Journal Of the Iraqia University (76-5) August (2026)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at: https://www.mabdaa.edu.iq

النموذج المكاني للعلاقة بين الغطاء النباتي والخصائص التضاريسية في جبل سفين

حلاو حسين كريم

قسم الجغرافية، كلية الأداب، جامعة صلاح الدين أربيل، إقليم كوردستان العراق

Spatial Modeling of the Relationship Between Vegetation Cover and Topographic Characteristics in Safeen Mountain

Halaw Huseen Kareem
College of Arts / Salahaddin University-Erbil
halaw.kareem@su.edu.krd

Abstract

This study examines the spatial relationship between the topographic characteristics of the Safeen Mountain region and its vegetation cover using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). A set of topographic variables was utilized, including elevation, slope, curvature, the Topographic Wetness Index (TWI), the Topographic Position Index (TPI), the Stream Power Index (SPI), and solar radiation, to analyze their influence on the spatial distribution of vegetation. The study employed correlation coefficients and Zonal Statistics to determine the nature of these relationships, applying both Random Forest (RF) and Geographically Weighted Regression (GWR) models. Performance was assessed using R2, RMSE, and MAE metrics.The results revealed that solar radiation is the most influential characteristic, with clear spatial variation in the strength and direction of the relationships between variables. Furthermore, the Random Forest model outperformed the GWR model in terms of predictive power, achieving a coefficient of determination (R^2) of 0.69, while the GWR model demonstrated a higher capability in explaining spatial heterogeneity with an R^2 of 0.43. The study concludes that topographic characteristics, particularly solar radiation and elevation, are critical factors in the spatial variation of vegetation. It emphasizes the importance of using spatial models for analysis and prediction, recommending the integration of multiple analytical models to achieve a more comprehensive understanding of environmental phenomena.

Keyword: Random Forest, Topographic Wetness Index, Stream Power Index, coefficient of determination

ملخص

تتناول هذه الدراسة العلاقة المكانية بين الغطاء النباتي والخصائص التضاريسية لمنطقة جبل سفين من خلال مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، تم الاعتماد على عدد من الخصائص التضاريسية تتمثل بالارتفاع، الانحدار، الانحناء، مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI)، موشر الموقع الطبوغرافي (TPI)، مؤشر قوة الجريان (SPI) و كمية الاشعاع الشمسي. وذلك لدراسة تأثير هذه الخصائص على التوزيع المكاني للغطاء النباتي.استخدمت الدراسة معامل الارتباط و (Zonal statistics) لتحديد طبيعة العلاقة بين المتغيرات، وتم تطبيق نموذج الغابة العشوائية (Random Forest)، وكذلك نموذج الانحدار الموزون جغرافياً (GWR). كما تم استخدام مؤشرات التقيم (R^2، RMSE، MAE). أظهرت نتائج الدراسة ان الاشعاع الشمسي يمثل الخاصية الأكثر تأثيراً، وان هناك تباين مكاني واضح في قوة واتجاه العلاقة بين المتغيرات. وان نموذج الغابة العشوائية تفوق نموذج الانحدار الموزون جغرافياً من حيث قوة التنبؤية بقيم مؤشر الغطاء النباتي بمعامل تحديد بلغ (٠.٦٩)، بينما نموذج (GWR) اعلى قدرة في تفسير التباين المكاني بمعامل تحديد بلغ (٠.٤٣)تخلص الدراسة الى ان الخصائص التضاريسية ولاسيما الاشعاع الشمسي والارتفاع من الخصائص المهمة في التباين المكاني للغطاء النباتي، كما تركز على اهمية استخدام النماذج المكانية لتحليل التباين والتنبؤ المكاني، وتوصي الدراسة بدمج اكثر من نموذج تحليلي للحصول على فهم اكثر شمولية للظواهر البيئية.

الكلمات المفتاحية: نموذج الغابة العشوائية، مؤشر الرطوبة الطبوغرافية، مؤشر قوة الجريان، معامل التحديد.

المقدمة

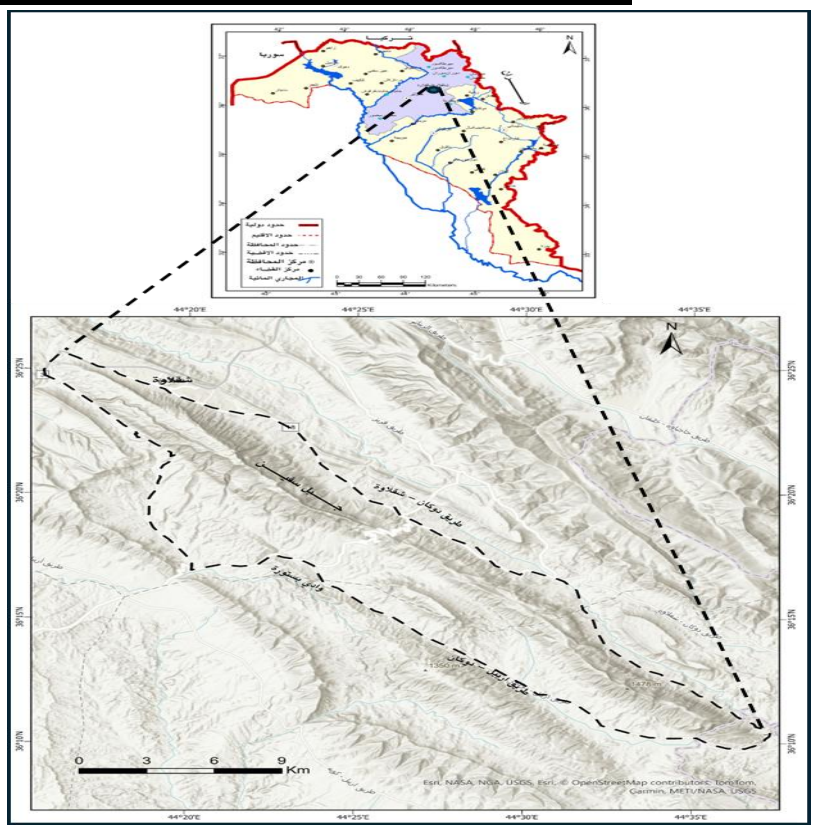
من ابرز الموضوعات التي تحظى باهتمام الجغرافيين هي العلاقة المكانية القائمة بين الظواهر الموجودة على سطح الأرض، وان تفهم هذه العلاقة تفسر التوزيع الجغرافي للظواهر الى حداً ما. احدى تلك العلاقات التي تبرز بصورة واضحة هي العلاقة بين التضاريس الأرضية والغطاء النباتي خاصة في المناطق الجبلية التي تتميز بتنوعها التضاريسي. فالتضاريس تلعب دوراً هاماً في تنظيم درجات الحرارة المحلية وتوافر الرطوبة مما ينعكس مباشرة على توزيع نظم الايكولوجية وخصائصها. (Xun et al., 2024: 2)تتمثل التضاريس في مجموعة من العناصر الأساسية كالارتفاع عن مستوى سطح البحر، الانحدار واتجاه الجغرافي للمنحدرات، تتفاعل هذه العناصر فيما بينها لتحدث تأثيرات مباشرة وغير مباشرة على الغطاء النباتي وتؤدي الى اختلافات ملحوظة في أنماط الغطاء النباتي وكثافته. (Liang et al., 2024: 3)إن المنهج الشائع والمستخدم على نطاق واسع لتحديد الغطاء النباتي هو اشتقاق مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، وهو مؤشر بسيط وفعال لقياس الغطاء النباتي الأخضر. فهو يُنظّم تشتت الأوراق الخضراء في أطوال موجات الأشعة تحت الحمراء القريبة، مع امتصاص الكلوروفيل في أطوال موجات الأشعة الحمراء. (Qin et al., 2021: 1)تعمل الارتفاع على خلق ما يسمى بالتدرج الارتفاعي في الخصائص البيئية العامة، خاصة درجات الحرارة والامطار ، وان درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة وكذلك كمية تساقط المطر سلباً او ايجاباً على النباتات من حيث الكثافة والوفرة.(سليم, ٢٠٢٥: ٧٦) وتشير الدراسات الى ان العلاقة بين الارتفاع والغطاء نباتي علاقة معقدة فتشير دراسة (Khalaf et al., 2021: 435) الى وجود علاقة عكسية بين عامل الارتفاع وانتشار الغطاء النباتي، بسبب ضحالة سمك التربة في الأماكن المرتفعة وتراكم الثلوج فيها. وتبين الدراسات الأخرى الى ان الغطاء النباتي تزداد كثافةً مع الارتفاع حتى نقطة معينة، ثم يبدأ بالانخفاض، وهذا يعني ان العلاقة غير خطية. (Muradyan et al., 2016: 57)يعد عامل الانحدار من العوامل الأساسية المؤثرة في الغطاء النباتي، فسجل اعلى قيم لمؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي والكتلة الحيوية في الأراضي ذات الانحدار المنخفض، بينما سجل ادنى مستويات الكثافة النباتية في أراضي ذات انحدار مرتفع، وذلك بسبب عدم استقرار التربة وصعوبة تثبيت جذور النباتات. (Ahmed et al., 2023: 1748). كما تزداد سرعة جريان المياه السطحي في المنحدرات الشديدة، مما يقلل من تسرب المياه الى باطن الأرض لتستفيد منها جذور النباتات. (Khalaf et al., 2021: 436)تعد الطاقة الشمسية المصدر الأساسي في عملية التمثيل الضوئي للنبات، وخلق مادة الكلوروفيل في خلاياها، ومصدر قدرتها على النمو، وتراكم المواد العضوية فيها. (Xuan and Rao, 2023: 122). ويؤثر اتجاه ميل السطح في كثافة النباتات فالسطوح التي تواجه الشمال تتميز باستقبال اشعة الشمس المائلة مما يقلل من معدلات التبخر وبالتالي ارتفاع محتوى المائي نسبياً لتلك التربة، لذا يلاحظ وفرة الغطاء النباتي على تلك السفوح فيما تستقبل السفوح التي تواجه الجنوب مقداراً اكبر من اشعة الشمس مما يرفع معدلات تعرية التربة.(الحمامده, ٢٠٠٣: ٦١)يعتبر الانحناء الطبوغرافي من المؤشرات الأساسية لتحديد الخصائص التضاريسية لشكل سطح الأرض، يصف هذا المؤشر السطوح الى محدبة (Convex) ومقعرة (Concave) و مستوية (Flat)، حيث ان المناطق المقعرة (القيم السالبة) اكثر ملائمة لنمو الغطاء النباتي، بينما المناطق المحدبة (القيم الموجبة) تقل قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة وانخفاض الغطاء النباتي هناك نماذج مختلفة تعتمد على التضاريس لتحديد كمية رطوبة التربة. مُستمدة من نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، ويمكن تطبيقها بكفاءة على نطاق واسع. ويُعد مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI) الذي اقترحه بيفن وكيركبي المؤشر الأكثر استخدامًا، يعبّر مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI) عن التوازن بين إمداد المياه في حوض التصريف والصرف المحلي، والذي تحدده طبيعة التضاريس، وهو يحدد قابلية الموقع لتجميع المياه، كلما زادت قيمة المؤشر زادت الرطوبة المتجمعة في هذا الموقع. (Kopecký et al., 2021: 2)من الخصائص التضاريسية التي تؤثر في الغطاء النباتي هو ارتفاع او انخفاض نقطة ما بالنسبة لما حولها، احد المؤشرات التي تقيس هذه الخاصية هو مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI) وهو مؤشر يوضح موقع اية نقطة بالنسبة لما حولها من حيث الارتفاع، وانه يحدد نوع السطح بين القمة و السفح والوادي، وبالتالي يتحكم في الرطوبة وسمك التربة وعمليات التعرية وهي من العوامل التي تؤثر في الغطاء النباتي. (Al-Sababhah, 2023:84)يعد مؤشر قوة التيار (SPI) احد الخصائص التضاريسية ذات العلاقة مع الغطاء النباتي يصف هذا المؤشر احتمالية التعرية الناتجة عن تدفق المياه عند نقطة معينة على السطح، ويتحكم في قوة التعرية المحتملة لتدفق المياه. (Bachri et al., 2019: 5).هناك عدد من الدراسات المحلية التي اهتمت بالعلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي من ابرزها دراسة A. Gaznayee وآخرون (Gaznayee et al., 2024: 107) في المنطقة الجبلية في إقليم كوردستان العراق. واثبتت ان أنماط الغطاء النباتي تتأثر بعوامل تضاريسية عدة كالانحدار والجهة والارتفاع مع وجود تباين واضح في الغطاء النباتي بين جهات المنحدر المختلف. وعلى الصعيد ذاته كشفت دراسة Mzuri وآخرون (Mzuri et al., 2021: 124) ان بيانات التضاريس المتمثلة بالارتفاع والانحدار والجهة الى جانب بيانات المناخ تؤثر على التباين المكاني للغطاء النباتي في محافظة دهوك. وتناول دراسة Al- Zubaidi وآخرون (Al-Zubaidi et al., 2014:

