

رصد وتحليل التصحر في قضاء حديثة بالاعتماد على المؤشرات الطيفية
NDVI – BSI – DRI وتقنيات التعلم الآلي ضمن منصة Google Earth Engine

م.م ناطق هاشم طوفان


التربية- المديرية العامة لتربية واسط

natiqalshammary@gmail.com

أ.د علي مجيد ياسين

جامعة ذي قار/ كلية الاداب / قسم الجغرافية ونظم المعلومات الجغرافية

alimajeed@utq.edu.iq



Monitoring and Analyzing Desertification in Haditha District Using Spectral Indices (NDVI, BSI, and DRI) and Machine Learning Techniques within the Google Earth Engine Platform

Asst. Lecturer Natiq Hashim Tofan
Ministry of Education General Directorate of Education in Wasit
Al-Suwaira Education Department
Prof. Dr. Ali Majeed Yasseen
Dhi Qar University / College of Arts Department of Geography



المستخلص

تعد ظاهرة التصحر من أبرز المشكلات البيئية التي تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة لما لها من تأثير مباشر على تدهور الأراضي الزراعية وانخفاض الانتاجية النباتية وتهديد الامن الغذائي، ويعد قضاء حديثة من المناطق المتأثرة بهذه الظاهرة نتيجة التغيرات المناخية والضغط البشرية، يهدف هذا البحث الى رصد وتحليل التصحر في قضاء حديثة بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، من خلال استخدام المؤشرات الطيفية المتمثلة في مؤشر الغطاء النباتي NDVI ومؤشر التربة الجرداء BSI ومؤشر الاستجابة للجفاف DRI، وذلك ضمن بيئة منصة Google Earth Engine، اعتمدت الدراسة على صور القمر الصناعي Sentinel-2 Surface Reflectance لما توفره من دقة مكانية وطيفية ملائمة لدراسة التغيرات البيئية. تم اختيار سنتي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥، مع التركيز على شهري اذار وايلول لتمثيل التباين الموسمي بين فترات النمو النباتي وفترات الاجهاد البيئي. شملت المعالجة المسبقة تصفية الغيوم وانتشاء صور مركبة شهرية، ثم اشتقاق المؤشرات الطيفية وتحليل توزيعها المكاني والزمني داخل منطقة الدراسة، كما تم توظيف تقنيات التعلم الآلي ضمن منصة Google Earth Engine لتحسين دقة تصنيف مناطق التصحر وتحديد مستويات التدهور الارضي. اظهرت نتائج الدراسة تباينا واضحا في قيم المؤشرات الطيفية، حيث تزامن انخفاض قيم NDVI مع ارتفاع قيم BSI و DRI في المناطق الأكثر تعرضا للتصحر، مما يعكس تدهور الغطاء النباتي وازدياد الجفاف. تسهم مخرجات هذا البحث في دعم متخذي القرار من خلال توفير خرائط مكانية حديثة تساعد في وضع استراتيجيات فعالة للحد من التصحر وتعزيز الامن الغذائي في قضاء حديثة. كلمات مفتاحية: التصحر - مؤشرات طيفية - الغطاء النباتي - التربة الجرداء - الجفاف - قضاء حديثة - الاستشعار عن بعد - نظم المعلومات الجغرافية - منصة Google Earth Engine.

Abstract

Desertification is considered one of the most prominent environmental challenges affecting arid and semi-arid regions, due to its direct impact on the degradation of agricultural lands, the reduction of vegetation productivity, and the threat to food security. Haditha District is among the areas affected by this phenomenon as a result of climatic changes and anthropogenic pressures. This study aims to monitor and analyze desertification in Haditha District using remote sensing techniques and Geographic Information Systems (GIS), through the application of spectral indices including the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Bare Soil Index (BSI), and the Drought Response Index (DRI), within the Google Earth Engine platform. The study relied on Sentinel-2 Surface Reflectance imagery, which provides high spatial and spectral resolution suitable for assessing environmental changes. The years 2020 and 2025 were selected, with a focus on March and September to represent seasonal variations between periods of peak vegetation growth and environmental stress. Preprocessing included cloud filtering and the creation of monthly composite images, followed by the derivation of spectral indices and analysis of their spatial and temporal distribution across the study area. Machine learning techniques were also employed within Google Earth Engine to improve the accuracy of desertification classification and to determine the levels of land degradation. The results revealed clear variations in spectral index values, where decreases in NDVI coincided with increases in BSI and DRI in areas most exposed to desertification, reflecting vegetation deterioration and increasing drought conditions. The outputs of this study provide valuable support for decision-makers by offering updated spatial maps that can assist in developing effective strategies to mitigate desertification and enhance food security in Haditha District.

