

استخدام مؤشر الغطاء النباتي **NDVI** لمراقبة استجابة الغطاء
النباتي لهطول الامطار في محافظة المزاحمية بمنطقة
الرياض

خلال الفترة ١٩٩٤-٢٠٢٤

**Using the NDVI Vegetation Index to Monitor Vegetation
Response to Rainfall in Al-Muzahimiyah Governorate,
Riyadh Region (1994-2024)**

إعداد:

الدكتورة/ ابتسام عبد العزيز عبدالله التميم

أستاذ الجغرافيا الحيوية المساعد

قسم الجغرافيا والاستدامة البيئية - كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية

جامعة الاميرة نورة بنت عبد الرحمن

الرياض - المملكة العربية السعودية

Email: Eaaltameem@pnu.edu.sa

الملخص

يهدف هذا البحث إلى رصد التغيرات السنوية للغطاء النباتي في محافظة المزاحمية خلال الفترة ١٩٩٤-٢٠٢٤ باستخدام مؤشر NDVI، وتقييم أثر الهطولات المطرية على الغطاء النباتي، بالإضافة إلى إنتاج خرائط لفترة الدراسة توضح التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي والهطولات المطرية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

أظهرت نتائج البحث وجود تغييرات واضحة في مساحة الغطاء النباتي، حيث سجلت زيادة من ٢٨٩.٧٥ كيلومتر مربع في عام ١٩٩٤ إلى ٣٩٩.٥٠ كيلومتر مربع في عام ٢٠٢٤. بينما تراجعت مساحة الغطاء غير النباتي من ٥٢٢٩ كيلومتر مربع إلى ٥١١٩.٢٥ كيلومتر مربع خلال نفس الفترة. فيما يخص مؤشر NDVI، فقد انخفضت القيم القصوى من ٠.٧١ في ١٩٩٤ إلى ٠.٥٣ في ٢٠١٤، إلا أنها تحسنت بشكل ملحوظ في ٢٠٢٤ حيث وصلت إلى ٠.٧٥؛ مما يعكس تحسناً في كثافة الغطاء النباتي. كما لوحظ أن العلاقة بين الهطولات المطرية و NDVI كانت طردية، حيث شهدت الهطولات في عام ٢٠٢٤ زيادة ملحوظة وصلت إلى ١٢٩.٠١ م؛ مما ساهم في تحسين كثافة الغطاء النباتي. من ناحية أخرى، كشفت التحليلات الإحصائية عن وجود علاقة طردية بين الهطولات المطرية و NDVI، حيث سجل معامل بيرسون في ١٩٩٤ قيمة ٠.٣٥؛ مما يدل على ارتباط ضعيف إلى متوسط، بينما تحسن هذا الارتباط في السنوات التالية ليصل إلى ٠.٤٦ في ٢٠٠٤، ثم تراجع إلى ٠.٣٨ في ٢٠١٤، قبل أن يرتفع مجدداً إلى ٠.٤ في ٢٠٢٤. هذا التحسن يمكن أن يُعزى إلى؛ تزايد الهطولات المطرية وتبني سياسات بيئية أكثر فعالية. تُظهر هذه النتائج أهمية الهطولات المطرية في تحسين الغطاء النباتي، وتؤكد ضرورة متابعة التغيرات البيئية والتوسع في استخدام تقنيات GIS لدعم الحفاظ على البيئة وتعزيز استراتيجيات التكيف مع التغيرات المناخية.

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي، الهطولات المطرية، مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي، نظم المعلومات الجغرافية، التحليل الإحصائي.

Abstract

This research aims to monitor the annual changes in vegetation cover in Al-Muzahmiya Governorate from 1994 to 2024 using the NDVI index, assess the impact of rainfall on vegetation cover, and produce annual maps showing the spatial and temporal changes in vegetation cover and rainfall using Geographic Information Systems (GIS) techniques. The results of the study revealed clear changes in the vegetation area, which increased from 289.75 km² in 1994 to 399.50 km² in 2024. Meanwhile, the non-vegetated area decreased from 5229 km² to 5119.25 km² over the same period. Regarding the NDVI index, maximum values decreased from 0.71 in 1994 to 0.53 in 2014, but improved significantly in 2024, reaching 0.75, reflecting an improvement in vegetation density. Additionally, a positive correlation was observed between rainfall and NDVI, as rainfall in 2024 significantly increased to 129.01 mm, contributing to the improvement in vegetation density. On the other hand, statistical analyses revealed a positive correlation between rainfall and NDVI, with the Pearson coefficient in 1994 being 0.35, indicating a weak to moderate correlation. This correlation improved in subsequent years, reaching 0.46 in 2004, then decreased to 0.38 in 2014, before rising again to 0.4 in 2024. This improvement could be attributed to increased rainfall and the adoption of more effective environmental policies. These results highlight the importance of rainfall in improving vegetation cover and emphasize the need for continuous monitoring of environmental changes and the expanded use of GIS techniques to support environmental conservation and enhance climate change adaptation strategies.

Keywords: Vegetation cover, rainfall, NDVI, Geographic Information Systems, statistical analysis.

١ - المقدمة

يشكل الغطاء النباتي أحد أهم المؤشرات البيئية التي تعكس صحة النظام البيئي وتوازنه، حيث يلعب دوراً حيوياً في استقرار المناخ، الحفاظ على التربة، دعم التنوع البيولوجي، وتوفير الأوكسجين (Wei et al., 2018).

وفي ظل التحديات البيئية العالمية، مثل التغيرات المناخية المتسارعة والأنشطة البشرية المستمرة كالتوسع العمراني والزراعي، أصبحت دراسة التغيرات الزمانية والمكانية للغطاء النباتي أولوية لفهم الديناميكيات البيئية (Amiri et al., 2009; Mishra et al., 2021). وتزداد أهمية هذه الدراسات لأنها تقدم رؤى شاملة حول تأثير العوامل الطبيعية على البيئة؛ مما يساهم في وضع استراتيجيات فعّالة للحفاظ على الموارد الطبيعية، خاصة في النظم البيئية للأراضي الجافة الهشة التي تفنقر إلى القدرة الذاتية على استعادة توازنها الطبيعي دون تدخل الإنسان (Almalki et al., 2022; Alghannam & Al-Qahtnai, 2012). ومع التغيرات المناخية العالمية التي أدت إلى زيادة الظواهر المناخية المتطرفة مثل الجفاف الطويل والهطولات المطرية غير المنتظمة، أصبح من الضروري دراسة التغيرات الزمانية والمكانية للغطاء النباتي وربطها بالعوامل المناخية. ففي المناطق القاحلة وشبه القاحلة، تُعد هذه الدراسات ضرورية لفهم التأثيرات المستقبلية المحتملة للتغير المناخي على النظم البيئية الهشة، حيث أن أي تغيير في كمية الهطولات أو توزيعها الزمني يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات كبيرة على الغطاء النباتي وتوازن النظام البيئي بشكل عام.

ويعتمد تحليل التغيرات في الغطاء النباتي على تقنيات الاستشعار عن بُعد، خاصة باستخدام مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Gao et al., 2020; Lu et al., 2019)، وهو أداة رئيسة لدراسة التغيرات في كثافة الغطاء النباتي عبر الزمن. فقد أثبتت العديد من الدراسات السابقة كفاءة NDVI في تتبع التغيرات النباتية باستخدام بيانات الأقمار الصناعية على مدار فترات طويلة (Tucker,

1979; Pettorelli et al., 2014). ومن ناحية أخرى، تعد الهطولات المطرية من أهم العوامل المناخية المؤثرة في نمو الغطاء النباتي، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة التي تعتمد بشكل كبير على الأمطار كمصدر رئيسي للمياه. وتُظهر الدراسات أن العلاقة بين الهطولات المطرية و NDVI علاقة إيجابية وواضحة؛ إذ تزداد قيم NDVI بشكل ملحوظ بعد فترات هطول الأمطار نتيجة للنمو السريع للنباتات التي تستفيد من المياه المتوفرة. ومع ذلك، فإن هذه العلاقة قد تكون معقدة أحياناً بسبب التباين في طبيعة الهطولات (كميتها وتوزيعها الزمني) والظروف البيئية الأخرى مثل نوع التربة ودرجة الحرارة والرطوبة (Felegari et al., 2022; Lou et al., 2021).