53) تحديد العلاقات بين التنوع الجيولوجي والتنوع البيولوجي في منطقة جبل سفين، وإنشاء منطقة محمية للتنوع الجيولوجي والبيولوجي، واستخدامها في التعليم والبحث العلمي والسياحة البيئية وغيرها من مجالات التنمية المستدامة. كما أُجريت H. Aziz (Aziz, 2005: 2) دراسة لتوثيق نباتات الأشنات في إقليم كردستان العراق، وتحديدًا في بعض المناطق الجبلية ضمن محافظة أربيل منها جبل سفين، لتوفير معلومات حول تشريح وشكل وموائل وتوزيع هذه الفطريات المتطفلة على الأشنات.ان غالبية الدراسات التي تناولت العلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي تعتبر العلاقة المكانية ثابتة، واعتمد على أساليب إحصائية تقليدية، كما ان القليل منها استخدم النماذج المكانية لتحليل وتفسير هذه العلاقة. علاوة الى ذلك لم تحدد الدراسات السابقة الأهمية النسبية للخصائص التضاريسية بشكل دقيق خاصة في منطقة جبل سفين. هذه الدراسة تحاول سد هذه الفجوة عن طريق دمج نموذج الغابة العشوائية مع نموذج الانحدار الموزون جغرافياً لتحليل وتفسير التباين المكاني والتنبؤ بتوزيع الغطاء النباتي في منطقة جبل سفين. تهدف هذه الدراسة الى تحليل جغرافي للعلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي في جبل سفين، عن طريق دراسة التوزيع المكاني للغطاء النباتي حسب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، وتحديد تأثير خصائص تضاريسية مختلفة، كما تسعى الدراسة لتحديد نوع العلاقة وقوتها وبناء نماذج مكانية لتفسير التباين المكاني وكذلك التنبؤ المكاني لقيم (NDVI)، عن طرق نموذج الغابة العشوائية ونموذج الانحدار الموزون جغرافياً. كما تهدف الدراسة الى تقييم دقة النماذج ومقارنتها لتحديد النموذج الأكثر كفاءة في التفسير والتنبؤ. تنبع أهمية هذه الدراسة في كونها تسعى الى تحليل العلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي في المناطق الجبلية، لان لهذا الموضوع دور أساسي في تفسير التباين المكاني للغطاء النباتي والتنبؤ بها. كما تساهم هذه الدراسة في استخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتطبيق نماذج التحليل المكاني المتقدمة مما يؤدي الى الدقة في تحليل وتفسير الظواهر البيئية. وتظهر أهمية الدراسة ايضاً في دعم جهود إدارة الغطاء النباتي والتخطيط البيئي، الامر الذي يمكن ان يساعد في اتخاذ قراراة افضل في مجال الحفاض على التنوع البيئي.تتمثل مشكلة هذه الدراسة في محاولة الإجابة عن مايأتي: ما هي طبيعة العلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي؟ وماهو النموذج الأكثر كفاءة للتفسير والتنبؤ المكاني للغطاء النباتي؟تفترض الدراسة ان العلاقة بين الخصائص التضاريسية والغطاء النباتي علاقة معنوية، وان نموذج الانحدار الموزون جغرافياً اكثر كفاءة في تفسير والتنبؤ المكاني.

٢- المواد وطريقة العمل

٢-١- الحدود المكانية والزمانية:

تتمثل منطقة الدراسة بسلسلة جبل سفين الذي يقع عند قضاء شقلاوة في وسط محافظة أربيل ضمن إقليم كوردستان العراق، يحد منطقة الدراسة من الجانب الشمالي طريق دوكان شقلاوة ابتداءاً من مدينة شقلاوة في اقصى الشمال الغربي الى نهاية الطية الجبلية في الجنوب الشرقي عند مضيق سماقولي، ويتمثل طريق أربيل دوكان الحدود الجنوبية للمنطقة من اقصى الشمال الغربي الى اقصى الجنوب الشرقي. تمتد منطقة الدراسة بين دائرتي عرض ("36°25'44&"36°09'48) شمالاً، وخطي الطول ("44°37'17 & "44°15'38) شرقاً، كما يظهر من الخارطة (١). وتبلغ مساحة منطقة الدراسة (٢٢٣.٥) كم^{٢}.تُعدّ طية سفين المحدبة واحدة من أكبر الطيات المحدبة في إقليم كوردستان العراق، وتمتد باتجاه شمال غرب – جنوب شرق. وتُظهر هذه الطية نموًا جانبيًا واضحًا، كما يتضح من أنماط وأشكال التصريف الشاذة المختلفة، فضلًا عن الأشكال الجيومورفولوجية المتنوعة التي تُشير إلى هذا النمو الجانبي. (Sissakian and Abdullah, 2023: 139). هذه السلسلة عبارة عن طية محدبة كبيرة غير متناظرة ذات انحدار مزدوج يمتد باتجاه الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي. يقع ضمن المنطقة الجبلية الألتوائية جنوب نطاق الجبال العالية المعقدة، أنكشفت في المنطقة تكوينات العصر الكريتاسي الذي تضمن تكويني عقرة وتانجرو وتكوينات الزمن الثالث (السينوزويك) الذي انكشف



خارطة (١) موقع منطقة الدراسة

المصدر: بالاعتماد على حكومة إقليم كوردستان، وزارة التخطيط، هيئة إحصاء إقليم كوردستان. و بيانات مفتوحة المصدر (Open Street Map)، ضمن برنامج (ArcGIS Pro)فيه تكوين كولوش. تطورت الأشكال الجيومورفية في المنطقة حيث برزت منها أشكال بنيوية حتية، أشكال تعروية أشكال ترسيبية وأشكال أرضية كارستية. (الخالدي, ٢٠١٨: ٣٢٩)بالنسبة للحدود الزمانية للدراسة، تم احتساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) لمتوسط فصل الصيف (حزيران – آب) خلال الفترة (٢٠١٥-٢٠٢٤). حيث تختفي خلال فصل الصيف اغلب النباتات العشبية الفصلية وتبقى الغطاء النباتي الدائمي، مما يساعد في ابراز تأثير الخصائص التضاريسية.