Keywords : Desertification – Spectral Indices – Vegetation Cover – Bare Soil – Drought – Haditha District – Remote Sensing – Geographic Information Systems – Google Earth Engine.

بسم الله الرحمن الرحيم

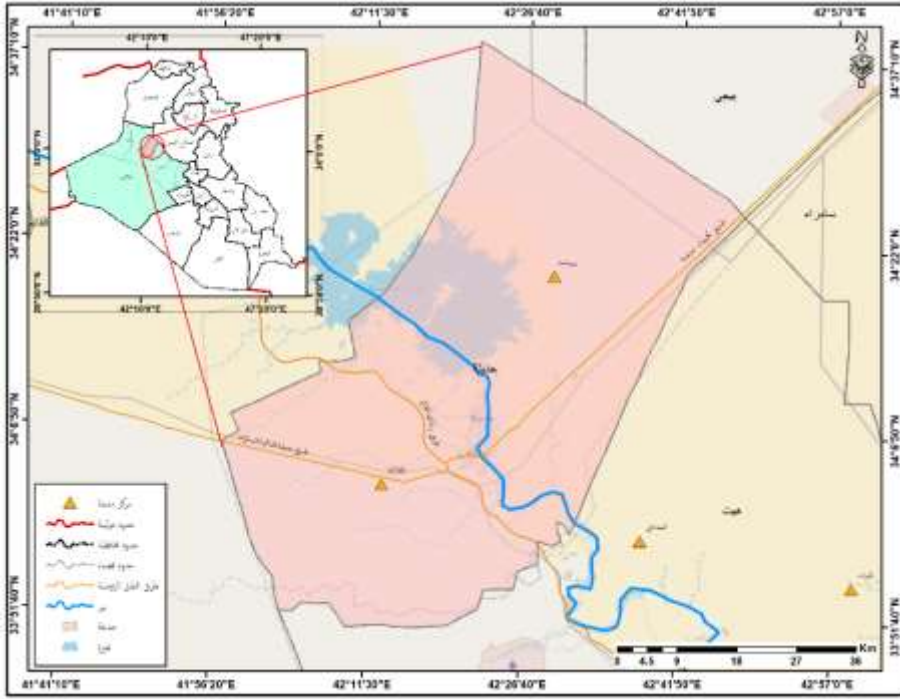
١ - المقدمة

تعد ظاهرة التصحر من أبرز التحديات البيئية التي تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة في العالم، لما لها من آثار سلبية مباشرة على الموارد الطبيعية والإنتاج الزراعي والتوازن البيئي، فضلاً عن انعكاساتها الاقتصادية والاجتماعية التي تهدد الأمن الغذائي والاستقرار البشري. وقد ازدادت حدة هذه الظاهرة خلال العقود الأخيرة نتيجة التغيرات المناخية المتمثلة بارتفاع درجات الحرارة وتذبذب كميات الأمطار، إضافة إلى الضغوط البشرية الناتجة عن سوء استغلال الأراضي والتوسع العمراني والرعي الجائر، مما أدى إلى تدهور الغطاء النباتي وزيادة مساحات الأراضي المتدهورة^١.

يقع قضاء حديثة في محافظة الأنبار بين دائرتي عرض $33^{\circ}51'40''$ - $34^{\circ}37'20''$ N شمالاً وبين قوسي طول $42^{\circ}44'60''$ E - $41^{\circ}56'30''$ شرقاً وتشغل مساحة تقدر بنحو 3482.5 كم^٢. ينظر الخريطة (١)، يعد من المناطق التي تتأثر بظاهرة التصحر نظراً لموقعه ضمن النطاق الجاف وشبه الجاف، فضلاً عن تعرضه لتباين مناخي واضح وتغيرات بيئية مستمرة انعكست على الغطاء النباتي وخصائص التربة. كما أن طبيعة المنطقة التي تجمع بين الأراضي الزراعية والمناطق الصحراوية المفتوحة جعلتها أكثر عرضة لعمليات التدهور البيئي، تكمن مشكلة البحث في عدم وجود دراسة مكانية حديثة تعتمد على دمج المؤشرات الطيفية وتقنيات التعلم الآلي لرصد التصحر في قضاء حديثة، إذ غالباً ما تعتمد الدراسات السابقة على أساليب تقليدية أو مؤشرات محدودة، مما يقلل من دقة النتائج. ومن هنا جاءت فرضية البحث التي تنص على إمكانية رصد وتحليل التصحر في قضاء حديثة من خلال دمج