وفي المملكة العربية السعودية، تتميز بعض المناطق بظروف مناخية قاسية؛ مما يوجب مراقبة التغيرات البيئية الناتجة عن هذه الظروف وبخاصة على الغطاء النباتي. ونشير إلى أن معظم الدراسات السابقة ركزت على دراسة تأثير الأنشطة البشرية على الغطاء النباتي دون التركيز على الظروف المناخية (Alqurashi et al., 2019; Alqurashi et al., 2016). هذا وتعد محافظة المزارحية، ذو المناخ شبه صحراوي نموذجاً مناسباً لفهم أثر تغيرات هطولات الأمطار على الغطاء النباتي، وبالتالي يهدف هذا البحث إلى تحليل التغيرات السنوية والمكانية للغطاء النباتي في محافظة المزارحية وربطها بالظروف المناخية المتمثلة بالهطولات المطرية.

وتركز هذه الدراسة على مراقبة تغيرات الغطاء النباتي في محافظة المزارحية باستخدام مؤشر NDVI المحسوب من بيانات الاستشعار عن بُعد عبر منصة الحساب السحابي (Google Earth Engine (GEE)، وذلك خلال الفترة الزمنية المحددة. كما تهدف إلى تحليل الارتباط بين مؤشر NDVI والهطولات المطرية المستخرجة من بيانات (Climate Hazards Group (CHIRPS (Infrared Precipitation with Station Data) لفهم تأثير العوامل المناخية على الغطاء النباتي. وتسعى الدراسة إلى تقديم رؤى شاملة حول ديناميكيات

الغطاء النباتي استجابةً للتغيرات المطرية؛ مما يسهم في دعم الإدارة البيئية، ووضع استراتيجيات فعالة للمحافظة على الغطاء النباتي وتعزيز الاستدامة البيئية في المنطقة.

سيتم من خلال هذا البحث الإجابة على التساؤلات التالية:

- هل هناك تبايناً ملحوظاً في الغطاء النباتي سنوياً في المنطقة خلال العقود

الثلاثة الماضية (١٩٩٤-٢٠٢٤)؟

- ما مدى التباين في كمية الهطولات المطرية خلال العقود الثلاثة في المنطقة؟

- ماهي العلاقة بين التغيرات المناخية المتمثلة بالهطولات المطرية وتغير

مساحة الغطاء النباتي في المنطقة؟

٣- أهداف الدراسة وأهميتها:

يهدف هذا البحث إلى:

١. رصد التغيرات السنوية للغطاء النباتي في محافظة المزاحمية خلال الفترة

١٩٩٤-٢٠٢٤ باستخدام المؤشر NDVI.

٢. تقييم أثر الهطولات المطرية على الغطاء النباتي.

٣. إنتاج خرائط توضح التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي وللهطولات

المطرية خلال فترة الدراسة باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية

(GIS).

٤. تقديم توصيات لدعم استراتيجيات المحافظة على الغطاء النباتي والحد

من تدهور البيئة.

وتتبع أهمية هذا البحث من دوره في توفير فهم للتغيرات التي طرأت على

الغطاء النباتي في محافظة المزاحمية خلال العقود الثلاثة الماضية، مما يسهم

في رصد التأثيرات البيئية الناتجة عن التغيرات المناخية، وخاصة الهطولات

المطرية. كما أن إنتاج خرائط دقيقة خلال فترة الدراسة توضح التغيرات المكانية

والزمانية لكل من الغطاء النباتي والهطولات المطرية باستخدام تقنيات نظم

المعلومات الجغرافية (GIS) يساهم في تعزيز قدرات صناع القرار والجهات المعنية في اتخاذ تدابير فعالة لحماية البيئة والحد من تدهور الغطاء النباتي. بالإضافة إلى ذلك، فإن تقديم توصيات علمية مبنية على تحليل شامل للبيانات يساهم في دعم السياسات والاستراتيجيات البيئية المستدامة في المحافظة، بما يضمن استدامة الموارد الطبيعية للأجيال القادمة.

٤- الدراسات السابقة:

تناولت العديد من الدراسات تحليل ديناميكيات الغطاء النباتي في مناطق مختلفة حول العالم، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لتقييم تأثير العوامل الطبيعية والبشرية على الغطاء النباتي.

أ) دراسات داخل المملكة العربية السعودية:

أجرى Alharbi et al. (٢٠٢٤) دراسة على منطقة جبل شدا لتحديد تأثير المسافة عن المجاري المائية ودرجة حرارة سطح الأرض على وفرة وتنوع الغطاء النباتي. أظهرت الدراسة وجود ارتباط سلبي بين الغطاء النباتي والمجاري المائية في المناطق المنخفضة، بينما لم يكن لهذا العامل تأثير ملحوظ في المناطق المرتفعة. كما أظهر تحليل الاتجاه العام لمؤشر NDVI زيادة في الغطاء النباتي بين عامي ١٩٨٤ و ٢٠٢٣ مما يعكس تأثيرات محتملة للتغير المناخي وتحولات استخدام الأراضي في المنطقة. في سياق آخر، تناولت دراسة لـ Alasiri et al. (٢٠٢٤) منطقة بحيرة الأصفر في الأحساء، حيث تم تحليل بيانات القمر الصناعي "Landsat ٨" بين عامي ٢٠١٣ و ٢٠٢٣. وأظهرت النتائج انخفاضاً في الغطاء النباتي وزيادة في المسطحات المائية، وكذلك انخفاضاً في درجة حرارة سطح الأرض. كما لوحظ تحسن في مؤشر الفرق المعياري للرطوبة (NDMI)، مما يشير إلى الدور الهام للمياه والنباتات في خفض درجات الحرارة السطحية، بالإضافة إلى

ارتباط إيجابي بين درجة حرارة سطح الأرض ومؤشر NDVI، وارتباط سلبي بين درجة حرارة سطح الأرض ومؤشر NDWI. من ناحية أخرى، حللت دراسة Hag-elsafi et al (٢٠٢٥) الغطاء النباتي في السعودية (١٩٨١-٢٠١١) باستخدام NDVI وبيانات الأرصاد. أظهرت النتائج ارتفاعًا عامًا في الحرارة، وتباينًا في الأمطار، مع زيادات في جدة وأبها وتراجع في حائل وعرعر. رغم ارتفاع الحرارة، سجل NDVI تحسنًا بعد ١٩٩٥ دون اتجاه واضح للأمطار، مما يستدعي مزيدًا من البحث لفهم العلاقة بين المناخ والنظم البيئية.

ب) دراسات في مناطق جغرافية أخرى:

في الهند، فقد تناولت دراسة Kamble et al (٢٠١٠) العلاقة بين NDVI وهطول الأمطار بين ١٩٨٢ و٢٠٠٣، حيث أظهرت أن هناك ارتباطًا واضحًا بين شذوذ NDVI وهطول الأمطار، خاصة في شمال غرب الهند ووسطها، حيث كان الارتباط خطيًا في هذه المناطق، بينما لم يكن هناك ارتباط يذكر في شبه الجزيرة الهندية. وأظهرت الدراسة أيضًا تحسنًا عامًا في حالة الغطاء النباتي في المناطق الجافة خلال العقد الأخيرين.

وفي مصر، تناولت دراسة Badreldin et al (٢٠١٤) تأثير مشاريع استصلاح الأراضي مثل توشكى وقناة السلام على الغطاء النباتي باستخدام مؤشر SAVI، حيث أظهرت النتائج زيادة في الغطاء النباتي بمقدار ٣,٤٠٠ كيلومتر مربع بين عامي ٢٠٠٢ و٢٠٠٥، ولكن في الفترة بين ٢٠٠٥ و٢٠٠٨، كان هناك تراجع بمقدار ٥,٥٠٠ كيلومتر مربع؛ بسبب سوء إدارة المشاريع وتأثيرات تغيرات المناخ، خصوصًا في دلتا النيل. في نفس السياق، قامت دراسة Khalil et al (٢٠١٤) باستخدام NDVI لدراسة تدهور

الأراضي الزراعية في مصر بين عامي ٢٠١٠ و ٢٠١٢، حيث أظهرت النتائج تدهورًا في حوالي ٩٥,٢٦٩ فدانًا في ٢٠١١، انخفض إلى حوالي ٢٧,٠٠٠ فدان في ٢٠١٢، مع تحديد محافظة الوادي الجديد كأكثر المناطق تدهورًا.

على الصعيد العالمي، حلل Pei et al (٢٠٢١) التغيرات في الهطول المطري المتطرف في مجرى نهر اليانغتسي الأوسط والسفلي بالصين باستخدام مؤشر NDVI. أظهرت النتائج تباينًا في شدة وتواتر الهطول المطري بين المناطق، وكان هناك ارتباط أقوى بين مؤشر NDVI الأقصى وشدة الهطول، مما يجعله الأكثر دقة في قياس استجابة الغطاء النباتي للتغيرات في الهطول. في دراسة أخرى، تناولت He et al (٢٠٢١) العلاقة بين الغطاء النباتي والعوامل المناخية في هضبة اللوس الصينية بين ٢٠٠٢ و ٢٠١٨، حيث تبين أن هطول الأمطار كان العامل الرئيس في نمو الغطاء النباتي، بينما كانت درجات الحرارة أقل تأثيرًا، ما عدا بعض المناطق الجبلية والصحراوية التي سجلت ارتباطًا سلبيًا بين درجات الحرارة المرتفعة والغطاء النباتي.