٢-٢- طريقة العمل

من اجل تحقيق والوصول لاهداف الدراسة تم اتباع عدد من المراحل المتتابعة كما يظهر من الشكل (١) وهي كالاتي:

١. حساب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) من خلال منصة (Google Earth Engin) عن طريق كود خاص.

٢. اشتقاق الخصائص التضاريسية من النموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وهي (الارتفاع، الانحدار، الانحناء الطبوغرافي، مؤشر الرطوبة الطبوغرافية، مؤشر الموقع الطبوغرافي، مؤشر قوة الجريان و كمية الطاقة الشمسية).

٣. توحيد البيانات من حيث الاحداثيات والدقة المكانية، اذ تمت عملية (Resampling) للدقة المكانية لخريطة مؤشر الغطاء النباتي وحولت الى (١٢.٥)م لتتوافق دقتها المكانية مع دقة الطبقات الأخرى.

٤. استخراج القيم للتحليل الاحصائي من خلال اخذ عينة نقطية عشوائية عددها (١٣٠٩) نقطة موزعة على سطح المنطقة، ثم إعطاء قيم مؤشر الغطاء النباتي وقيم الخصائص التضاريسية لكل نقطة من العينة. وتم استبعاد النقاط التي تقع ضمن مناطق جرداء والمبنية والاجسام المائية.

٥. اجراء التحليلات الإحصائية (Correlation، Zonal statistics، Random Forest ، GWR).

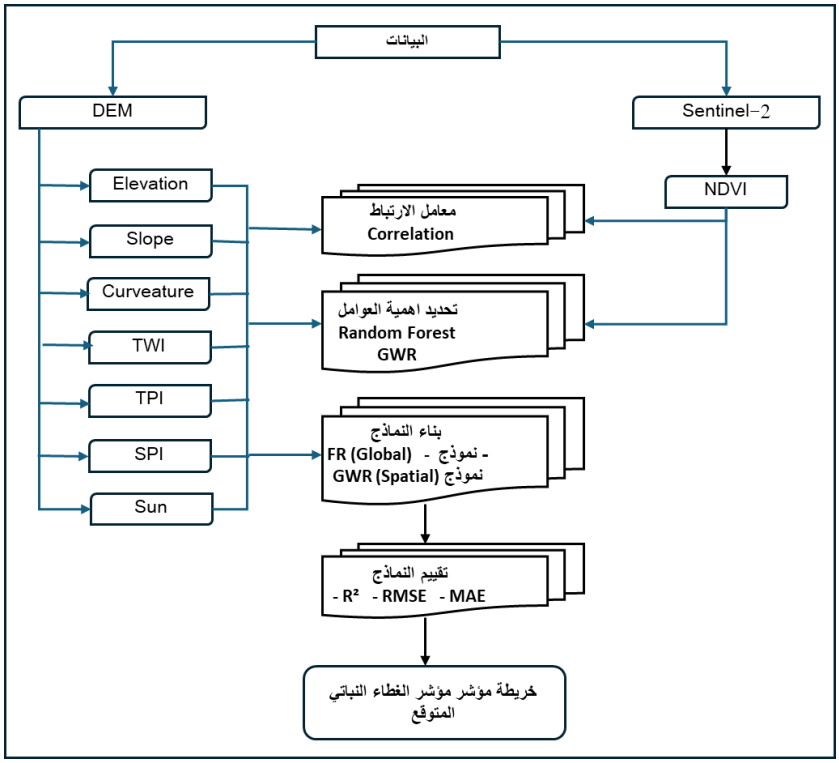
٦. تحديد الأهمية النسبية للخصائص التضاريسية، و بناء النماذج المكانية للتفسير والتنبؤ، ومن ثم تقيم دقتها وانشاء خريطة الغطاء النباتي المتوقع.

٢-٣- مصادر البيانات:

١. بيانات مؤشر الغطاء النباتي (NDVI): أُستخدمت في هذه الدراسة بيانات القمر الصناعي **(Sentinel-2)** التابعة لبرنامج (**Copernicus)** الأوروبي لحساب مؤشر الغطاء النباتي من خلال منصة (Google Earth Engin) عن طريق كود خاص بحساب معدل

فصل الصيف للمؤشر في منطقة الدراسة خلال فترة (٢٠١٥ – ٢٠٢٤) بالدقة المكانية (١٠)م. المتصفح الإلكتروني الرسمي لبرنامج كوبرنيكوس : https://browser.dataspace.copernicus.eu

٢. بينات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM): تم استخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي من نوع (SRTM) بدقة مكانية تبلغ (١٢.٥) م، تم الحصول على هذه البيانات من الموقع الالكتروني لمنشأة ألاسكا للأقمار الصناعية (ASF)، التابعة لمعهد الجيوفيزيائي بجامعة ألاسكا فيربانكس (UAF)، لأبحاث علوم الأرض، تم تنزيل بيانات الارتفاع من خلال المنصة الرسمية التالية: https://search.asf.alaska.edu



شكل (١) مخطط طريقة عمل مراحل الدراسة

٢-٤- الإطار المنهجي:

اعتمدت هذه الدراسة على منهجية استقرائية لتتبع مفردات الظاهرة للوصول الى تعميمات عمومية، ومن اجل تحديد العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) والخصائص التضاريسية في منطقة الدراسة، تم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية والمكانية منها معامل ارتباط (Correlation) بيرسون لتحديد نوع العلاقة وقوتها. وتحليل (Zonal statistics) لتحديد شكل العلاقة من خلال حساب معدل (NDVI) لكل فئة من فئات الخصائص التضاريسية. ولتحديد أهمية العوامل المؤثرة في توزيع الغطاء النباتي وبناء نماذج مكانية لتفسير التباين والتنبؤ المكاني تم تطبيق نموذج الغابة العشوائية (Random Forest). و نموذج الانحدار الجغرافي الموزون (GWR).

٢-٥- تقييم دقة النماذج المكانية:

من اجل اختبار دقة النموذج التنبؤي تم استخدام نقاط التنبؤ نفسها المستخدمة في بناء نموذج التباين المكاني لضمان دقة المقارنة، حيث احتسب قيمة مؤشر الغطاء النباتي المتوقع لجميع النقاط حسب نموذج الغابة العشوائية ونموذج الانحدار الموزون جغرافياً، ومن ثم احتساب قيم معامل التحديد (R2) وجذر متوسط مربع الخطء (RMSE) ومتوسط الخطأ المطلق (MAE) بين القيم الواقعية والقيم المتوقعة.

٣- اعداد البيانات

ان النموذج المكاني لتحديد تأثير الخصائص التضاريسية في الغطاء النباتي في منطقة الدراسة يتطلب تحضير خريطة لمؤشر الغطاء النباتي (NDVI) و خرائط للعوامل المؤثرة والمتمثلة بالارتفاع، الانحدار، اتجاه الانحدار، مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية (TWI)، مؤشر قوة الجريان (SPI)، مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI) و كمية الطاقة الشمسية، كطبقات المدخلة في النموذج المستخدم وتتمثل هذه الطبقات بما يأتي:

٣-١- مؤشر الغطاءالنباتي (NDVI):

تم تحديد كثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة من خلال قيم مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، حيث يتم حساب مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) على أساس المعادلة التالية: (Qin et al., 2021: 2)

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

يظهر من الخارطة (٢) والجدول (١). ان فئة الغطاء النباتي المتفرقة تغطي نسبة (٣٢.٤٪) من المساحة الكلية وتظهر في أجزاء متفرقة من منطقة الدراسة خاصة على طول السفوح الجنوبية الغربية، وان نسبة (٣١.٣٪) من مساحة منطقة الدراسة تغطيها الحشائش والشجيرات، تنتشر بصورة واضحة في السفوح الجنوبية الغربية. تشكل الغطاء النباتي الكثيف (٢٤.٧٪) من المساحة الكلية وتظهر بصورة واضحة في المرتفعات والسفوح الشمالية الشرقية. وتتكون النسبة الباقية من المساحة من أراضي جرداء والمناطق المبنية وسطوح مائية.

٣-٢- الخصائص التضاريسية:

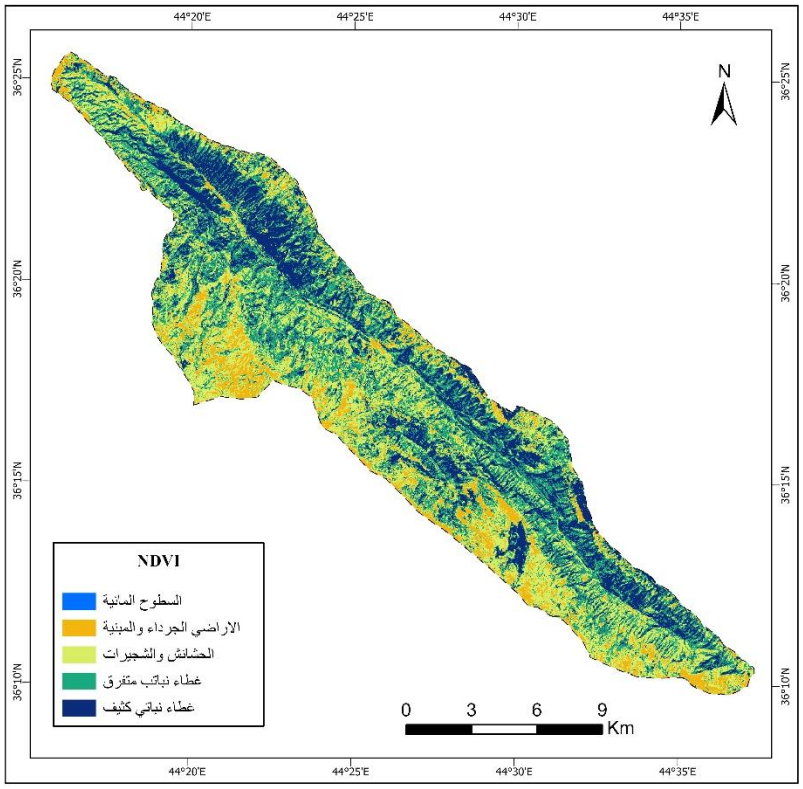
اعتماداً على بيانات الجدول (٢) يمكن تحديد الخصائص التضاريسية في منطقة الدراسة كالاتي:

