦٤٤	١٧٩,٣٢٨	١٣٠,٦٨٣+
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطتين (٢١، ٢٢)

وبذلك يبين النموذج أن تغير علاقة الجفاف بالغطاء النباتي لم يكن مرتبطا فقط بتغير حالة الجفاف نفسها، وإنما صاحبه تغير في القوة والتوزيع والمقياس المكاني للعلاقة، وهو ما يمنح نتائج (MGWR) قيمة تفسيرية أكبر في فهم التباين المكاني في استجابة الغطاء النباتي داخل ناحية قسروك .

التغير المكاني في معامل تأثير رطوبة الغطاء النباتي (NDMI) في نموذج(MGWR)

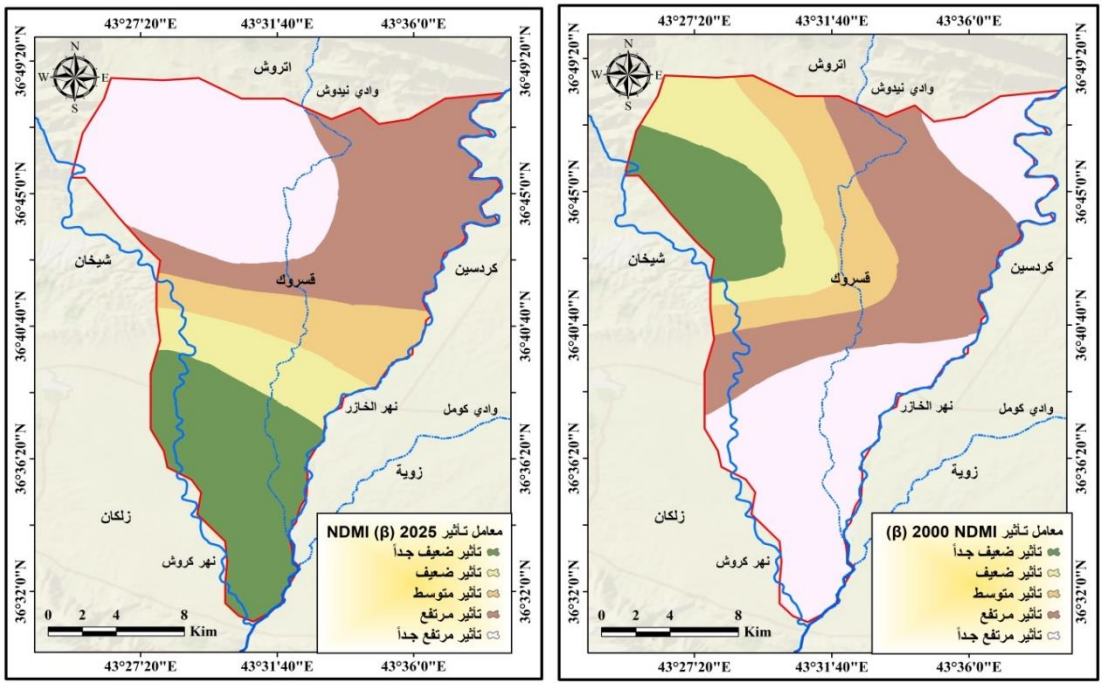
كشفت نتائج النموذج أن رطوبة الغطاء النباتي تمثل العلاقة الأكثر استقرارا في تفسير التباين المكاني لمؤشر(NDVI) ، إذ حافظ معامل تأثير (NDMI) على اتجاه موجب خلال عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥)، مع بقاء العلاقة دالة إحصائيا في جميع مواقع العينة تقريبا، كما توضح الخريطتان (١٧) و(١٨)، ويشير ذلك إلى أن ارتفاع رطوبة الغطاء النباتي يرتبط بزيادة قيمة (NDVI)، إلا أن قوة هذا الارتباط تختلف مكانيا داخل منطقة البحث ويظهر التغير المكاني في قوة العلاقة من خلال انتقال جزء من مساحة منطقة البحث بين مستويات التأثير المختلفة، مع بقاء المستويات المرتفعة هي الأكثر حضورا، وقد ارتفعت مساحة فئة التأثير المرتفع جدا من (٩٢,٩٩١) كم² عام (٢٠٠٠) إلى (١٠٥,٢٧١) كم² عام (٢٠٢٥)، في حين اتسعت كذلك مساحة التأثير الضعيف جدا، وهو ما يدل على أن العلاقة لم تتغير باتجاه واحد في جميع المواقع، وإنما أعيد توزيع قوة التأثير مكانيا بين الفئات المختلفة