في الكاميرون، قامت دراسة Fokeng & Fogwe (٢٠٢٢) بتحليل تدهور الغطاء النباتي في هضبة بوي الجنوبية بين عامي ١٩٨٤ و ٢٠٢١، حيث أظهرت أن ٣٤.٣٨٪ من المنطقة تعاني من التدهور، في حين شهدت ٣٤.٥٧٪ تحسنًا في الغطاء النباتي. كما تبين أن ٢٤.٦٧٪ من المناطق تأثرت بالأنشطة البشرية مثل الرعي المكثف، بينما تأثرت ٥٥.٨٤٪ بتغيرات المناخ. في الجزائر، قامت دراسة Macher et al (٢٠٢٤) باستخدام تحليل التجزئة الهرمي لدراسة تأثير تغير المناخ على الغطاء النباتي، وأظهرت النتائج

تبايناً في التغيرات السنوية لمؤشر NDVI بين مناطق شهدت زيادة وأخرى تراجعت، مع ملاحظة اختلافات موسمية بين درجات الحرارة وهطول الأمطار. تشير هذه الدراسات إلى أن العوامل الطبيعية مثل هطول الأمطار ودرجات الحرارة تؤثر بشكل كبير في الغطاء النباتي، وأن الأنشطة البشرية مثل الرعي واستخدام الأراضي لها تأثيرات بارزة في بعض المناطق. وبالتالي، فإن استراتيجيات إدارة مستدامة للأراضي ضرورية لمكافحة التدهور البيئي وتعزيز استدامة الغطاء النباتي في مختلف المناطق.

ومن خلال العرض السابق، وكثير من الدراسات، تبين، أن غالبيتها يبرز التغيرات الزمنية خلال فتره زمنية لا تتجاوز ٢٠ عاماً، أما الدراسة الحالية فتزيد أمد رصد التغير إلى ٣٠ عاماً.

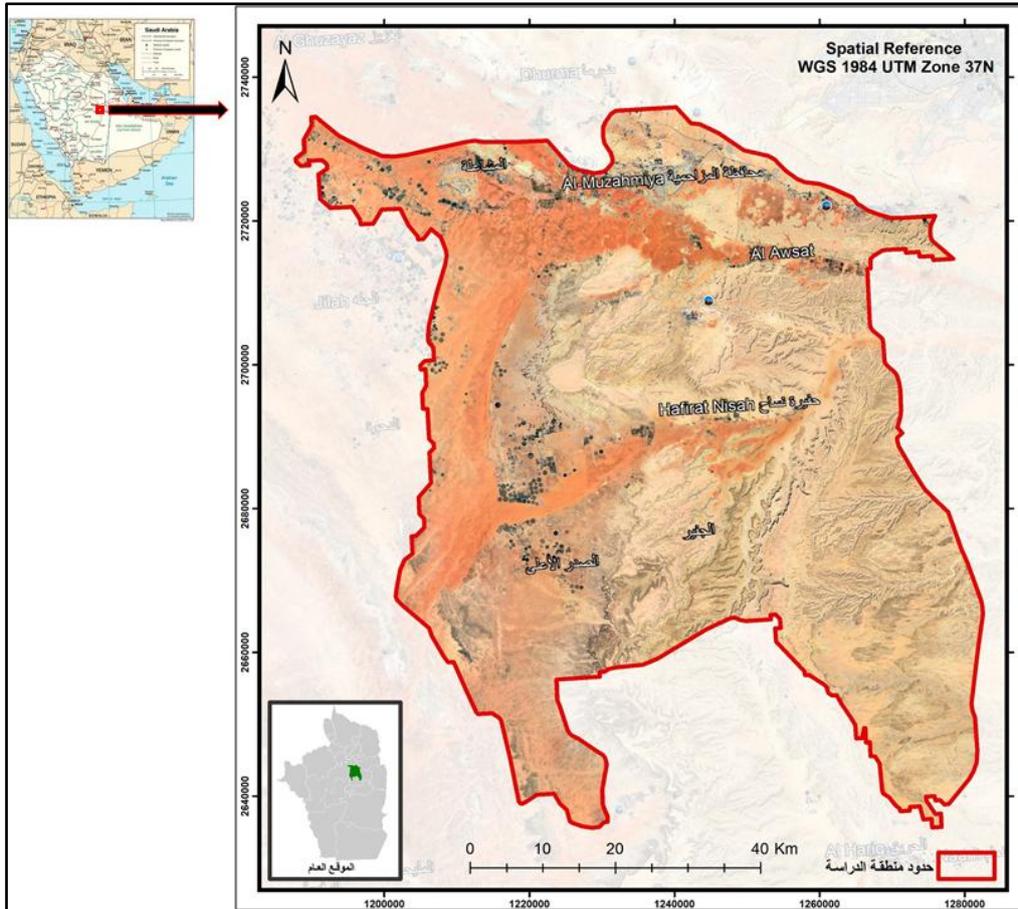
وتتميز هذه الدراسة عن الدراسات السابقة بعدة جوانب مهمة، أبرزها التركيز على تحليل التغيرات الزمانية والمكانية للغطاء النباتي في محافظة المزاحمية على مدى فترة طويلة تمتد إلى ثلاثة عقود (١٩٩٤-٢٠٢٤)، مما يتيح تتبع التغيرات البيئية بدقة. كما تتميز باستخدام مؤشر NDVI لرصد الغطاء النباتي بالتزامن مع تحليل الهطولات المطرية وربطها مع تقلبات الغطاء النباتي. بالإضافة إلى ذلك، تعتمد الدراسة على تقنيات متقدمة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، لإنتاج خرائط دقيقة تسهم في فهم ديناميكيات الغطاء النباتي في منطقة الدراسة التي لم يتم تناولها من قبل بالدراسة بهذه المنهجية.

٥- طرائق ومواد الدراسة:

٥-١- منطقة الدراسة

منطقة الدراسة هي محافظة المزاحمية (الشكل (١)) الواقعة غرب مدينة الرياض، حيث تقع على دائرة عرض $24^{\circ}30'$ وخط طول $46^{\circ}30'$. وتبعد حوالي ٤٠ كم غربي مدينة الرياض على طريق الرياض - الطائف السريع،

وتتوسط المحافظة المنطقة الواقعة بين جبال طويق من الشرق ونفود قنيفاء من الغرب.
وتبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي ١٠٠٠٠ كم٢، و عدد سكانها يصل الى ٦٢,٧٦٠ نسمة.(الهيئة العامة للإحصاء، ٢٠٢٠)



المصدر: من أعداد الباحثة .

الشكل (١). منطقة الدراسة.

تتميز محافظة المزاحمية بمناخ شبه صحراوي، حيث تتفاوت الهطولات المطرية بشكل كبير من عام لآخر. وتتركز الأمطار في فصل الشتاء، بينما

تكون الصيف جافاً؛ بسبب الندرة النسبية للأمطار، تشهد المنطقة تقلبات في الغطاء النباتي اعتماداً على معدلات الهطول التي تتأثر بالظروف المناخية العالمية والمحلية. غالباً ما تكون الهطولات قصيرة ولكنها قد تكون غزيرة في بعض الأحيان؛ مما يؤدي إلى تحسن مؤقت في النمو النباتي.