١. الارتفاع:

يظهر من الخارطة (3A) ان هناك تدرج في الارتفاع من محور السلسلة الجبلية الرئيسية الممتدة طولياً باتجاهي الشمالي الشرقي والجنوبي الغربي. فاعلى فئة للارتفاع (١٥٤٨ – ١٩٧٢)م تتركز في الجزء الأوسط الشمالي من منطقة الدراسة وتشكل اقل نسبة (٥.٨٪) من المساحة الكلية تأتي بعدها الفئة المرتفعة نسبياً (١٢٩١ – ١٥٤٧)م بنسبة (١٤.٣٪) من المساحة الكلية وتحيط بالفئة السابقة. تنتشر الفئة (١١٠٨ – ١٢٩٠)م في اطراف الفئة السابقة وتشكل نسبة (٢٣.٦٪) من المساحة الكلية. في حين تغطي الفئة (٩٣٧ – ١١٠٧)م اكبر مساحة بنسبة (٣٤.٧٪) وهي المناطق الانتقالية بين المرتفعات والمناطق المنخفضة نسبياً. وتنخفض قيم الارتفاع في اطراف منطقة الدراسة الى الفئة (٦١٦ – ٩٣٦)م مشكلاً نسبة (٢١.٦٪) من المساحة الكلية.

٢- الانحدار:

تبلغ نسبة الأراضي المتقطعة والمتقطعة جداً درجة انحدارها اكبر من (١٦) ° في منطقة الدراسة (٤٣.٩٪) وهي تظهر بشكل محور طولي ضمن السفوح العليا من السلسلة الجبلية.الخارطة (3B). وتشكل



خارطة (٢) أنواع الغطاء النباتي حسب مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) في منطقة الدراسة جدول (١) قيمة (NDVI) ونوع الغطاء الأرضي ومساحاتها في منطقة الدراسة

قيمة NDVI	نوع الغطاء الأرضي	المساحة كم٢	%
-0.248 – 0.015	السطوح المائية	0.03	0.0
0.016 – 0.18	ارض جرداء , والمناطق المبنية	25.84	11.6

0.181 – 0.27	الحشائش والشجيرات	70.06	31.3
0.271 – 0.36	غطاء نباتي متفرق	72.38	32.4
0.361 – 0.776	غطاء نباتي كثيف	55.16	24.7

المصدر: بالاعتماد على النتائج الجدولية للخارطة (٢)

فئة الانحدار (٨ – ١٥.٩) ° نسبة (٢٧.٧٪) من مساحة منطقة الدراسة، وتحيط بالاراضي المتقطعة والمتقطعة جداً. وتشكل فئة الانحدار (٢ – ٧.٩) نسبة (٢٢.٢٪) من المساحة الكلية وتظهر بصورة واضحة في السفوح الجنوبية الغربية للسلسلة الجبلية. ولا يتجاوز نسبة الانحدارات الخفيفة (١.٥٪) من المساحة الكلية للمنطقة.

٣- الانحناء الطبوغرافي (Curvature):

ان نسبة مساحات السطوح المقعرة و المحدبة متقاربة جداً في منطقة الدراسة حسب مؤشر الانحناء الطبوغرافي وتبلغ (٣٨.٤٪) و (٣٨.١٪) على التوالي. تتمثل الأولى بالوديان والمناطق المنخفضة عن ما يجاورها، الخارطة (3C)، بينما تمثل القمم الجبلية والمرتفعات السطوح المحدبة. وتشكل السطوح المستوية وشبه المستوية نسبة (٢٣.٤٪) من المساحة الكلية.

٤- مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية (Topographic Wetness Index – TWI):

عند حساب مؤشر الرطوبة الطبوغرافية من نموذج التضاريس الرقمي، يجب أولاً إزالة جميع المنخفضات الأرضية والبكسلات المسطحة. بعد ذلك، يتم حساب إجمالي مساحة حوض التصريف، وعرض التدفق، وميل كل بكسل. وأخيرًا، تُدمج هذه المكونات الثلاثة في مؤشر الرطوبة الطبوغرافية. ويحتسب وفقًا للمعادلة التالية: (Kopecký et al., 2021: 2)

$$TWI = \ln(\frac{A}{tan\beta})$$

A= المساحة المساهمة، تراكم الجريان (Fiow Accumulation)

β= الانحدار (Slope). بعد تحويلها الى راديان من خلال هذه المعادلة: $\frac{3.14159}{180} \times$ الانحدار

ان فئة مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية المنخفضة (٠.١ – ٥) تغطي اكبر مساحة بنسبة (٤٥.٨٪) من المساحة الكلية، وهي مناطق المرتفعة والسفوح الجبلية في اطراف خط القمم الجبلية، كما يظهر من الخارطة (3D). وتقع نسبة (٣٦.٨٪) من المساحة الكلية ضمن فئة المتوسطة (٥.١ – ٧) وهي مناطق مقدمات الجبال واعالي الوديان الجبلية. ترتفع قيمة المؤشر ضمن مساحة (٣٦.٩)كم^2 مشكلاً نسبة (١٦.٥٪) من المساحة الكلية، وهي بطون الاودية الجبلية التي تتجمع فيها الرطوبة. ولا تتجاوز نسبة مساحة القيم المنخفضة جداً للمؤشر عن (٠.١٪) من المساحة الكلية، وهي تمثل مناطق القمم الجبلية المنحدرة.

٥- مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI):

يتم حساب مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI) من المعادلة التالية: (Al-Sababhah, 2023: 84)

$$TPI = Z_0 - Z^-$$

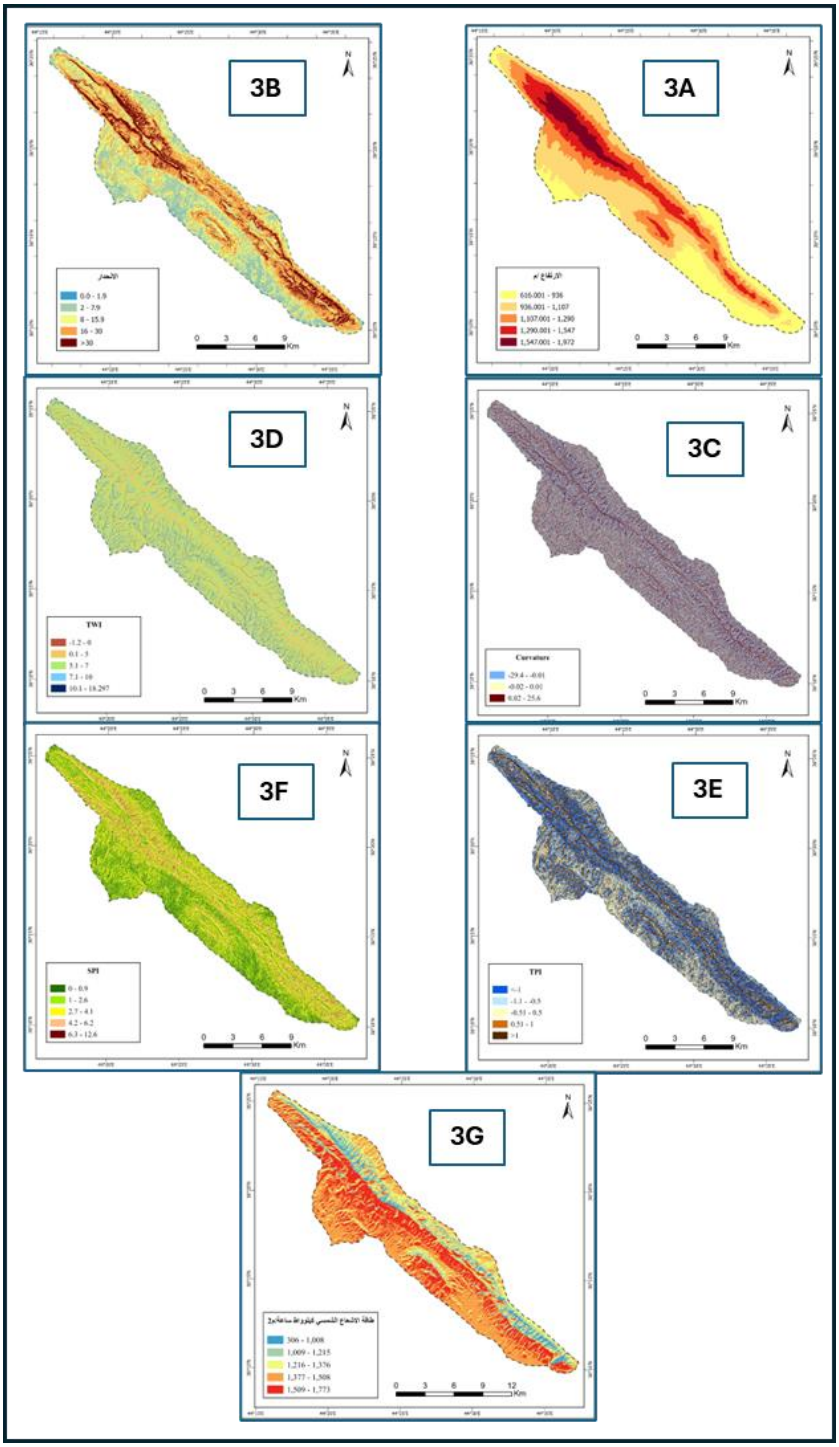
Z_0 = ارتفاع نقطة معينة

Z^- = متوسط ارتفاع الجوار

ان اكبر نسبة من مساحة منطقة الدراسة (٣٢.٤٪) تتكون من المنخفضات التي تشكل الاودية المنخفضة من المناطق المحيطة بها. تأتي بعدها بنسبة (٣٠٪) من المساحة الكلية قمم ومرتفعات اعلا من المناطق المحيطة بها بصورة واضحة، الخارطة (3E). و تشكل المناطق المستوية وشبه المستوية نسبة (١٩.٨٪)من المساحة الكلية. بينما تنخفض نسبة المنخفضات الخفيفة الى (٩.٣٪) وهي بداية مناطق المنخفضة. والمرتفعات الخفيفة الى (٨.٤٪) وهي بداية المناطق المرتفعة.جدول (٢) قيم فئات الخصائص التضاريسية في منطقة الدراسة