جدول (١١) التوزيع المساحي لفئات معامل تأثير NDMI في نموذج MGWR للمدة ٢٠٠٠–٢٠٢٥

فئة معامل تأثير NDMI	٢٠٠٠) كم²(	٢٠٢٥) كم²(	التغير (كم²)
تأثير ضعيف جدا	٤٣,٥٠٥	٧٤,٧١٨	+٣١,٢١٣
تأثير ضعيف	٤٩,٢٢٨	٣٠,٠٣٩	–١٩,١٨٩
تأثير متوسط	٥٢,٩٠٣	٣٦,٧٦٩	–١٦,١٣٤
تأثير مرتفع	١٠٢,٠٤٣	٩٣,٨٧٤	–٨,١٦٩
تأثير مرتفع جدا	٩٢,٩٩١	١٠٥,٢٧١	+١٢,٢٨٠
المجموع	٣٤٠,٦٧٠	٣٤٠,٦٧٠	٠,٠٠٠

المصدر: بالاعتماد على بيانات الخريطتين (٢٣، ٢٤)

الخريطتين(٢٣، ٢٤)التغير المكاني لمعامل تأثير الارتفاع في نموذجMGWR



المصدر: من نتائج نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس(MGWR) ، باستخدام برنامجArcGIS 108

وتبرز قيمة (MGWR) بوضوح في هذه النتيجة، إذ لم يكتف النموذج بإثبات وجود علاقة موجبة بين (NDMI) و(NDVI)، ينظر الجدول (١٢)وإنما أظهر أن قوة هذه العلاقة تختلف مكانيا، كما كشف عن اختلاف المقياس المكاني الذي تعمل عنده، فقد بلغ نطاق (NDMI) نحو (١٤٢) موقعا عام (٢٠٠٠)، ثم اتسع إلى (٢٠٦) مواقع عام (٢٠٢٥)، وهو ما يشير إلى أن تأثير رطوبة الغطاء النباتي أصبح أكثر امتدادا مكانيا في الفترة اللاحقة، مقارنة ببقية المتغيرات التي اتخذت نطاقات أكثر محلية وتعطي هذه النتيجة أهمية خاصة لمؤشر (NDMI) في تفسير التغير النباتي، إذ إن ارتفاع متوسط معامل تأثيره من (١,١٥١٧٤٠) إلى (١,١٥٩٧٨٢)، مع دلالته في (٣٤٠) موقعا عام (٢٠٠٠) و(٣٣٩) موقعا عام (٢٠٢٥)، يؤكد أن العلاقة بين رطوبة الغطاء النباتي وحالته الخضرية هي الأكثر ثباتا بين العلاقات التي كشفها البحث، وفي الوقت نفسه يوضح (MGWR) أن هذا التأثير لا يظهر بالقوة نفسها في جميع أجزاء ناحية قسروك، بل يتباين مكانيا ضمن نطاقات مختلفة، وهو ما يمثل إحدى أهم الإضافات التي يقدمها النموذج في تفسير استجابة الغطاء النباتي (Fotheringham et al:2017)

الجدول (١٢) مقارنة التوزيع المكاني لمعاملات (MGWR) بين عامي (٢٠٠٠ – ٢٠٢٥)