المؤشرات الطيفية (NDVI، BSI، DRI) مع تقنيات التعلم الآلي ضمن منصة Google Earth Engine، بما يسهم في تحديد المناطق الأكثر عرضة للتصحّر.

الخريطة (١) موقع منطقة الدراسة



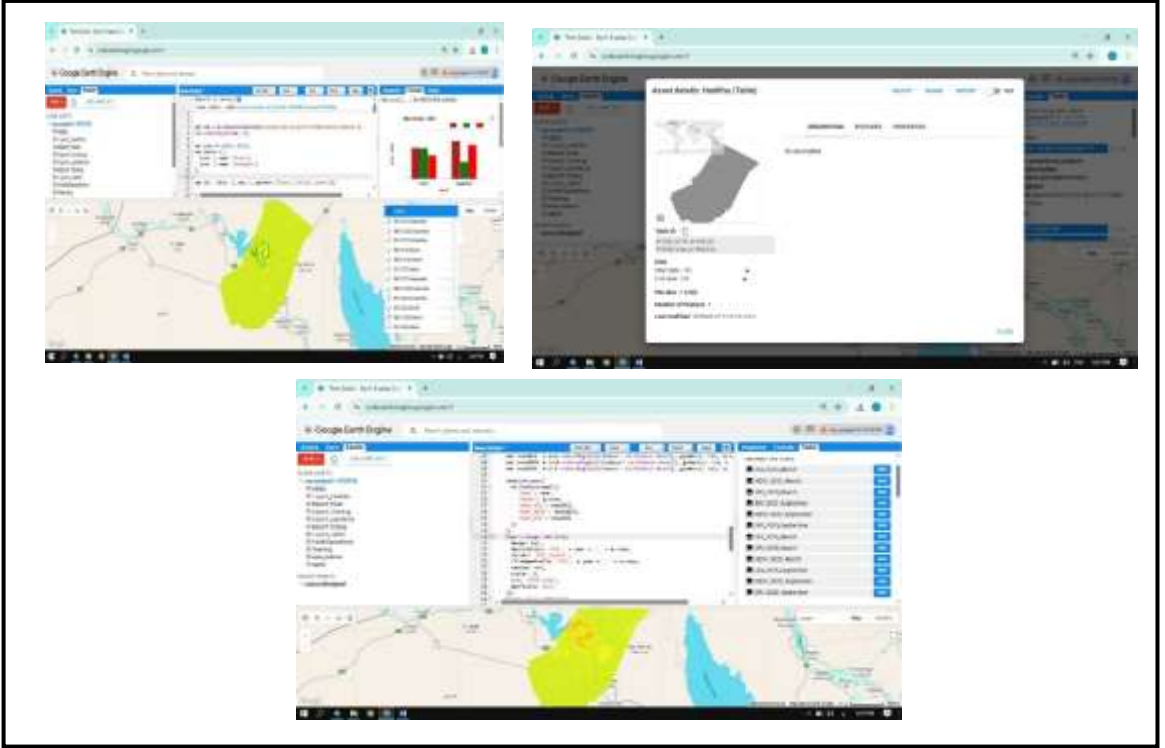
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جمهورية العراق، وزارة الموارد المائية، الهيئة للمساحة، خريطة العراق الادارية، مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠، ٢٠٢٠.