الخصائص التضاريسية	الفئات	المساحة	%
الارتفاع	616 – 936	48.2	21.6
	937 – 1,107	77.6	34.7
	1,108 – 1,290	52.8	23.6

	1,291 – 1,547	32.0	14.3
	1,548 – 1,972	12.9	5.8
الانحدار	0 – 1.9	3.5	1.5
	2 – 7.9	51.8	22.2
	8 – 15.9	64.7	27.7
	16 – 30	74.4	31.9
	اكبر من ٣٠	28.0	12.0
مؤشر الانحناء curvuture	−29.4 – −0.01	85.9	38.4
	−0.02 – 0.01	52.4	23.4
	0.02 – 25.6	85.2	38.1
مؤشر الرطوبة الطبوغرافية TWI	−1.2 – 0	0.2	0.1
	0.1 – 5	102.3	45.8
	5.1 – 7	82.3	36.8
	7.1 – 10	29.5	13.2
	10.1 – 18.3	7.4	3.3
مؤشر الموقع الطبوغرافي TPI	<−1	72.4	32.4
	−1.1 – −0.5	20.8	9.3
	−0.51 – 0.5	44.2	19.8
	0.51 – 1	18.8	8.4
	>1	67.1	30.0
مؤشر قوة الجريان SPI	0 – 0.9	48.8	21.9
	1 – 2.6	57.5	25.7
	2.7 – 4.1	66.3	29.7
	4.2 – 6.2	40.4	18.1
	6.3 – 12.6	9.3	4.2
الاشعاع الشمسي	306 – 1,008	9.6	4.3
	1,009 – 1,215	23.3	10.4
	1,216 – 1,376	41.6	18.6
	1,377 – 1,508	88.3	39.5
	1,509 – 1,773	60.6	27.1



خارطة (٣) الخصائص التضاريسية في منطقة الدراسة

٦- مؤشر قوة الجريان (SPI):

يشير مؤشر SPI الموجب المرتفع إلى ارتفاع معدل التعرية، بينما تشير القيم السالبة أو المنخفضة إلى انخفاض معدل التعرية أو زيادة معدل الترسيب تم حساب مؤشر قوة التيار وفقًا للصيغة التالية: (Ahmad, 2020: 3)

$$SPI = A \times \tan \beta$$

A= المساحة المساهمة، تراكم الجريان (Fiow Accumulation)

β= الانحدار (Slope).

ان نسبة (٢٩.٧٪) من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن الفئة المتوسطة (٢.٧ – ٤.١) لقيم مؤشر (SPI) تتصف هذه الفئة بجريان معتدل للمياه. تشكل نسبة مساحة القيم المنخفضة والمنخفضة جداً (٤٧.٦٪) من المساحة الكلية تتميز هذه امساحات بجريان ضعيف وانها مناطق مستقرة. بينما تبلغ نسبة مساحات ذات القيم المرتفعة والمرتفعة جداً (٢٢.٢٪) من المساحة الكلية وهي تمثل مناطق الوديان ذات جريان قوي وتعرية شديدة. كما يظهر من الخارطة (3F)

٧- كمية الطاقة الشمسية:

تم تشغيل أداة (Area Solar Radiation) لحساب كمية الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي، مع تحديد تأثير الانحدار واتجاهتها والظل الطبوغرافي. واخذت معدل كمية الطاقة الشمسية خلال فصل الصيف (حزيران – آب) وهي فترة الدراسة، تحتسب كمية الطاقة الشمسية بكيلوات ساعة/م٢ (KWH/m^2). صنفت منطقة الدراسة اعتماداً على قيم كمية الطاقة الشمسية الى خمسة فئات كما يظهر من الخارطة (3G)، حيث ان اغلب مساحة منطقة الدراسة (١٤٨.٩)كم^2 ضمن فئتي المرتفع والمرتفعة جداً والتي تتميز باشعاع عالي وتعرض شديد للشمس تشكل هذه المساحة نسبة (٦٦.٦٪) من المساحة الكلية، وتظهر في السفوح الجنوبية الغربية على طول امتداد السلسلة الجبلية. وتقع نسبة (١٨.٦٪) من المساحة ضمن الفئة المتوسطة للاشعاع الشمسي وتغطي السفوح الشمالية الشرقية للسلسلة الجبلية. بينما لا يتجاوز نسبة المناطق التي تتميز باشعاع ضعيف ومناطق الظل نسبة (١٤.٧٪) من المساحة الكلية.

٤- النتائج والمناقشة:

٤-١- نتائج تحليل الارتباط:

حسب نتائج تحليل الارتباط باستخدام معامل بيرسون بين مؤشر الغطاء النباتي والخصائص التضاريسية الواردة في الجدول (٣) نلاحظ وجود علاقة معنوية بين المؤشر المذكور وبعض من الخصائص التضاريسية. بلغ معامل الارتباط بين مؤشر الغطاء النباتي وكمية الاشعاع الشمسي (-٠.٣٦٦)، وهي علاقة معنوية عكسية متوسطة القوة، وهذا يعني ان زيادة الاشعاع الشمسي في السفوح الجنوبية تؤدي الى انخفاض كثافة الغطاء النباتي بسبب زيادة معدلات التبخر، بينما انخفاض الاشعاع الشمسي في تؤدي الى ارتفاع كثافة الغطاء النباتي في السفوح الشمالية.بلغ معامل الارتباط بين مؤشر الغطاء النباتي و عامل الارتفاع (٠.٢٦٩) وهي علاقة معنوية طردية ضعيفة، تشير الى تحسن الظروف البيئية للغطاء النباتي مع زيادة في الارتفاع عن مستوى سطح البحر، وضعف العلاقة الى ان العلاقة قد يكون غير خطية كما ان هناك عوامل أخرى تؤثر في الغطاء النباتي في منطقة الدراسة. وكذلك الحال مع عامل الانحدار اذ كانت العلاقة معنوية طردية ضعيفة بلغ معامل ارتباطه مع مؤشر الغطاء النباتي (٠.٢٣١) وهذا يعني ارتفاع كثافة الغطاء النباتي مع ازدياد انحدار السطح بصورة نسبية.اما علاقة الخصائص الأخرى (الانحناء الطبوغرافي، مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية ، مؤشر الموقع الطبوغرافي و مؤشر قوة الجريان) مع مؤشر الغطاء النباتي فهي غير معنوية حسب معامل ارتباط بيرسو، وهذا يدل على ان تأثير هذه الخصائص قد تكون غير خطي او ان تأثيرها تحجب عن طريق تأثير عوامل أخرى.

جدول (٣) قيم معامل الارتباط بيرسون لمؤشر الغطاء النباتي والخصائص التضاريسية

الخصائص	الارتفاع	الانحدار	الاشعاع الشمسي	Curvature	TWI	TPI	SPI
معامل الارتباط	0.263	0.231	-0.366	-0.041	0.001	-0.048	0.05
p_{value}	0.00	0.00	0.00	0.13	0.97	0.08	0.069