٥-٢- مصطلحات الدراسة

١- تحليل التغير الزمني والمكاني

يُعد تحليل التغير الزمني والمكاني من الأدوات العلمية المهمة لفهم ديناميكيات التغيرات البيئية والبشرية عبر الزمن، حيث يركز هذا التحليل على دراسة التغيرات التي تحدث في خصائص معينة لموقع أو منطقة معينة خلال فترات زمنية مختلفة، مما يساعد في الكشف عن الأنماط البيئية المرتبطة بتغيرات الغطاء النباتي أو استخدامات الأراضي (Tian et al., ٢٠١٧). ويُسهّم هذا النهج في تقييم التأثيرات البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية مثل التوسع العمراني أو إزالة الغابات، إلى جانب رصد الآثار المترتبة على التغيرات المناخية (Muhammad et al., ٢٠٢٢). تعتمد منهجية هذا التحليل على جمع بيانات زمنية متعددة من صور الأقمار الصناعية، ومعالجتها باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية GIS، ثم إجراء المقارنات الزمنية لاستنباط النتائج المتعلقة باتجاهات ومدى التغيرات المكانية (Hussain et al., 2022; Zhang et al., ٢٠٢١). وللقيام بذلك، يتم احتساب مؤشرات بيئية مثل مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) الذي يُستخدم بشكل واسع لقياس كثافة الغطاء النباتي وتقييم التغيرات فيه على مر الزمن (Sun et al., ٢٠٢١). وتشير الدراسات إلى أهمية هذه التحليلات في التخطيط البيئي وإدارة الموارد الطبيعية، حيث تقدم رؤى دقيقة حول مدى التغيرات وتوقعاتها المستقبلية، مما يساهم في تبني استراتيجيات فعّالة للحفاظ على البيئة. من أبرز التطبيقات العملية لتحليل التغير الزمني والمكاني رصد التوسع الحضري، مراقبة

تدهور الغطاء النباتي، ودراسة التغيرات في الموارد المائية، مما يجعله أداة فعّالة في مواجهة التحديات البيئية المتزايدة (Li et al., 2019; Baptista et al., 2018).

٢. مؤشر الفرق المعياري للنبات NDVI

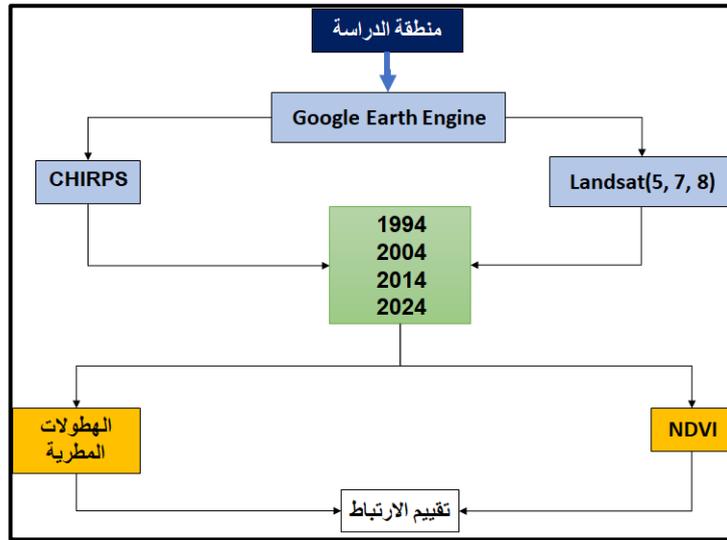
استخدم العديد من الباحثين مؤشر NDVI في مراقبة المناطق الخضراء باستخدام المرئيات الفضائية (Sonawane & Bhagat, 2017; Shah & Siyal, 2019). تتراوح قيم هذا المؤشر بين -١ و +١ حسب قيم الأعداد الرقمية (Digital Numbers, DN) الخاصة بالنطاق تحت الأحمر القريب (Near Infrared) والنطاق الأحمر (Red) (Sonawane & Bhagat, 2017). القيم السلبية للمؤشر، التي تقع ضمن المجال ٠.١-٠.٢، تتوافق مع الصخور، الغيوم، الثلج، السطوح المائية، والأراضي العارية. بينما النباتات السليمة والنباتات الكثيفة تحصل على قيمة موجبة تساوي تقريباً ٠.٥، في حين النباتات المبعثرة تتراوح قيمتها الموجبة بين ٠.٢ و ٠.٥، والنباتات متوسطة الكثافة تتراوح قيمتها بين ٠.٤ و ٠.٦. تشير القيم الأكبر من ٠.٦ إلى أعلى كثافة للنباتات (Malik et al., 2019). تحسب قيمة مؤشر NDVI باستخدام العلاقة التالية:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

٥-٣- جمع البيانات ومنهجية الدراسة

المنهج المتبع في هذا البحث هو المنهج التجريبي وهو يقوم باستقصاء العلاقات السببية بين المتغيرات التي قد يكون لها أثر في تشكيل الظاهرة أو الحدث، ويهدف المنهج التجريبي لمعرفة أثر المؤثرات مجتمعة على الظاهرة قيد الدراسة. فيما يخص المتغير الأول فهو المؤشر الطيفي NDVI أما المتغير الثاني في البحث فهو الهطول المطري، حيث قمنا بدراسة ارتباط المؤشر NDVI مع

الهطولات المطرية لمعرفة كيفية تأثير هذه الهطولات على تغير الغطاء النباتي. يمكن تلخيص خطوات منهج البحث في الشكل (٢)).



المصدر: من أعداد الباحثة.

الشكل (٢). منهجية الدراسة.

فيما يخص جمع البيانات، فقد تم استخدام أربع مرئيات من النوع Landsat تغطي لمنطقة الدراسة في كل عام من أعوام الدراسة التي تمتد من ١٩٩٤ إلى ٢٠٢٤. بالنسبة للعام ١٩٩٤ فقد تم استخدام مرئيات من النوع Landsat 5 TM ومرئيات من النوع Landsat 7 ETM+ للعام ٢٠٠٤، أما بالنسبة للأعوام ٢٠١٤ و٢٠٢٤ فقد تم استخدام مرئيات من النوع Landsat 8 OLI. تم تحميل هذه المرئيات من موقع Earth Explorer التابع لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية USGS.

من ناحية أخرى، تم الحصول على الهطولات المطرية السنوية لمنطقة الدراسة باستخدام CHIRPS وهو منتج بيانات عالمي للهطول المطري طورته Climate Hazards Group بالتعاون مع FEWS NET لدعم دراسات

المناخ وإدارة الموارد الطبيعية ونظم الإنذار المبكر. يتميز CHIRPS بتغطية زمنية طويلة تبدأ من عام ١٩٨١ وحتى الوقت الحاضر، ودقة مكانية عالية تبلغ ٠.٠٥ درجة (حوالي ٥.٣ كم × ٥.٣ كم عند خط الاستواء)؛ مما يجعله مناسباً لتحليل الهطولات المطرية على المستويات المحلية والإقليمية (López-Bermeo et al., ٢٠٢٢). يعتمد المنتج على دمج بيانات الأشعة تحت الحمراء المستمدة من الأقمار الصناعية مع بيانات محطات الهطول الأرضية وتصحيحات إحصائية لزيادة الدقة. يُستخدم CHIRPS في رصد الجفاف، تحليل تغير المناخ، وإدارة الموارد الطبيعية، كما يُعدّ أداة أساسية في نظم الإنذار المبكر بالمجاعات في المناطق المتأثرة بالجفاف. يمكن الحصول على بيانات CHIRPS مجاناً عبر موقع Climate Hazards Group أو باستخدام منصات مثل Google Earth Engine، حيث يتم توفير البيانات بتنسيقات NetCDF و GeoTIFF لتسهيل معالجتها باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبرامج التحليل المناخي (Mehdi et al., 2021). وبالنسبة للمؤشر NDVI، فقد تم حسابه بتطبيق المعادلة (١) وذلك باستخدام بيانات مجموعة Landsat حيث كانت نسبة الغيوم أقل من ٢٠٪ في الصور. كما تم استخراج المرئيات الفضائية الممثلة للهطولات المطرية باستخدام المنتج CHIRPS بدقة مكانية ٥.٣ km لمنطقة الدراسة. تمت العمليات السابقة باستخدام المنصة (Google Earth Engine (GEE) لأن منطقة الدراسة واسعة وتتطلب معالجتها كميات كبيرة من البيانات، بالإضافة إلى الحاجة إلى سعة تخزين كبيرة وقوة معالجة ومرونة لتنفيذ نهج متعدد الجوانب وهو ما تؤمنه هذه المنصة (Ghasempour et al., ٢٠٢١). في الواقع، تمزج المنصة GEE بين الاستشعار عن بُعد والبيانات الضخمة، مما يتيح معالجة وتحليل بيانات الأقمار الصناعية بسهولة وسرعة (Gorelick et al., 2017; Sidhu et al., ٢٠١٨). توفر هذه المنصة صوراً فضائية مستقلة بدقة مكانية مختلفة، وتعتمد على لغات برمجة مثل JavaScript و Python لمعالجة الأكواد

باستخدام بنية MapReduce، وهي تقنية تعمل على تقسيم كميات كبيرة من البيانات إلى أجزاء صغيرة ومعالجتها عبر أجهزة متعددة (Shelestov et al., 2017; Mateo-García et al., 2018). يلخص الجدول (١) معلومات تفصيلية حول البيانات المستخدمة في البحث.