المتغير	الاتجاه العام للمعامل في ٢٠٠٠	الاتجاه العام للمعامل في ٢٠٢٥	أبرز تغير مكاني
التساقط	موجب	موجب وسالب مكانيا	اتساع التأثير السلبي
درجة الحرارة	سالب	سالب	إعادة توزيع قوة التأثير
PDSI	موجب	موجب	اتساع الفئة ذات التأثير الأعلى
NDMI	موجب	موجب	بقاء التأثير القوي مع إعادة توزيع مساحته
الارتفاع	موجب	سالب	تحول واضح في اتجاه العلاقة

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج النماذج والتحليل المكاني

نمذجة الاستجابة المكانية للغطاء النباتي باستخدام(MGWR)

بعد تحليل التغيرات المكانية في مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر رطوبة الغطاء النباتي (NDMI) والتغير في التساقط المطري ودرجة الحرارة ومؤشر الجفاف (PDSI) انتقل البحث إلى تحليل طبيعة العلاقة بين الغطاء النباتي والعوامل المناخية والبيئية المؤثرة فيه بهدف الكشف عن مدى اختلاف هذه العلاقات مكانيا وزمنيا داخل ناحية قسروك وقد اعتمد التحليل على (٣٤٠) موقعا مكانيا ثابتا موزعة داخل منطقة البحث ومثل (NDVI) المتغير التابع في حين مثلت التساقط المطري ودرجة الحرارة و(PDSI) و(NDMI) والارتفاع المتغيرات التفسيرية وجرى بناء نموذج مستقل لكل من عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥) بدأ التحليل بنموذج الانحدار الخطي العام (OLS)لتحديد طبيعة العلاقة العامة بين المتغير التابع والمتغيرات المفسرة وقد بلغت القدرة التفسيرية للنموذج (R^2) نحو (٠,٩١٣) في عام (٢٠٠٠) و(٠,٩٢٣) في عام (٢٠٢٥) وهي قيم مرتفعة تشير إلى أن المتغيرات المدخلة تفسر جانبا كبيرا من التباين في (NDVI) إلا أن نموذج (OLS) يفترض ثبات العلاقات في جميع مواقع منطقة البحث وهو افتراض قد لا يتوافق مع التباين الجغرافي في التضاريس والظروف المناخية ورطوبة السطح ولذلك جرى فحص الأخطاء المتبقية للنموذج مكانيا باستخدام إحصائية(Moran's I) وأظهرت النتائج وجود ارتباط ذاتي مكاني موجب ودال إحصائيا في أخطاء(OLS) بلغت قيمته (٠,١٠٨) في عام (٢٠٠٠) و(٠,١٥٠) في عام (٢٠٢٥) الأمر الذي يشير إلى بقاء نمط مكاني في الأخطاء لم يستطع النموذج العام تفسيره بصورة كاملة وبناء على ذلك اعتمد نموذج الانحدار الجغرافي الموزون متعدد المقاييس (MGWR) بوصفه النموذج الرئيس للبحث لأنه لا يفترض ثبات العلاقة داخل كامل الناحية بل يسمح بتغير معاملات المتغيرات مكانيا كما يسمح بأن يعمل كل متغير ضمن

نطاق مكاني مختلف عن المتغيرات الأخرى وتكتسب هذه الخاصية أهمية خاصة في ناحية قسروك حيث تختلف الظروف التضاريسية والمناخية ورطوبة السطح من موقع إلى آخر وبالتالي فإن تأثير العامل نفسه في الغطاء النباتي قد لا يكون متساويا في جميع أجزاء المنطقة كما أن المقياس المكاني الذي تظهر عنده العلاقة قد يختلف بين التساقط المطري ودرجة الحرارة والجفاف والرطوبة والارتفاع. (Fotheringham et al:2017)