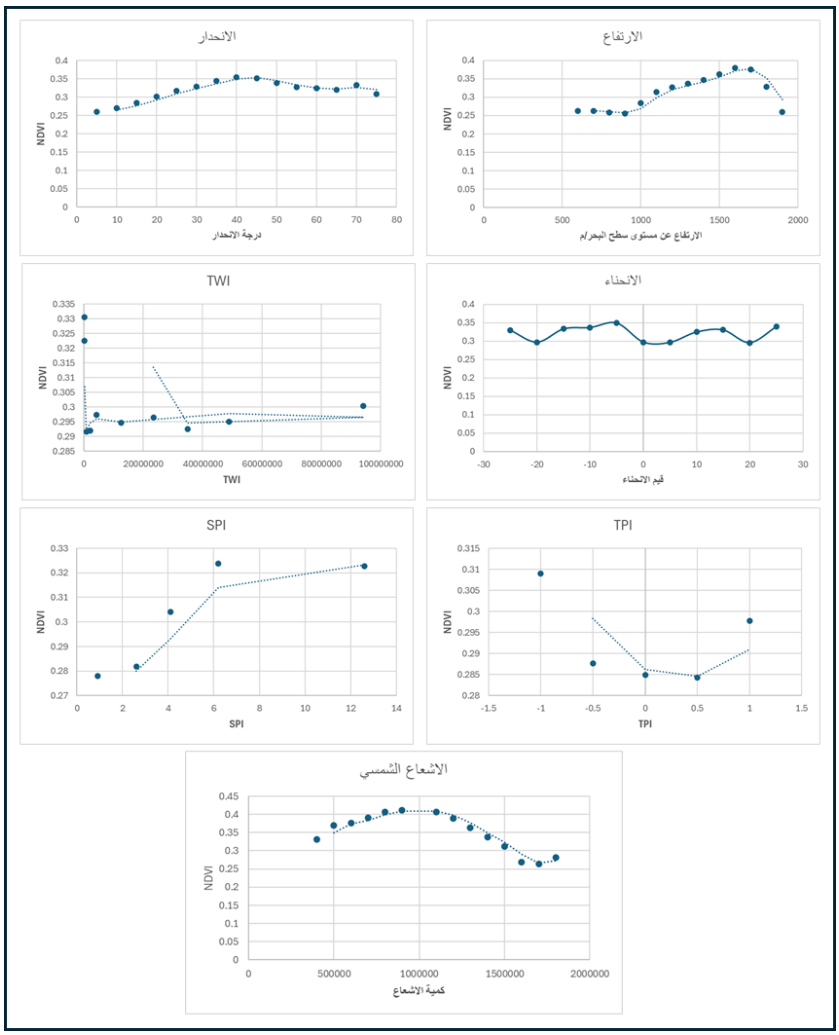
المصدر: نتائج ارتباط بيرسون في برنامج spss.

٤-٢- نتائج تحليل (Zonal statistics): الشكل (٢)

١. العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي والارتفاع علاقة غير خطية (منحنى)، حيث تزداد قيمة (NDVI) مع الارتفاع ابتداءاً من المناطق المنخفضة، لتصل الى اعلى قيمتها في فئة الارتفاع (١٥٠٠ – ١٧٠٠)م. ويرجع ذلك الى ملائمة الظروف البيئية لنمو الغطاء النباتي من حيث الرطوبة واعتدال درجات الحرارة. وفي الارتفاعات الأعلى من ذلك تبدأ كثافة الغطاء النباتي بالانخفاض، وذلك بسبب الظروف المناخية القاسية وضعف التربة.

٢. العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي والانحدار غير خطية، حيث تزداد قيمة (NDVI) تدريجياً مع زيادة الانحدار لتصل الى اعلى قيمتها عند الفئات (٣٥-٤٥)، وفي الانحدارات الأعلى من ذلك تبدأ بالانخفاض. ويرجع هذا الى ملائمة حالة رطوبة التربة ضمن الانحدارات المتوسطة وهي بيئة مثالية لنمو النباتات، بينما تؤدي الانحدارات الشديدة الى انجراف التربة وتقليل قدرة النباتات على الاستقرار.

٣. نمط العلاقة بين الانحناء (Curveture) ومؤشر الغطاء النباتي غير واضحة تميزت بالتذبذب وعد الانتظام، وعلى الرغم من ان القيم الأعلى نسبياً سجلت في المناطق ذات الانحناء السالب (المقعرة) نتيجة تجمع الرطوبة، الا ان التأثير العام كان ضعيفاً وغير معنوي احصائياً، وهذا يعني ان دوره ثانوي مقارنة بالعوامل الأخرى.



شكل (٢) خط المنحنى للعلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي و الخصائص التضاريسية

المصدر: بالاعتماد على نتائج (**Zonal statistics**)

٤. لم يظهر نمط واضح من العلاقة بين مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI) ومؤشر الغطاء النباتي، حيث ان التباين في مؤشر الغطاء النباتي قليلة جداً مع التباين الكبير في قيم مؤشر الرطوبة الطبوغرافية، ويرجع ذلك الى طبيعة الغطاء النباتي السائد في منطقة الدراسة، الذي يتكون اغلبها من الأشجار ذات الجذور العميقة ويقل اعتمادها على الرطوبة السطحية التي يعبر عنها مؤشر الرطوبة الطبوغرافية، كما ارتفاع درجات الحرارة وزيادة تاتبخر خلال فصل الصيف يحد من تأثير الرطوبة السطحية، ويزيد من تأثير العوامل الأخرى مثل الاشعاع الشمسي والارتفاع.

٥. العلاقة بين مؤشر الموقع الطبوغرافي (TPI) ومؤشر الغطاء النباتي ضعيفة، حيث سجلت اعلى قيم لمؤشر الغطاء النباتي ضمن المناطق المنخفضة (الاودية)، بينما كانت القيم اقل في المناطق المستوية. ولوحظ ارتفاع طفيف لقيم المؤشر في المناطق المرتفعة. ان تأثير هذه الخاصية محدودة ولا يلعب دوراً رئيسياً في تحديد كثافة الغطاء النباتي خلال فصل الصيف في منطقة الدراسة.

٦. هناك علاقة طردية بين مؤشر قوة الجريان (SPI) ومؤشر الغطاء النباتي لكنها غير خطية، حيث تزداد قيم مؤشر الغطاء النباتي تدريجياً مع زيادة قيمة مؤشر قوة الجرايان، لتصل الى اعلى مستوياتها عند القيم المتوسطة. وتستقر عند قيم العالية. وهذا يرجع الى ان زيادة تدفق المياه الى حداً ما تسهم في تحسين توفر الرطوبة اللازمة لنمو النباتات.

٧. العلاقة بين كمية الاشعاع الشمسي ومؤشر الغطاء النباتي غير خطية من نوع منحنى مقلوب، حيث تزداد قيم مؤشر الغطاء النباتي تدريجياً مع ازدياد كمية الشعاع الشمسي لتصل الى اعلى مستوياتها ضمن فئة (٧٠٠–٩٠٠) كيلوواط/ساعة، ثم تبدأ بالانخفاض عند القيم العليا بشكل

واضح.وهذا يعني ان وجود مستوى امثل من الطاقة الشمسية يدعم نمو الغطاء النباتي، في حين يؤدي تجاوز هذا المستوى الى زيادة معدلات التبخر والاجهاد المائي.

٤-٣- نسبة أهمية الخصائص التضاريسية

١. يظهر حسب نموذج الغابة العشوائية ان خاصية الاشعاع الشمسي تمثل الخاصية الأكثر تأثيراً في كثافة الغطاء النباتي بنسبة (٢٤.١٤٪)، كما يظهر من الشكل (٣) يأتي بعدها خاصية الارتفاع عن مستوى سطح البحر بنسبة (٢٠.٩٤٪)، وتساهم خاصية الانحدار بنسبة (١٢.٤٨٪) في كثافة الغطاء النباتي في منطقة الدراسة. وان نسبة تأثير كل من مؤشر الموقع الطبوغرافي و مؤشر قوة الجريان متساوية وتبلغ (١١.٣٧٪). بينما تساهم مؤشر الرطوبة الطبوغرافية بنسبة (١٠.١٣٪). واقل نسبة كانت للانحناء بنسبة (٩.٥٧٪).

٢. حسب نتائج نموذج الانحدار الموزون جغرافياً يأتي الاشعاع الشمسي بالمرتبة الأولى في قوة تأثيره في مؤشر الغطاء النباتي، اذ بلغ معامل تأثيره (-٠.٤٣) مع دلالة إحصائية قوية. وان تأثير الارتفاع كان معنوية احصائياُ وبلغ (٠.٣٤). كما ان تأثير الانحدار كان معنوية احصائياً ولكن ضعيف من حيث القوة بلغ (-٠.١). اما العوامل الأخرى فلم تكن لها تأثيراً معنوياً.

٤-٤- نتائج نموذج التباين المكاني:

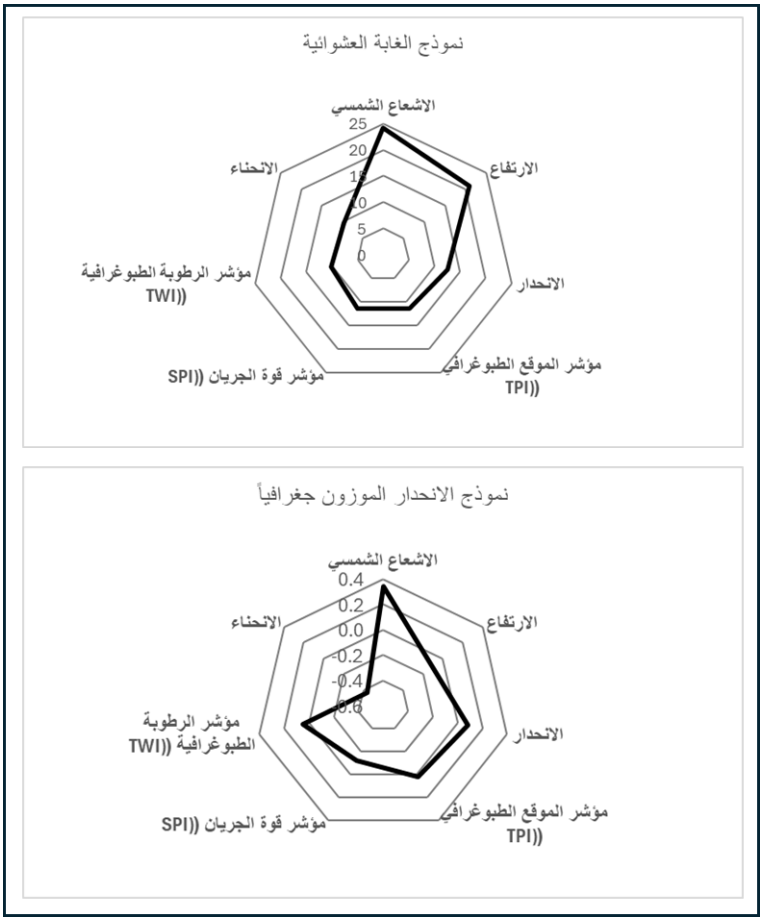
١. ان نموذج التباين المكاني حسب أداة الغابة العشوائية عند احتساب جميع الخصائص التضاريسية كان ضعيفاً اذ بلغ معامل التحديد (R^2) لدقة النموذج (٠.٢٢) وهذا يعني ان النموذج قدرتها محدودة في تفسير التباين في مؤشر الغطاء النباتي ولا يتجاوز (٢٢٪). وهذا يرجع الى ان نتائج عملية الغابة العشوائية تشير الى ان بعض من الخصائص الداخلة في النموذج ككخصائص (مؤشر الرطوبة الطبوغرافية، مؤشر الموقع الطبوغرافي و الانحناء) تساهم في الفوضى المكاني لذا يجب استبعادها وإعادة بناء النموذج باستخدام العوامل الأكثر تأثيراً فقط، وهي الاشعاع الشمسي، الارتفاع، الانحدار و مؤشر قوة الجريان. فبلغت قيمة معامل التحديد للنموذج المحسن بعد استبعاد الخصائص ذات التأثير الضعيف (٠.٢٣)، كما في الجدول (٤) مما يشير الى قدرة محدودة الى متوسطة للنموذج في تفسير التباين المكاني لمؤشر الغطاء النباتي، وقد ارتفعت نسبياً دقة النموذج مقارنة بالنموذج الأول. مما يأكد اهمية اختيار المتغيرات التفسيرية المناسبة. يرجع الانخفاض النسبي في قيمة معامل التحديد (R^2) الى ان هناك عوامل مؤثرة أخرى غير مدرجة في النموذج كالعوامل المناخية وخصائص التربة، هذا بالإضافة الى ان الغطاء النباتي الشجري السائد في المنطقة يعتمد على مصادر المياه والرطوبة العميقة، اكثر من الخصائص السطحية.

٢. بلغت قيمة معامل التحديد (٠.٢٤) حسب نتائج نموذج الانحدار الموزون جغرافياً (GWR) باستخدام جميع الخصائص التضاريسية، وهذا يشير الى وجود تباين مكاني في العلاقة بين مؤشر الغطاء النباتي و الخصائص التضاريسية وان تأثير هذه الخصائص يختلف مكانياً ضمن منطقة الدراسة. ويدل انخفاض قيمة معامل التحديد الى ان القدرة التفسيرية في التباين المكاني للنموذج محدودة، مما يدل على ان بعض من الخصائص المستخدمة تسبب الاختلال في العلاقة، كما ان الخصائص التضاريسية لاتمثل جميع العوامل المؤثرة في الغطاء النباتي في منطقة الدراسة، بل هناك عوامل أخرى تلعب دوراً مهماً مثل التربة والمناخ والمياه الجوفية.بينت نتائج نموذج الانحدار الموزون جغرافياً بعد استبعاد الخصائص ذات التأثير الضعيف تحسناً ملحوظاً في القدرة التفسيرية للتباين المكاني، فارتفع معامل التحديد الى (٠.٤٣)، وهذا يشير الى قدرة جيدة للنموذج في تفسير التباين المكاني لمؤشر الغطاء النباتي. وتم تحقيق هذا التحسن بعد اختيار العوامل الأكثر تأثيراً وهي الاشعاع الشمسي، الارتفاع، الانحدار و مؤشر قوة الجريان. وهذا يدل على ان نموذج الانحدار الموزون جغرافياً اكثر قدرة في تفسير التباين المكاني لقيم مؤشر الغطاء النباتي، حيث يسمح هذا النموذج بتغير المعاملات مكانياً مما يجعله اكثر قدرة على تمثيل التباين المكاني.

جدول (٤) المعامل الإحصائية للنموذجين الغابة العشوائية والانحدار الموزون جغرافياً

النموذج	التباين المكاني	التنبؤ المكاني		
	R2	R2	RMSE	MAE
الغابة العشوائية	0.23	0.69	0.052	0.03
الانحدار الموزون جغرافياً	0.43	0.43	0.068	0.05

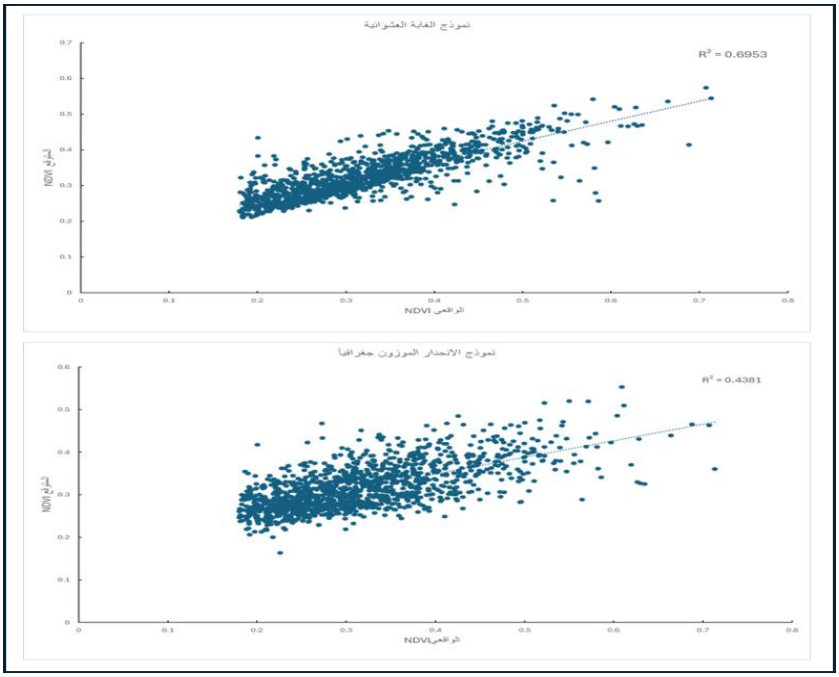
المصدر: مخرجات النموذجين



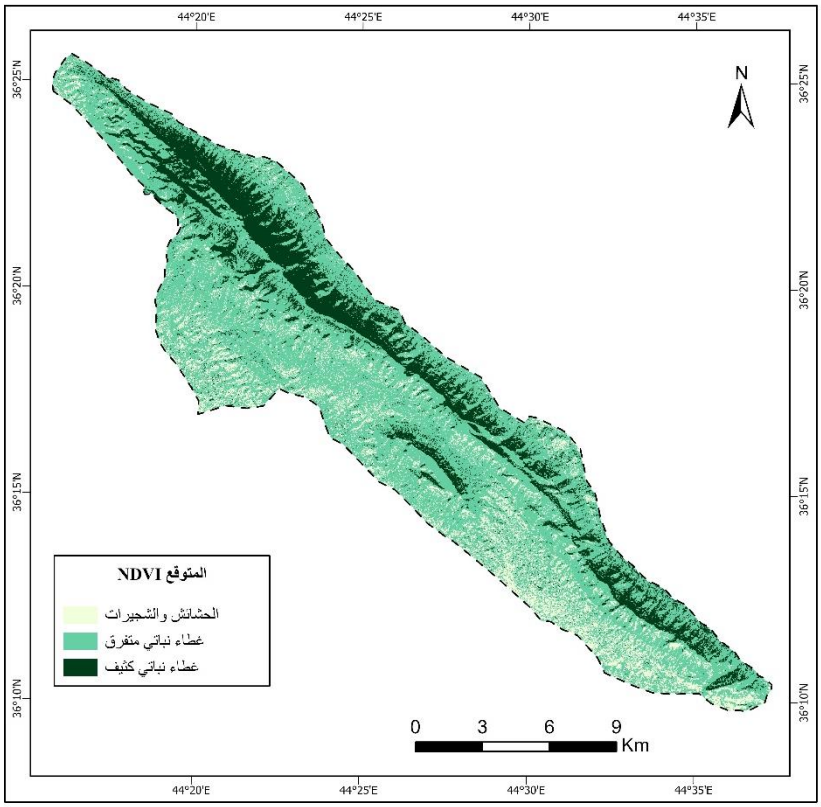
شكل (٣) نسبة الأهمية للخصائص التضاريسية في تفسير التباين المكاني للغطاء النباتي

٤-٥- نتائج نموذج التنبؤ المكاني:

من اجل اختبار دقة النموذج التنبؤي تم استخدام نقاط التنبؤ نفسها المستخدمة في بناء نموذج التباين المكاني لضمان دقة المقارنة، حيث احتسب قيمة مؤشر الغطاء النباتي المتوقع لجميع النقاط حسب نموذج الغابة العشوائية ونموذج الانحدار الموزون جغرافياً، ومن ثم احتساب قيم معامل التحديد (R2) وجذر متوسط مربع الخطء (RMSE) ومتوسط الخطأ المطلق (MAE) بين القيم الواقعية والقيم المتوقعة.بلغت قيمة معامل التحديد (0.69) بين قيم مؤشر الغطاء النباتي الواقعي والمتوقع حسب نموذج الغابة العشوائية، كما يظهر من الشكل (٥). بينما كانت قيمة نفس المعامل بلغت (٠.٤٣) حسب نموذج الانحدار الموزون جغرافياً، يرجع هذا الاختلاف الى طبيعة كل نموذج، فنموذج الغابة العشوائية يعتمد على علاقة عامة ثابتة عبر منطقة الدراسة، وهذا يجعله قادراً على التقاط الاتجاه العام للبيانات وتحقيق أداء افضل في التنبؤ. بينما ان نموذج الانحدار الموزون جغرافياً اكثر عرضة بالاختلال المكاني مما يؤدي الى انخفاض قدرته على اتنبؤ وبالتالي انخفاض قيمة معامل التحديد. كما يؤكد على ذلك نتائج جذر متوسط مربع الخط اذ بلغ في نموذج الغابة العشوائية (٠.٠٥٢) ارتفع في نموذج الانحدار الموزون جغرافياً الى (٠.٠٦٨)، وكذلك الحال مع متوسط الخطأ المطلق اذ بلغ في نموذج الأول (٠.٠٣) ارتفع في النموذج الثاني الى (٠.٠٥)بما ان نتائج قدرة نموذج الغابة العشوائية على تمثيل التنبؤ المكاني للغطاء النباتي اكثر دقة مقارنة بالنموذج الاخر، فتم بناء نموذج مكاني تنبؤي للغطاء النباتي اعتماداً عل هذا النموذج كما في الخارطة (٤).