الجدول (١). مجموعة البيانات الجغرافية المكانية المستخدمة في الدراسة مع مواصفاتها

البيانات المستخدمة	نوع البيانات	دقة التمييز المكانية	دقة التمييز الزمانية	مصدر البيانات	توافر البيانات	الوحدات
مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)	مرثيات Raster	30 m	كل ١٦ يوم	Landsat 4/7/8	1994, 2004, 2014, 2024	متر مربع
الهطولات المطرية	مرثيات Raster	5.3 km	شهري/سنوي	CHIRPS	١٩٨١ حتى الآن	مم

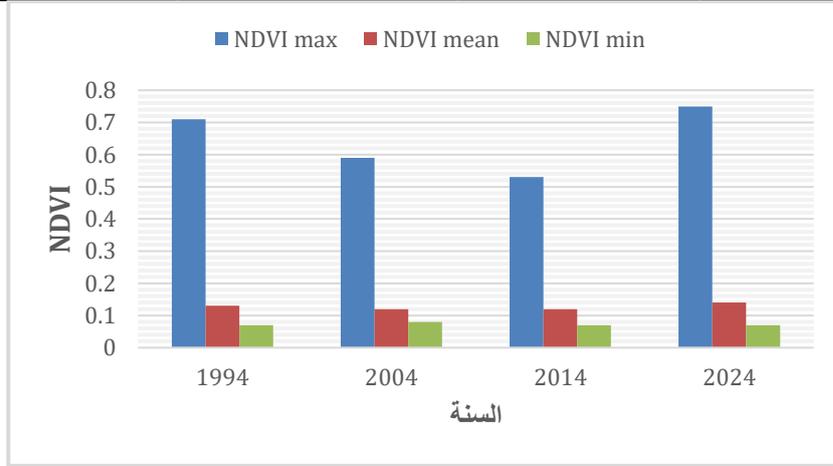
٦- النتائج والمناقشة:

٦-١- التغيرات في NDVI ومساحة الغطاء النباتي:

يوضح الجدول (٢) والشكل (٣) عرضاً لقيم NDVI الأدنى، الوسطية والأقصى السنوية في المزامية من عام ١٩٩٤ إلى ٢٠٢٤. كما يوضح الجدول (٣) والشكل (٤) مساحات الغطاء النباتي والمناطق الخالية من النبات الموافقة في كل عام مع النسب المئوية لتغير هذه المساحات. كما توضح الأشكال من ٥ إلى ٨ خرائط NDVI لمنطقة الدراسة بعد تصنيفها إلى صنفين هما: نبات وخالي من النبات وذلك خلال سنوات الدراسة. تم اقتطاع مرثيات NDVI باستخدام المنصة GEE بعد تنفيذ الكود المطور باستخدام Java Script.

الجدول (٢). قيم NDVI بمنطقة المزارحية خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م)

NDVI max	NDVI mean	NDVI min	العام
0.71	0.13	0.07	1994
0.59	0.12	0.08	2004
0.53	0.12	0.07	2014
0.75	0.14	0.07	2024

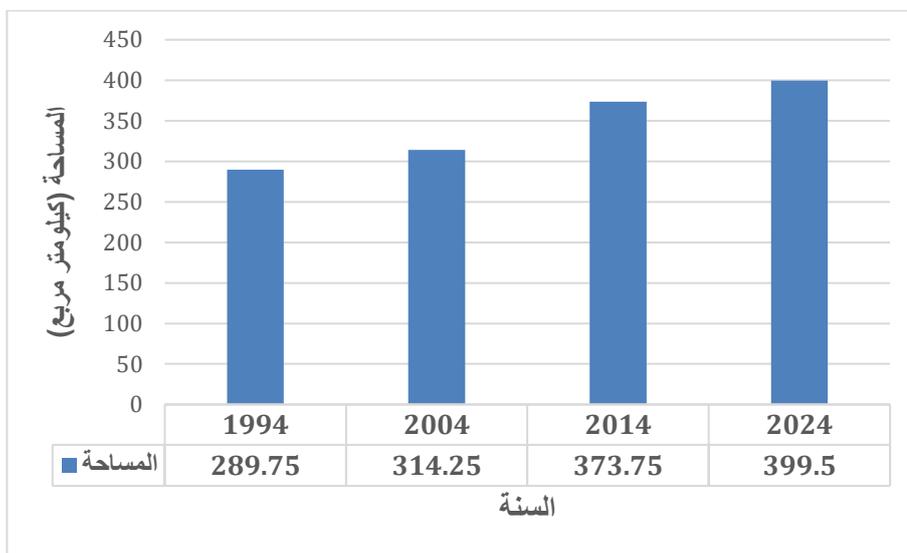


المصدر: من أعداد الباحثة.

الشكل (٣). التغيرات في قيم NDVI في منطقة المزارحية خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م)

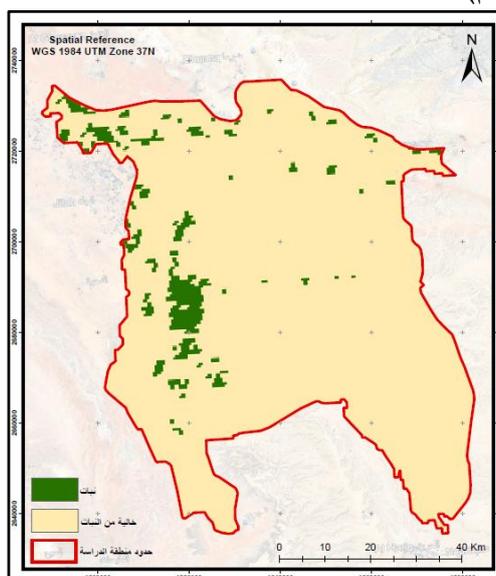
الجدول (٣) مساحات الغطاء النباتي والغطاء بدون نبات مع النسب المئوية لتغير مساحات الغطاء النباتي بمنطقة المزارحية خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م).

نوع الغطاء الأرضي	1994		2004		2014		2024	
	المساحة بالكم ²	(%)						
غطاء نباتي	289.75	5.3	314.25	5.7	373.75	6.8	399.5	7.2%
بدون غطاء نباتي	5229	94.8	5204.5	94.3	5145	93.2	5119.3	92.8%
الإجمالي	5518.8	100	5518.8	100	5518.8	100	5518.8	100

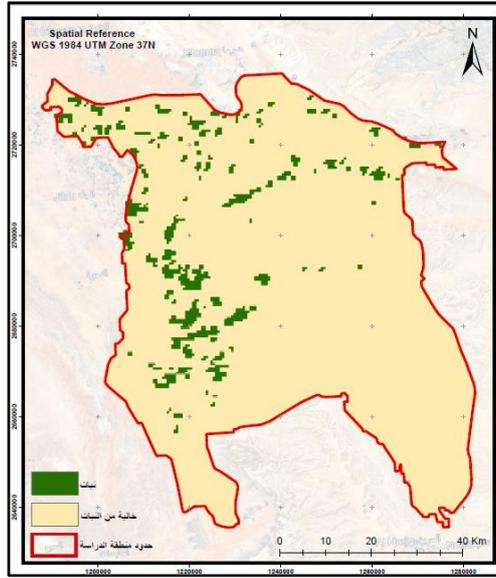


المصدر: من أعداد الباحثة.

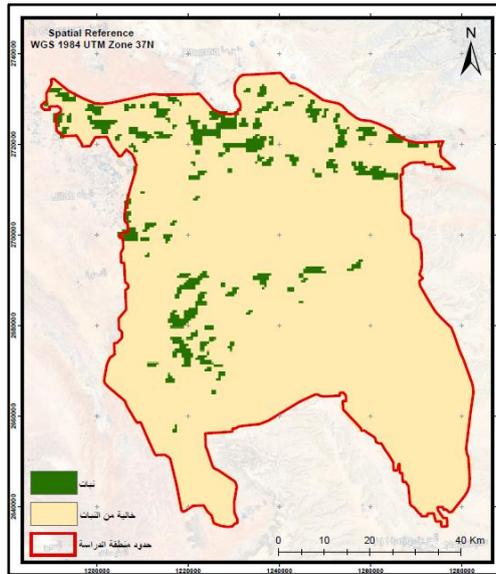
الشكل (٤). التغيرات في مساحة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م).



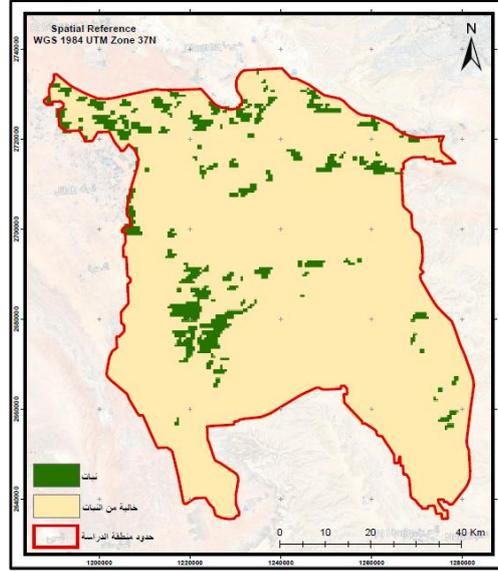
الشكل (٥). خارطة NDVI لمنطقة الدراسة للعام ١٩٩٤.