وقد أظهر نموذج (MGWR) تحسنا في القدرة التفسيرية مقارنة بنموذج (OLS) إذ ارتفعت قيمة (R^2) من (٠,٩١٣) إلى (٠,٩٣١) في عام (٢٠٠٠) ومن (٠,٩٢٣) إلى (٠,٩٥١) في عام (٢٠٢٥) كما ارتفعت قيمة (R^2) المعدل في كلا العامين وهو ما يعكس قدرة النموذج المكاني على تفسير جانب إضافي من التباين في (NDVI) من خلال السماح للعلاقات بأن تختلف من موقع إلى آخر وفي الوقت نفسه أظهر اختبار (Moran's I) لأخطاء (MGWR) في عام (٢٠٠٠) قيمة بلغت (–٠,٠٤٠) وباحتمالية (٠,١٠١) أي دون دلالة إحصائية مما يشير إلى اختفاء الارتباط المكاني الموجب الذي ظهر في نموذج(OLS) بينما بلغت القيمة في عام (٢٠٢٥) (–٠,١٢٨) وكانت دالة إحصائيا وهو ما يدل على أن النموذج استوعب جزءا كبيرا من البنية المكانية مع بقاء نمط مكاني متبقٍ في هذه السنة

جدول (٥): مقارنة الأداء العام لنموذجي (OLS) و(MGWR)

المؤشر	OLS٢٠٠٠	MGWR٢٠٠٠	OLS٢٠٢٥	MGWR٢٠٢٥
R^2	٠,٩١٢٦٥٥	٠,٩٣٠٦٩٥	٠,٩٢٣٣٧٥	٠,٩٥٠٥٤٣
R^2 المعدل	٠,٩١١٣٤٧	٠,٩٢٣٩٤٩	٠,٩٢٢٢٢٨	٠,٩٣٦٨٦٠
AICc	١٢٠١,٨٦٧–	١٢٢٤,١٦٧–	١٠٧٩,٩٦٦–	١٠٤٩,٦٥٨–
Moran's I للبواقي	٠,١٠٨	٠,٠٤٠–	٠,١٥٠	٠,١٢٨–
دلالة Moran's I	٠,٠٠١	٠,١٠١	٠,٠٠١	٠,٠٠١

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج النماذج والتحليل المكاني

وتتمثل القيمة الرئيسة لنموذج (MGWR) في تحديد المقياس المكاني لكل علاقة، وليس مجرد إعطاء معامل واحد يمثل منطقة البحث بأكملها فقد بلغت قيمة نطاق التساقط المطري (٣٩) موقعا في عام (٢٠٠٠) وانخفضت إلى (٢١) موقعا في عام (٢٠٢٥)، بينما انتقلت درجة الحرارة و (PDSI)والارتفاع من نطاق واسع بلغ (٣٣٩) موقعا في عام (٢٠٠٠) إلى نطاق محلي تراوح بين (٢٢) و(٢١) موقعا في عام (٢٠٢٥)، في حين ارتفع نطاق (NDMI) من (١٤٢) إلى (٢٠٦) مواقع ويكشف ذلك عن أن العلاقات المؤثرة في استجابة الغطاء النباتي لا

تعمل على المقياس المكاني نفسه، كما أن هذا المقياس نفسه شهد تغيرا بين الفترتين، وهو جانب جغرافي لا يستطيع نموذج الانحدار العام إظهاره

جدول (٦): النطاقات المكانية لمتغيرات نموذج(MGWR)

المتغير	نطاق (MGWR) عام ٢٠٠٠	نطاق (MGWR) عام ٢٠٢٥	التغير
التساقط المطري	٣٩	٢١	١٨–
درجة الحرارة	٣٣٩	٢٢	٣١٧–
(PDSI)	٣٣٩	٢٢	٣١٧–
(NDMI)	١٤٢	٢٠٦	٦٤+
الارتفاع	٣٣٩	٢٢	٣١٧–

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج نموذج(MGWR)

ويبين التوزيع المكاني للمعاملات المحلية في خرائط النموذج أن التأثيرات لم تكن متجانسة داخل ناحية قسروك، وهو ما يتضح بصورة خاصة في التساقط المطري والارتفاع، إذ شهدت معاملاتهما تغيرا واضحا في الاتجاه بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥)، في حين حافظت درجة الحرارة على الاتجاه السالب، وحافظ (PDSI) و (NDMI)على الاتجاه الموجب ويعني ذلك أن الانتقال من نموذج عالمي إلى نموذج متعدد المقاييس لم يكن مجرد تحسين إحصائي، بل كشف بنية جغرافية مختلفة للعلاقات، بحيث تختلف استجابة الغطاء النباتي باختلاف الموقع والظروف المحيطة به