شكل (٥) الشكل التقاطعي لقيم مؤشر الغطاء النباتي الواقعي والمتوقع حسب النموذجين



خارطة (٤) الغطاء النباتي المتوقع حسب نموذج الغابة العشوائية في منطقة الدراسة

٥. الاستنتاجات و التوصيات

توصلت الدراسة الى الاستنتاجات الاتية:

١. حسب نتائج تحليل الارتباط باستخدام معامل بيرسون، هناك علاقة معنوية إحصائية بين مؤشر الغطاء النباتي وكل من الاشعاع الشمسي والارتفاع والانحدار، العلاقة مع الاشعاع الشمسي عكسية متوسطة (-٠.٣٦)، ومع كل من الارتفاع والانحدار طردية ضعيفة (٠.٢٦) و (٠.٢٣) على التوالي.

٢. علاقة الخصائص الأخرى (الانحناء الطبوغرافي، مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية ، مؤشر الموقع الطبوغرافي و مؤشر قوة الجريان) مع مؤشر الغطاء النباتي غير معنوية وهذا يدل على ان تأثيرها غير خطي وتحجب عن طريق تأثير العوامل الأخرى.

٣. حسب نموذج الغابة العشوائية تمثل الاشعاع الشمسي الخاصية الأكثر تأثيراً في كثافة الغطاء النباتي بنسبة (٢٤.١٤٪)، يأتي بعدها الارتفاع عن مستوى سطح البحر بنسبة (٢٠.٩٤٪)، وتنخفض نسبة التاثير للخصائص الأخرى.

٤. حسب نموذج الانحدار الموزون جغرافياً يأتي الاشعاع الشمسي بالمرتبة الأولى في قوة تأثيره في مؤشر الغطاء النباتي، اذ بلغ معامل تأثيره (-٠.٤٣) مع دلالة إحصائية قوية. يأتي بعدها الارتفاع والانحدار، اما العوامل الأخرى فلم تكن لها تأثيراً معنوياً.

٥. بلغت قيمة معامل التحديد للنموذج الغابة العشوائية بعد استبعاد الخصائص ذات التأثير الضعيف (٠.٢٣). بينما كانت القيمة لنموذج الانحدار الموزون جغرافياً (٠.٤٣). وهذا يدل على ان نموذج الانحدار الموزون جغرافياً اكثر قدرة في تفسير التباين المكاني لقيم مؤشر الغطاء النباتي.

٦. بلغت قيمة معامل التحديد (0.69) بين قيم مؤشر الغطاء النباتي الواقعي والمتوقع حسب نموذج الغابة العشوائية، بينما كانت قيمة نفس المعامل (٠.٤٣) حسب نموذج الانحدار الموزون جغرافياً، فنموذج الغابة العشوائية يعتمد على علاقة عامة ثابتة عبر منطقة الدراسة، وهذا يجعله قادراً على التقاط الاتجاه العام للبيانات وتحقيق أداء افضل في التنبؤ.

من خلال النتائج التي توصلت اليها الدراسة نوصي بما يلي:

١. للحصول على نتائج اكثر دقة حول التباين والتنبؤ المكاني من الضروري دمج النماذج الإحصائية والمكانية.

٢. التأكيد على اهمية استخدام النماذج التي تعين الأهمية النسبية لتأثير كل عامل من العوامل الجغرافية.

٣. تركيز الجهود البيئية على تقليص تأثير الاشعاع الشمسي وتدعيم الغطاء النباتي في المناطق المرتفعة.

٤. توسيع اطار البحث مستقبلاً عن طريق ادراج متغيرات مناخية واستخدام بيانات ذات دقة عالية و نماذج متطورة.

المصادر

1- AHMED, G. B., KHALAF, A. S. & SHABAZ, S. I. 2023. EFFECT OF ASPECTS, ELEVATION, AND SLOPE GRADIENT ON ZAWITA FOREST UNDERSTORY VEGETATION COMPOSITION. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 54**,** 1746-1759.

2- AL-SABABHAH, N. 2023. Topographic position index to landform classification and spatial planning, using GIS, for Wadi Araba, South West Jordan. Environment and Ecology Research, 11**,** 79-101.

3- AL-ZUBAIDI, A., JANE, S. & HADI, A. 2014. Geological diversity and its importance on biodiversity SW Safeen Mountain-Erbil, Kurdistan, North Iraq. . Advances in Bioresearch.

4- AZIZ, F. H. 2005. Some observations on the lichens flora in mountain area of Hawler province Iraqi Kurdistan region, Iraq: In Saifn, Jundian, Kawlokan, Haji Omaran and Kawshan. Zanco. The Science. J. of Pure and Appl. Sci, 16**,** 1-20.

5- BACHRI, S., SUMARMI, YUDHA IRAWAN, L., UTAYA, S., DWITRI NURDIANSYAH, F., ERFIKA NURJANAH, A., WAHYU NING TYAS, L., AMRI ADILLAH, A. & SETIA PURNAMA, D. Landslide susceptibility mapping (LSM) in Kelud Volcano using spatial multi-criteria evaluation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. IOP Publishing, 1-26.

6- GAZNAYEE, H. A. A., SABR, H. A., GALALAEY, A. M. K., SHAKIR, S. B., OMER, F. O., KAREEM, S. H. S., ABABAKR, S. H., MOHAMMAD, R. K. & AHMAD, F. M. 2024. Integrate Terrain Variables and Rapid Eye Satellite in Vegetation Indices, for Identifying Forest Cover Area and Density: A Case Study in Mountainous Iraqi Kurdistan Region (IKR). Passer Journal of Basic and Applied Sciences, 6**,** 107-114.

7- KHALAF, A. M., MUSHREF, Z. J., KHALEEFAH, I. M. & ABED, S. O. 2021. Relational modelling of the earth's surface topography impact on vegetation density using RS and GIS: Rawnduz as a model. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 16**,** 435-444.

8- KOPECKÝ, M., MACEK, M. & WILD, J. 2021. Topographic Wetness Index calculation guidelines based on measured soil moisture and plant species composition. Science of the Total Environment, 757**,** 1-18.

9- LIANG, T., TIAN, F., ZOU, L., JIN, H., TAGESSON, T., RUMPF, S., HE, T., LIANG, S. & FENSHOLT, R. 2024. Global assessment of vegetation patterns along topographic gradients. International Journal of Digital Earth, 17**,** 1-19.

10- MURADYAN, V., ASMARYAN, S. G. & SAGHATELYAN, A. 2016. Assessment of space and time changes of NDVI (biomass) in Armenia's mountain ecosystems using remote sensing data. Curr Probl Remote Sens Earth from Sp, 13**,** 49-60.

11- MZURI, R. T., OMAR, A. A. & MUSTAFA, Y. T. 2021. Spatiotemporal analysis of vegetation cover and its response to terrain and climate factors in Duhok Governorate, Kurdistan Region, Iraq. The Iraqi Geological Journal**,** 110-126.

12- QIN, Q., XU, D., HOU, L., SHEN, B. & XIN, X. 2021. Comparing vegetation indices from Sentinel-2 and Landsat 8 under different vegetation gradients based on a controlled grazing experiment. Ecological indicators, 133**,** 1-9.
13- SISSAKIAN, V. K. & ABDULLAH, L. H. 2023. Lateral growth of Safeen anticline as deduced from drainage analysis, Iraqi Kurdistan region. Kuwait Journal of Science, 50**,** 138-147.
14- XUAN, W. & RAO, L. 2023. Spatiotemporal dynamics of net primary productivity and its influencing factors in the middle reaches of the Yellow River from 2000 to 2020. Frontiers in Plant Science, Volume 14 - 2023.
15- XUN, Q., AN, S. & LU, M. 2024. Climate change and topographic differences influence grassland vegetation greening across environmental gradients. Frontiers in Environmental Science, 11**,** 1-12.

١٦- الحمامده, ف. غ. ج. ٢٠٠٣. اثر المناخ والسطح على النبات الطبيعي في منطقة الخليل دراسة في دينامية البيئة. الماجستير, جامعة النجاح الوطنية.

١٧- الخالدي, ن. م. س. ٢٠١٨. الوحدات والأشكال الأرضية في جبل سفين في شقلاوة محافظة أربيل شمال العراق. مجلة جامعة التكوين المتواصل, ٣, ٣٢٩-٣٤٨.

١٨- سليم, ن. ع. ا. ع. ٢٠٢٥. تأثير الارتفاع في درجات الحرارة على الغطاء النباتي في منطقة أولاد على بمدينة ترهونة. المجلة الليبية للدراسات الأكاديمية المعاصرة, ٧٦-١٠٢.