٢- طرق العمل وجمع البيانات:

تمثلت طريقة العمل بتحديد منطقة الدراسة المتمثلة بقضاء حديثة من خلال رفع ملف الحدود المكانية بصيغة Asset الى منصة Google Earth Engine ثم استدعاء بيانات القمر الصناعي Sentinel 2 Surface Reflectance Harmonized من كتالوج البيانات المتوفر في المنصة بعد ذلك تم تحديد الفترة الزمنية للدراسة لسنتي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥ خلال شهري اذار وابول لتمثيل التغير

الموسمي بين فترات النمو النباتي وفترات الاجهاد البيئي، وتم تصفية الصور الفضائية بالاعتماد على نسبة الغيوم لضمان جودة النتائج ثم تطبيق المعالجة المسبقة للصور والتي تضمنت قص الصور على حدود منطقة الدراسة واختيار الحزم الطيفية اللازمة لكل مؤشر بعدها تم انشاء صور مركبة شهرية باستخدام القيم الاحصائية بطريقة الوسيط Median Composite وذلك لتقليل تأثير الغيوم والضجيج في البيانات الفضائية، كما تم حساب المؤشرات الطيفية المتمثلة بمؤشر الغطاء النباتي NDVI ومؤشر التربة الجرداء BSI ومؤشر الاستجابة للجفاف DRI باستخدام المعادلات الرياضية القياسية ومن ثم انتاج خرائط مكانية لكل مؤشر توضح التوزيع المكاني للقيم داخل منطقة الدراسة كما تم استخراج القيم الاحصائية التي شملت المتوسط والحد الأدنى والحد الأعلى للمؤشرات داخل منطقة الدراسة، بعد ذلك تم اعداد وتحليل الاشكال البيانية لتمثيل التغير الزمني للمؤشرات بين السنوات والمواسم المختلفة كما تم تصدير خرائط المؤشرات والنتائج الاحصائية بصيغ مناسبة لاستخدامها في برامج نظم المعلومات الجغرافية واخيرا تم تفسير النتائج وربطها بظواهر التصحر والجفاف وتغير الغطاء النباتي وتأثيرها على الامن الغذائي في منطقة الدراسة. ينظر الصورة (١).

الصورة (١) طريقة العمل منصة Google Earth Engine



المصدر:

https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/alimajeed/ice

٣- النتائج والمناقشة:

٣-١/ عامل المناخ:

بين الجدول (١) المعدلات الشهرية والسنوية لبعض العناصر المناخية في محطة حديثة للمدة ٢٠١٤-٢٠٢٥ والتي تعد من العوامل الرئيسية المؤثرة في تدهور الغطاء النباتي وازدياد مظاهر التصحر في منطقة الدراسة حيث يظهر من خلال البيانات المناخية تباين واضح في درجات الحرارة ومعدلات التساقط المطري بين

فصول السنة، وتوضح البيانات ان درجات الحرارة ترتفع تدريجيا ابتداء من فصل الربيع لتبلغ ذروتها خلال فصل الصيف اذ سجل شهر تموز اعلى معدل لحرارة سطح الارض بلغ ٣٥.٦ م وبلغت درجة الحرارة العظمى ٤٤.٧ م والصغرى ٢٧.٩ م كما سجل شهر آب قيما مرتفعة ايضا حيث بلغت حرارة سطح الارض ٣٥.١ م والعظمى ٤٤.١ م ويعد هذا الارتفاع الكبير في درجات الحرارة من العوامل الرئيسية التي تؤدي الى زيادة معدلات التبخر وفقدان الرطوبة من التربة مما يسهم في تدهور الغطاء النباتي وازدياد مظاهر الجفاف والتصحر في منطقة الدراسة، في المقابل تنخفض درجات الحرارة خلال فصل الشتاء اذ سجل شهر كانون الثاني اقل معدل لحرارة سطح الارض بلغ ٦.٢ م بينما بلغت العظمى ١٥.٨ م والصغرى ٣.١ م ويصاحب هذا الانخفاض زيادة نسبية في كميات التساقط المطري حيث سجل شهر كانون الثاني اعلى كمية تساقط بلغت ٤٢ ملم تلاه شهر تشرين الثاني بكمية ٣٨.٩ ملم وكانون الاول بكمية ٣٤.٦ ملم مما يشير الى تركيز الامطار في فصل الشتاء بشكل رئيس، كما تبين البيانات ان مجموع التساقط المطري السنوي بلغ ٢٠٨.١ ملم وهو مقدار منخفض نسبيا ويضع منطقة الدراسة ضمن نطاق المناخ الجاف وشبه الجاف ويلاحظ ان الامطار تنعدم تماما خلال شهري تموز وآب وتنخفض بشكل كبير خلال اشهر الصيف اذ سجل شهر حزيران ٠.٦ ملم وشهر ايلول ١.٢ ملم وهذا الانقطاع في الامطار بالتزامن مع ارتفاع درجات الحرارة يؤدي الى زيادة الاجهاد المائي للنباتات وتدهور التربة وارتفاع قيم المؤشرات المرتبطة بالتصحر مثل BSI وDRI وانخفاض قيم مؤشر الغطاء النباتي NDVI، كما يظهر من الجدول ان المعدل السنوي لدرجة الحرارة الاعتيادية بلغ ٢٢.٧ م في حين بلغ المعدل السنوي لدرجة الحرارة العظمى ٣٠.٥ م والصغرى ١٥.٠ م وهي مؤشرات تعكس طبيعة المناخ الحار الجاف السائد