الشكل (٦). خارطة NDVI لمنطقة الدراسة للعام ٢٠٠٤.



الشكل (٧). خارطة NDVI لمنطقة الدراسة للعام ٢٠١٤.



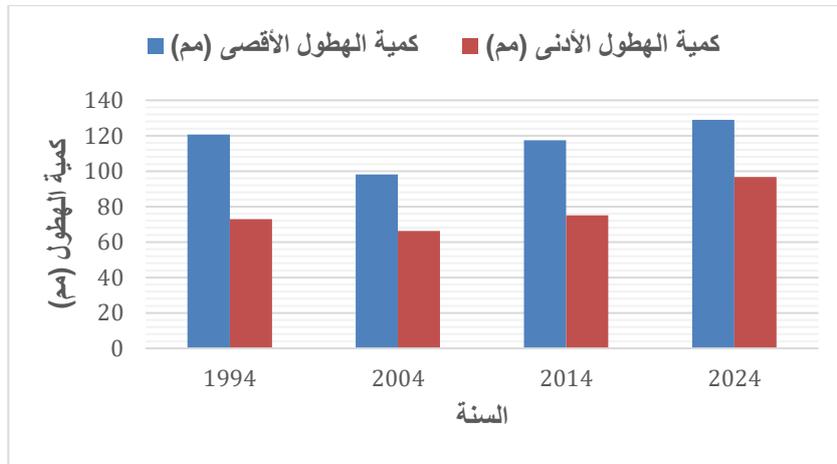
الشكل (٨). خارطة NDVI لمنطقة الدراسة للعام ٢٠٢٤.

٦-٢- التغيرات في هطولات الأمطار:

يوضح الجدول (٤) والشكل (٩) عرضاً لكمية الهطولات الأقصى والأدنى السنوية في المزمحية من عام ١٩٩٤ إلى ٢٠٢٤. من ناحية أخرى توضح الأشكال من ١٠ إلى ١٣ خرائط الهطولات المطرية لمنطقة الدراسة خلال سنوات الدراسة. تم اقتطاع مرئيات الهطولات المطرية باستخدام المنصة GEE بعد تنفيذ الكود المطور باستخدام Java Script.

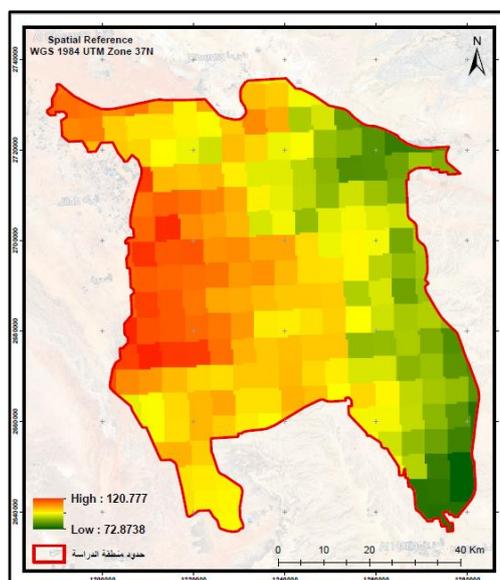
الجدول (٤).التغيرات في قيم الهطولات المطرية بمنطقة المزارحية خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م).

العام	كمية الهطول الأدنى (مم)	نسبة التغير (%)	كمية الهطول الأقصى (مم)	نسبة التغير (%)
1994	72.87		120.78	
2004	66.33	-6.54%	98.14	-22.64%
2014	75.15	8.82%	117.53	19.39%
2024	96.75	21.60%	129.01	11.48%

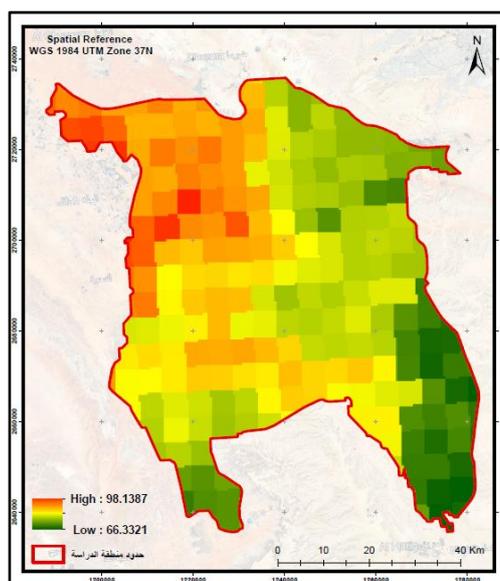


المصدر: من أعداد الباحثة.

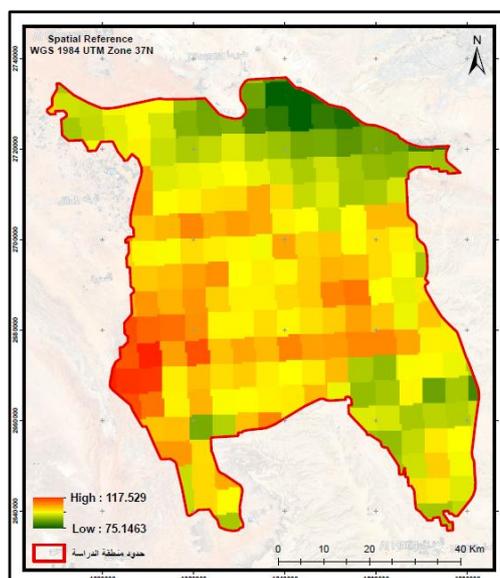
الشكل (٩). التغيرات في قيم الهطولات المطرية الدنيا والقصى في منطقة المزارحية خلال الفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤م).



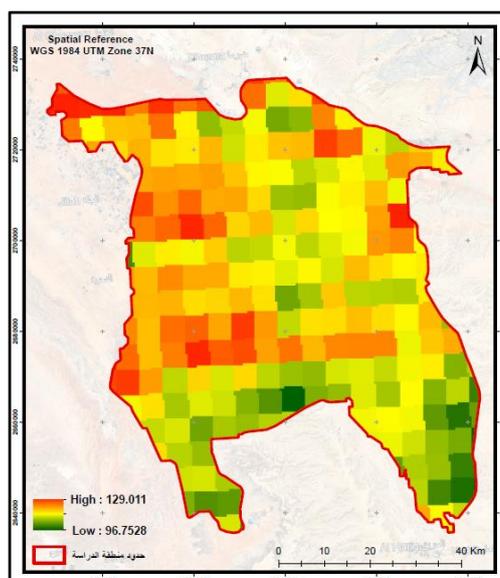
الشكل (١٠). خارطة الهطولات لمنطقة الدراسة للعام ١٩٩٤.



الشكل (١١). خارطة الهطولات لمنطقة الدراسة للعام ٢٠٠٤.



الشكل (١٢). خارطة الهطولات لمنطقة الدراسة للعام ٢٠١٤.



الشكل (١٣). خارطة الهطولات لمنطقة الدراسة للعام ٢٠٢٤.