جدول (٧): التغير في متوسط المعاملات المحلية بين عامي (٢٠٠٠–٢٠٢٥)

المتغير	متوسط المعامل المحلي ٢٠٠٠	متوسط المعامل المحلي ٢٠٢٥	التغير في المعامل	المواقع التي تغيرت فيها الإشارة
التساقط المطري	٠,٠٠٠٣٤٣	٠,٠٠٠٠٥٠٣–	٠,٠٠٠٨٤٦–	٢١٩
درجة الحرارة	٠,٠٠٤٧٧٠–	٠,٠٢٤٤٥٢–	٠,٠١٩٦٨٢–	٠
(PDSI)	٠,٠٤١٥٨٦	٠,١٢٨٣٠٢	٠,٠٨٦٧١٦+	٠
(NDMI)	١,١٥١٧٤٠	١,١٥٩٧٨٢	٠,٠٠٨٠٤٢+	٠
الارتفاع	٠,٠٠٠٠٠٥	٠,٠٠٠٨٦١–	٠,٠٠٠٨٦٦–	٣١٢

المصدر : من إعداد الباحث بالاعتماد على معاملات (MGWR) المحلية

مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦/ العدد ١١

ويظهر من هذه النتائج أن أكثر التغيرات وضوحا حدثت في العلاقة بين الغطاء النباتي والتساقط المطري والارتفاع، إذ تغيرت إشارة معامل التساقط المطري في (٢١٩) موقعا، بينما تغيرت إشارة معامل الارتفاع في (٣١٢) موقعا، في حين بقي تأثير درجة الحرارة سالبا في الفترتين مع زيادة مقدار المعامل السالب، وارتفع تأثير (PDSI) مع بقائه موجبا، كما ظل (NDMI) موجبا مع تغير محدود في متوسط معاملاته وتدل هذه الصورة على أن العلاقة بين الغطاء النباتي والعوامل البيئية لم تكن ثابتة عبر الزمن، وأن التغير المناخي والبيئي انعكس أيضا على البنية المكانية للعلاقات نفسها اما من حيث الدلالة الإحصائية للمعاملات المحلية، كان (NDMI) أكثر المتغيرات استقرارا، إذ كان معامل تأثيره دالا في جميع مواقع العينة في عامي البحث (٢٠٠٠)، وفي (٣٣٩) موقعا من أصل (٣٤٠) في عام (٢٠٢٥)، في حين لم تحقق المتغيرات الأخرى دلالة إحصائية محلية ضمن مواقع العينة، وتبرز هذه النتيجة الدور المباشر لرطوبة الغطاء النباتي في تفسير التباين المكاني في(NDVI) ، مع ضرورة تفسير بقية المتغيرات من خلال اتجاهاتها المكانية ومقاييسها المحلية وعدم التعامل معها بمعزل عن البنية المكانية العامة للنموذج (Fotheringham et al:2017).

جدول (٨): الدلالة المكانية للمعاملات في نموذج(MGWR)

المتغير	المواقع الدالة ٢٠٠٠	المواقع الدالة ٢٠٢٥
التساقط المطري	٠ من ٣٤٠	٠ من ٣٤٠
درجة الحرارة	٠ من ٣٤٠	٠ من ٣٤٠
(PDSI)	٠ من ٣٤٠	٠ من ٣٤٠
(NDMI)	٣٤٠ من ٣٤٠	٣٣٩ من ٣٤٠
الارتفاع	٠ من ٣٤٠	٠ من ٣٤٠

المصدر :من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج الدلالة الإحصائية للمعاملات المحلية