٦-٣- علاقة الغطاء النباتي بتغيرات في هطولات الأمطار:

بالعودة إلى الجدول (٣) والجدول (٤) يمكن ملاحظة تذبذبات في الهطولات المطرية على مدار فترة الدراسة. في عام ١٩٩٤، بلغت كمية الهطول الأقصى

١٢٠.٧٨ مم والأدنى ٧٢.٨٧ مم، وكانت هذه الكميات المرتفعة من الأمطار متزامنة مع أعلى قيمة لمؤشر NDVI max ، والتي بلغت ٠.٧١، مما يشير إلى كثافة نباتية جيدة نسبياً في تلك الفترة، بينما كانت مساحة الغطاء النباتي ٢٨٩.٧٥ كيلو متر مربع ومساحة الغطاء غير النباتي ٥٢٢٩ كيلو متر مربع. أما في عام ٢٠٠٤، فقد انخفضت كمية الهطول الأقصى إلى ٩٨.١٤ مم والأدنى إلى ٦٦.٣٣ مم، مما أدى إلى تراجع ملحوظ في NDVI max إلى ٠.٥٩، وهو ما يشير إلى تأثير كثافة الغطاء النباتي سلباً رغم الزيادة الطفيفة في مساحة الغطاء النباتي التي ارتفعت إلى ٣١٤.٢٥ كيلو متر مربع وتراجع مساحة الغطاء غير النباتي إلى ٥٢٠٤.٥ كيلو متر مربع. وفي عام ٢٠١٤، ارتفعت كمية الهطول الأقصى إلى ١١٧.٥٣ مم والأدنى إلى ٧٥.١٥ مم، إلا أن NDVI max سجل أدنى قيمة له عند ٠.٥٣، مع بقاء NDVI mean ثابتاً عند ٠.١٢، مما يعكس استمرار التدهور في كثافة الغطاء النباتي رغم زيادة مساحته إلى ٣٧٣.٧٥ كيلو متر مربع وتراجع مساحة الغطاء غير النباتي إلى ٥١٤٥ كيلو متر مربع. هذا التباين بين مساحة الغطاء النباتي المتزايدة وتراجع قيم NDVI خلال هذه الفترة قد يكون ناتجاً عن انتشار نباتات ذات كثافة منخفضة أو موسمية، أو نتيجة للتأثيرات السلبية للأنشطة البشرية مثل التوسع العمراني والرعي الجائر، مما أدى إلى تدهور جودة الغطاء النباتي. وأخيراً، بحلول عام ٢٠٢٤، شهدت كمية الهطول الأقصى ارتفاعاً ملحوظاً إلى ١٢٩.٠١ مم والأدنى إلى ٩٦.٧٥ مم، وهو ما انعكس إيجابياً على مؤشر NDVI max الذي ارتفع إلى ٠.٧٥ و NDVI mean الذي بلغ ٠.١٤، مما يدل على تحسن في كثافة ونوعية الغطاء النباتي مع زيادة مساحته إلى ٣٩٩.٥ كيلو متر مربع واستمرار تراجع مساحة الغطاء غير النباتي إلى ٥١١٩.٢٥ كيلو متر مربع. يمكن القول

إن التحسن في مؤشر NDVI في عام ٢٠٢٤ قد يكون ناتجاً عن زيادة الهطولات المطرية إلى جانب احتمالية تبني سياسات بيئية أكثر كفاءة، ما ساهم في تحسين كثافة الغطاء النباتي مقارنة بالسنوات السابقة.

من ناحية أخرى، يمكننا دراسة العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) والهُطولات المطرية باستخدام تحليل الانحدار الخطي Linear regression. للقيام بذلك تمت كتابة كود برمجي في Google Earth Engine لحساب معاملات الارتباط بين مرئيات NDVI ومرئيات الهطولات المطرية. يوضح الجدول (٤) قيم هذه المعاملات.

الجدول (٥). قيم معامل الارتباط بين المؤشر NDVI والهطولات المطرية خلال سنوات الدراسة.

العالم	معامل بيرسون
1994	0.35
2004	0.46
2014	0.38
2024	0.4

من خلال الجدول (٥) نجد أنه في عام ١٩٩٤، قد بلغ معامل بيرسون ٠.٣٥، وهو ما يشير إلى وجود ارتباط طردي ضعيف إلى متوسط بين الهطول وNDVI، حيث بلغت قيمة الهطول الأقصى ١٢٠.٧٨ ملم والهطول الأدنى ٧٢.٨٧ ملم، وسُجلت قيمة NDVI max عند ٠.٧١ و NDVI mean عند ٠.١٣. يُعزى الارتباط الإيجابي إلى التأثير المباشر للهطول على نمو الغطاء النباتي، رغم أن NDVI mean ظل منخفضاً نسبياً. أما في عام ٢٠٠٤، ارتفع معامل بيرسون إلى ٠.٤٦، مما يدل على ارتباط طردي أقوى بين الهطول وكثافة الغطاء النباتي مقارنة بعام ١٩٩٤. ورغم انخفاض الهطول الأقصى إلى ٩٨.١٤

ملم والهطول الأدنى إلى ٦٦.٣٣ ملم، شهد NDVI max انخفاضاً إلى ٠.٥٩ و NDVI mean إلى ٠.١٢. يشير هذا إلى أن الانخفاض في الهطول أثر على الغطاء النباتي، لكن العلاقة بينهما أصبحت أضعف؛ نتيجة التأثير المتراكم للهطول على مدى الأعوام السابقة. وفي عام ٢٠١٤، تراجع معامل بيرسون إلى ٠.٣٨، مما يدل على ارتباط طردي أقل مقارنة بعام ٢٠٠٤. بلغت قيم الهطول الأقصى ١١٧.٥٣ ملم والهطول الأدنى ٧٥.١٥ ملم، بينما انخفض NDVI max إلى ٠.٥٣ وظل NDVI mean ثابتاً عند ٠.١٢. يُشير هذا إلى أن العلاقة بين الهطول و NDVI أصبحت أضعف؛ نتيجة عوامل أخرى قد تؤثر على نمو الغطاء النباتي، مثل التغيرات التأثيرات البشرية. وأخيراً، في عام ٢٠٢٤، ارتفع معامل بيرسون إلى ٠.٤ مع زيادة ملحوظة في الهطول، حيث بلغت قيمة الهطول الأقصى ١٢٩.٠١ ملم والهطول الأدنى ٩٦.٧٥ ملم، وسُجلت أعلى قيمة لـ NDVI max عند ٠.٧٥ وارتفع NDVI mean إلى ٠.١٤. يُعزز هذا الارتفاع فكرة أن الهطول له دور مهم في تحفيز نمو الغطاء النباتي، مما يفسر الارتباط الطردي الواضح بين الهطول وكثافة الغطاء النباتي في هذا العام.

وبصورة عامة، يُظهر معامل بيرسون عبر الأعوام المدروسة أن هناك ارتباطاً طردياً متغيراً بين الهطول و NDVI، مع وجود تباين في قوة هذا الارتباط بين الأعوام. ورغم أن الهطول يعدّ عاملاً أساسياً في زيادة كثافة الغطاء النباتي، إلا أن الانخفاض في قوة الارتباط خلال بعض السنوات قد يعود إلى عوامل خارجية أخرى، مثل التغيرات المناخية الأخرى أو النشاط البشري الذي يؤثر على النظام البيئي. يشير هذا التحليل إلى أهمية مراعاة عوامل متعددة عند دراسة العلاقة بين الهطول ونمو الغطاء النباتي لضمان فهم أكثر شمولية ودقة لهذه الديناميكية البيئية.

٧- الاستنتاجات والتوصيات:

تعد دراسة التغيرات في الغطاء النباتي في محافظة المزاحمية خلال الفترة من ١٩٩٤ إلى ٢٠٢٤ من الدراسات الهامة التي تساهم في فهم التغيرات البيئية والمناخية التي شهدتها المنطقة. من خلال استخدام مؤشر NDVI، تمكنا من

رصد التغيرات السنوية للغطاء النباتي، والتي أظهرت نتائجها وجود تقلبات في المساحات المغطاة بالنباتات على مدار العقود الثلاثة الماضية. تشير النتائج إلى أن هناك انخفاضاً تدريجياً في بعض المناطق التي تأثرت بالتوسع العمراني والزراعي، بينما شهدت مناطق أخرى زيادة في الغطاء النباتي نتيجة لزيادة الهطولات المطرية.

أظهرت نتائج البحث أن الهطولات المطرية كان لها تأثير كبير على نمو الغطاء النباتي في محافظة المزاحمية، حيث لوحظ أن زيادة معدلات الأمطار ترتبط ارتباطاً مباشراً بزيادة كثافة الغطاء النباتي في العديد من المناطق. هذا الأمر يعكس أهمية الأمطار كمؤثر أساسي في تحديد صحة وتنوع الغطاء النباتي في المنطقة. وقد أسهم استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في إنتاج خرائط دقيقة تبرز التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي والهطولات المطرية خلال فترة الدراسة، مما ساعد في تحديد الاتجاهات والأنماط البيئية بشكل أكثر وضوحاً ودقة.

تتضح من خلال هذه الدراسة أهمية التفاعل بين عوامل المناخ والغطاء النباتي في تحديد الحالة البيئية في محافظة المزاحمية. كما يمكن اعتبار النتائج نقطة انطلاق لفهم أعمق لآثار التغيرات المناخية على النظم البيئية في المنطقة.

وفي ضوء النتائج، يوصي البحث بمجموعة من الاستراتيجيات للمحافظة على الغطاء النباتي والتقليل من تدهور البيئة، ومن أبرز هذه التوصيات:

١- تعزيز التشجير في المناطق التي شهدت تراجعاً في NDVI خلال فترة الدراسة.

٢- تحسين إدارة المياه في المناطق التي تأثرت بانخفاض الهطول المطري، بناءً على الخرائط التحليلية المقدمة في الدراسة.

٣- الاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في إجراء المزيد من الدراسات التي توضح تأثير العناصر المناخية الأخرى على الغطاء النباتي في مناطق المملكة .

٤- توعية المزارعين بنوعية المحاصيل الزراعية المناسبة لكمية الامطار
بالمناطق الجافة وشبه الجافة.

المصادر والمراجع باللغة العربية:

١ - الهيئة العامة للإحصاء، الكتاب الإحصائي السنوي، ٢٠٢٣م.

المصادر والمراجع باللغة الإنجليزية:

1. Alghannam, A. R. O., & Al-Qahtnai, M. R. A. (2012). Impact of vegetation cover on urban and rural areas of arid climates. *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 3(1), 1-5.
2. Al-Harbi, H. F., Alhuqail, A. A., Islam, Z., & Ghrefat, H. (2024). Vegetation trends and dynamics in Shada Mountain, Saudi Arabia,(1984–2023): insights from Google Earth Engine and R analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1397825.
3. Almalki, R., Khaki, M., Saco, P. M., & Rodriguez, J. F. (2022). Monitoring and mapping vegetation cover changes in arid and semi-arid areas using remote sensing technology: a review. *Remote Sensing*, 14(20), 5143.
4. Alqurashi, A. F., & Kumar, L. (2016). Spatiotemporal patterns of urban change and associated environmental impacts in five Saudi Arabian cities: A case study using remote sensing data. *Habitat International*, 58, 75-88.
5. Alqurashi, A. F., & Kumar, L. (2019). An assessment of the impact of urbanization and land use changes in the fast-growing cities of Saudi Arabia. *Geocarto International*, 34(1), 78-97.
6. Amiri, R., Weng, Q., Alimohammadi, A., & Alavipanah, S. K. (2009). Spatial–temporal dynamics of land surface temperature in relation to fractional vegetation cover and land use/cover in the Tabriz urban area, Iran. *Remote sensing of environment*, 113(12), 2606-2617.
7. Assiri, M. E., Ali, M. A., Siddiqui, M. H., AlZahrani, A., Alamri, L., Alqahtani, A. M., & Ghulam, A. S. (2024). Remote Sensing Assessment of Water Resources, Vegetation, and Land Surface Temperature in Eastern Saudi Arabia: Identification, Variability, and Trends. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36, 101296.

8. Badreldin, N., Frankl, A., & Goossens, R. (2014). Assessing the spatiotemporal dynamics of vegetation cover as an indicator of desertification in Egypt using multi-temporal MODIS satellite images. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 4461-4475.
9. Corrêa, R. S., Balduino, A. P. D. C., Teza, C. T. V., & Baptista, G. M. D. M. (2018). Vegetation cover development resulting from different restoration approaches of exploited mines. *Floresta e Ambiente*, 25(4), e20171116.
10. Felegari, S., Sharifi, A., Moravej, K., Golchin, A., & Tariq, A. (2022). Investigation of the relationship between ndvi index, soil moisture, and precipitation data using satellite images. *Sustainable Agriculture Systems and Technologies*, 314-325.
11. Fokeng, R. M., & Fogwe, Z. N. (2022). Landsat NDVI-based vegetation degradation dynamics and its response to rainfall variability and anthropogenic stressors in Southern Bui Plateau, Cameroon. *Geosystems and Geoenvironment*, 1(3), 100075.
12. Gao, L., Wang, X., Johnson, B. A., Tian, Q., Wang, Y., Verrelst, J., ... & Gu, X. (2020). Remote sensing algorithms for estimation of fractional vegetation cover using pure vegetation index values: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 159, 364-377.
13. Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599.
14. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27
15. Hag-elsafi, S., Elkamali, Y., Salman, A., & Zaidi, F. K. (2025). Assessing the Spatiotemporal variability and trends of rainfall, temperature, and NDVI in Saudi Arabia from 1980 to 2011 using meteorological station data and google earth engine. *Theoretical and Applied Climatology*, 156(1), 61.
16. He, P., Xu, L., Liu, Z., Jing, Y., & Zhu, W. (2021). Dynamics of NDVI and its influencing factors in the Chinese Loess Plateau during 2002–2018. *Regional Sustainability*, 2(1), 36-46.
17. Hussain, S., Qin, S., Nasim, W., Bukhari, M. A., Mubeen, M., Fahad, S., ... & Aslam, M. (2022). Monitoring the dynamic changes in vegetation cover using spatio-temporal remote sensing data from 1984 to 2020. *Atmosphere*, 13(10), 1609.

18. Kamble, M. V., Ghosh, K., Rajeevan, M., & Samui, R. P. (2010). Drought monitoring over India through normalized difference vegetation index (NDVI). *Mausam*, 61(4), 537-546.
19. Khalil, A. A., Essa, Y. H., & Hassanein, M. K. (2014). Monitoring agricultural land degradation in Egypt using MODIS NDVI satellite images. *Nat. Sci*, 12(8), 15-21.
20. Li, G., Sun, S., Han, J., Yan, J., Liu, W., Wei, Y., ... & Sun, Y. (2019). Impacts of Chinese Grain for Green program and climate change on vegetation in the Loess Plateau during 1982–2015. *Science of the Total Environment*, 660, 177-187.
21. López-Bermeo, C., Montoya, R. D., Caro-Lopera, F. J., & Díaz-García, J. A. (2022). Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 127, 103184.
22. Lou, J., Xu, G., Wang, Z., Yang, Z., & Ni, S. (2021). Multi-year NDVI values as indicator of the relationship between spatiotemporal vegetation dynamics and environmental factors in the Qaidam Basin, China. *Remote Sensing*, 13(7), 1240.
23. Lu, Q., Zhao, D., Wu, S., Dai, E., & Gao, J. (2019). Using the NDVI to analyze trends and stability of grassland vegetation cover in Inner Mongolia. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 1629-1640.
24. Mahcer, I., Baahmed, D., Oudin, L., & Chemirik, C. H. K. (2024). Multidimensional analysis of NDVI dynamics in response to climate and land use/land cover change in Northwest Algeria. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 72(4), 399-412.
25. Malik, Mohammad Subzar, Jai Prakash Shukla, and Satanand Mishra. "Relationship of LST, NDBI and NDVI using landsat-8 data in Kandaihimmat watershed, Hoshangabad, India." (2019).
26. Mateo-García, G., Gómez-Chova, L., Amorós-López, J., Muñoz-Marí, J., & Camps-Valls, G. (2018). Multitemporal cloud masking in the Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10(7), 1079.
27. Mehdi, A., Mobin, E., Mohammad, A., Elyasi, A. H., & Zahra, N. (2021). Application assessment of GRACE and CHIRPS data in the Google Earth Engine to investigate their relation with groundwater resource changes (Northwestern region of Iran). *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 9(2), 102-113.
28. Mishra, R., Singh, E., Kumar, A., & Kumar, S. (2021). Application of remote sensing for assessment of change in vegetation cover and the subsequent impact on climatic

- variables. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 41675-41687.
29. Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F., & Gwiazdzinski, L. (2022). Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: a case study of Linyi, China. *Land*, 11(3), 419.
 30. Pettorelli, N., et al. (2014). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the study of global change. *Biological Conservation*, 158, 63-68.
 31. Shah, S. A., & Siyal, A. A. (2019). GIS-based approach estimation of area under Wheat and other major Rabi crops in district Ghotki and corresponding irrigation water requirement. *ACTA Scientific Agriculture*, 3(12), 59-70.
 32. Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5, 17.
 33. Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 486-500.
 34. Sonawane, K. R., & Bhagat, V. S. (2017). Improved change detection of forests using Landsat TM and ETM+ data. *Remote Sensing of Land*, 1(1), 18-40.
 35. Sun, R., Chen, S., & Su, H. (2021). Climate dynamics of the spatiotemporal changes of vegetation NDVI in northern China from 1982 to 2015. *Remote Sensing*, 13(2), 187.
 36. Tian, Y., Bai, X., Wang, S., Qin, L., & Li, Y. (2017). Spatial-temporal changes of vegetation cover in Guizhou Province, Southern China. *Chinese Geographical Science*, 27, 25-38.
 37. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
 38. Wei, X., Li, Q., Zhang, M., Giles-Hansen, K., Liu, W., Fan, H., ... & Liu, S. (2018). Vegetation cover—another dominant factor in determining global water resources in forested regions. *Global change biology*, 24(2), 786-795.
 39. Zhang, M., Lin, H., Long, X., & Cai, Y. (2021). Analyzing the spatiotemporal pattern and driving factors of wetland vegetation changes using 2000-2019 time-series Landsat data. *Science of the Total Environment*, 780, 146615.
 40. Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., & Nieminen, J. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75(3), 319-325.