ويكتمل التفسير الجغرافي من خلال خرائط معاملات (MGWR) التي تمثل التوزيع المكاني المحلي لكل متغير، إذ توضح خريطة التساقط المطري لعام (٢٠٢٥) التباين المكاني في اتجاه وقوة العلاقة، كما توضح خريطة درجة الحرارة التوزيع المحلي للمعامل السالب، بينما تكشف خرائط (PDSI) و (NDMI)عن استمرار الاتجاه الموجب مع اختلاف شدته مكانيا، في حين تبين خريطة الارتفاع تحول العلاقة من معامل موجب ضعيف جدا في عام (٢٠٠٠) إلى علاقة سالبة ومتباينة مكانيا في عام (٢٠٢٥) وبذلك تؤدي الخرائط دورا تفسيريا أساسيا في البحث

لأنها تحول معاملات النموذج من قيم إحصائية إلى أنماط مكانية يمكن ربطها بالموقع والتضاريس والظروف البيئية داخل ناحية قسروك .

الاستنتاجات

١.أظهر البحث أن استجابة الغطاء النباتي في ناحية قسروك ليست متجانسة مكانيا أو زمنيا، إذ اختلفت العلاقات بين (NDVI) والعوامل المناخية والبيئية من موقع إلى آخر، كما تغيرت بعض هذه العلاقات بين عامي (٢٠٠٠) و(٢٠٢٥)، وهو ما يؤكد أهمية التحليل الجغرافي في تفسير التباين النباتي

٢.سجل الغطاء النباتي تحسنا عاما خلال مدة البحث، إذ ارتفع متوسط (NDVI) من (٠,٣٦٦) في عام (٢٠٠٠) إلى (٠,٤٢٩) في عام (٢٠٢٥)، وترافق ذلك مع تغير واضح في توزيع المساحات ضمن فئات الغطاء النباتي

٣.أظهر (NDMI) العلاقة الأكثر استقرارا مع(NDVI) ، إذ حافظ على اتجاه موجب خلال الفترتين، وكان معامل تأثيره المحلي دالا في جميع مواقع العينة تقريبا، مما يؤكد أهمية رطوبة الغطاء النباتي في تفسير التباين المكاني للغطاء النباتي

٤.بين نموذج (MGWR) أن العوامل المفسرة لا تعمل على مقياس مكاني واحد، فقد اختلفت النطاقات المكانية للمتغيرات، كما تغيرت هذه النطاقات بين عامي البحث مما يكشف عن تعدد المقاييس المكانية للعلاقات البيئية داخل ناحية قسروك

٥.شهدت العلاقة بين الغطاء النباتي والتساقط المطري والارتفاع أكبر التحولات المكانية، إذ تغيرت إشارة معامل التساقط المطري في (٢١٩) موقعا، بينما تغيرت إشارة معامل الارتفاع في (٣١٢) موقعا، في حين حافظت درجة الحرارة على الاتجاه السالب، وحافظ (PDSI) و (NDMI)على الاتجاه الموجب

٦. أظهر نموذج (MGWR) قدرة أكبر على تفسير التباين المكاني في (NDVI) مقارنة بالعلاقة العالمية، إذ ارتفع (R^2) من (٠,٩١٣) إلى (٠,٩٣١) في عام (٢٠٠٠)، ومن (٠,٩٢٣) إلى (٠,٩٥١)عام (٢٠٢٥)، مما يؤكد أن إدخال البعد المكاني وتعدد المقاييس أتاح فهما أدق لطبيعة استجابة الغطاء النباتي

التوصيات

١.اعتماد النمذجة المكانية متعددة المقاييس في الدراسات المستقبلية للغطاء النباتي في المناطق التي تتباين فيها الخصائص المناخية والتضاريسية مكانيا، بدلا من الاعتماد على العلاقات العامة وحدها

٢.تعزيز الرصد الميداني للعناصر المناخية ورطوبة التربة والغطاء النباتي داخل ناحية قسروك، بما يسهم في دعم بيانات الاستشعار عن بعد وتحسين تفسير العلاقات المحلية

٣.إعطاء اهتمام أكبر لرصد رطوبة الغطاء النباتي وظروف الجفاف ودرجات الحرارة عند تقييم مستقبل الغطاء النباتي، نظرا إلى ما أظهرته النتائج من أهمية هذه المتغيرات في تفسير الاستجابة النباتية

٤.الاستفادة من خرائط معاملات (MGWR) في تحديد المواقع التي تختلف فيها استجابة الغطاء النباتي للعوامل البيئية، وتوظيفها في التخطيط البيئي وإدارة الموارد الطبيعية على أساس مكاني

٥.تحسين الدقة المكانية للبيانات المناخية المستخدمة في الدراسات المستقبلية، مع الاستمرار في دمجها مع بيانات الاستشعار عن بعد عالية الدقة مكانيا للوصول إلى تمثيل أفضل للعلاقات المحلية

٦.توسيع التحليل مستقبلا ليشمل سنوات إضافية وحالات مناخية متباينة، بهدف التحقق من استمرارية التحولات المكانية التي أظهرها نموذج (MGWR) وتحديد اتجاهاتها المستقبلية

المصادر :

١.البدري، مجيد حميد شهاب، العذاري، سيناء عبد طه ضيف، والعذاري، لمياء عبد طه. (٢٠١٩). العوامل البشرية وأثرها في تدهور الغطاء النباتي في قضاء الكوفة وسبل التنمية المستدامة باستخدام RS. مجلة مداد الآداب، العدد الخاص، الجزء الأول، ٥٨٣–٦٠٦.

٢.الكليدار، قدس أسامة قوام. (٢٠٢٣). استعمال نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في الكشف عن جفاف الترب في ناحية يثرب بدلالة مؤشر رطوبة التربة (NDMI) ومؤشر الغطاء النباتي (NDVI). مجلة الآداب، جامعة بغداد، العدد ١٤٦، ٢٩١–٣٠٤.

٣.خليل، صفا أحمد، وآخرون. (٢٠٢٢). أثر موجات الجفاف على تدهور الغطاء النباتي في قضاء سنجار. مجلة التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الموصل، المجلد ٢، العدد الخاص ٧.١، ٢٧٩–٣٠٢.

٤.عصمان، نور عبد الزهرة، وأحمد، عبير يحيى. (٢٠٢٦). التحليل الجغرافي لبعض المؤشرات البيئية وأثرها على تلوث التربة في منطقة المحمودية. مجلة واسط للعلوم الإنسانية، ٢٢(٣)، الجزء الأول، ٢١٣–٢٣٢.
https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.1761

5.Azeez, M. H., Al Sharaa, H. M. J., & Ziboon, A. R. T. (2025). Mapping agricultural lands at risk of meteorological drought in Iraq using geostatistics. Engineering and Technology Journal, 43(5), 351–364. https://doi.org/10.30684/etj.2025.155327.1855

6.Al-Karbouli, A. S. E., & Al-Alousi, B. M. A. (2026). Spatiotemporal analysis of vegetation cover (NDVI) using remote sensing and SVM in Al-Rutbah District, Iraq. Wasit Journal for Human Sciences, 22(3/Pt. 1), 233–252. https://doi.org/10.31185/wjfh.Vol22.Iss3/Pt1.1822

7.Bellat, M., Zebari, M., Glissmann, B., Rentschler, T., Sconzo, P., Kakhani, N., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kohsravani, P., Brifkany, B., Pfälzner, P., & Scholten, T. (2026). Soil information and soil property maps for the Kurdistan region, Dohuk governorate (Iraq). Earth System Science Data, 18(4), 2507–2548. https://doi.org/10.5194/essd-18-2507-2026

8.Fayyadh, M. A., & Ismail, H. K. (2021). Genesis, development, and classification for some selected soils at Kurdistan region, North of Iraq. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 52(6), 1498–1507. https://doi.org/10.36103/ijas.v52i6.149

9.Fotheringham, A. S., Yang, W., & Kang, W. (2017). Multiscale geographically weighted regression (MGWR). Annals of the American Association of Geographers, 107(6), 1247–1265. https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1352480