في قضاء حديثة والذي يسهم في تسريع عمليات التعرية الريحية وتدهور التربة وانخفاض كثافة الغطاء النباتي، وبناء على ما تقدم يتضح ان الظروف المناخية في قضاء حديثة المتمثلة بارتفاع درجات الحرارة وقلة التساقط المطري وعدم انتظامه تعد من العوامل الطبيعية الرئيسية التي تسهم في تفاقم ظاهرة التصحر في منطقة الدراسة^٢. الامر الذي ينعكس بشكل مباشر على نتائج المؤشرات الطيفية المستخدمة في البحث ويؤكد اهمية توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ومنصة Google Earth Engine لرصد وتحليل التغيرات البيئية المرتبطة بالتصحر في المنطقة.

الجدول (١) المعدلات الشهرية والسنوية لبعض العناصر المناخية للمدة (٢٠١٤ -

٢٠٢٥) في محطة حديثة

الشهر	حرارة سطح الأرض م°	العظمى م°	الصغرى م°	الاعتيادية م°	مجموع التساقط ملم
كانون الثاني	6.2	15.8	3.1	9.4	42.0
شباط	8.1	18.2	4.5	11.3	28.5
آذار	12.6	22.9	8.2	15.5	31.7
نيسان	18.4	29.6	13.9	21.2	14.3
أيار	24.9	36.8	19.7	27.1	6.8
حزيران	31.8	41.9	24.6	32.4	0.6
تموز	35.6	44.7	27.9	35.8	0.0
آب	35.1	44.1	28.3	35.2	0.0
أيلول	30.2	39.6	24.1	31.3	1.2
تشرين الأول	23.4	32.7	17.8	25.1	9.5
تشرين الثاني	14.7	22.4	9.2	16.3	38.9
كانون الأول	8.9	17.3	5.1	11.0	34.6
المعدل السنوي	21.0	30.5	15.0	22.7	208.1

المصدر: الباحث بالاعتماد على: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

٣-٢ / مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)

يُعدّ مؤشر الغطاء النباتي (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) من أهم المؤشرات الطيفية المستخدمة في تقييم صحة النباتات وكثافة الغطاء النباتي، وذلك من خلال دمج الانعكاسات الطيفية للحزم NIR و Red. وقد أظهر المؤشر فعاليته في تمييز المناطق ذات الغطاء النباتي الكثيف عن الأراضي المكشوفة والجرداء، وتقدير الإجهاد النباتي الموسمي. الغطاء النباتي يعطي قيم إيجابية عالية في NDVI لأنه يعكس بشكل كبير في الحزم NIR ويمتص بشكل أكبر في الحزم Red، ويُستخدم NDVI على نطاق واسع في تقييم الغطاء النباتي، مراقبة الإنتاج الزراعي، ودراسة تأثير التغير المناخي على النباتات، تتراوح قيم المؤشر بين ١- و ١+، القيم القريبة من ١+ تشير إلى وجود غطاء نباتي كثيف وصحي، والقيم القريبة من ٠ تشير إلى تربة عارية أو مناطق منخفضة الغطاء النباتي، بينما القيم السالبة غالبًا تمثل الماء أو الظلال أو مناطق غير نباتية. يُشتق المؤشر من المعادلة التالية:

$${}^3NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

حيث أن:

- NIR = الأشعة تحت الحمراء القريبة
- Red = الأحمر

يُدْرَج في برنامج ArcMap – Raster Calculator بصيغة:

(Float ("Band8") - Float ("Band4")) / (Float ("Band8") + Float ("Band4"))

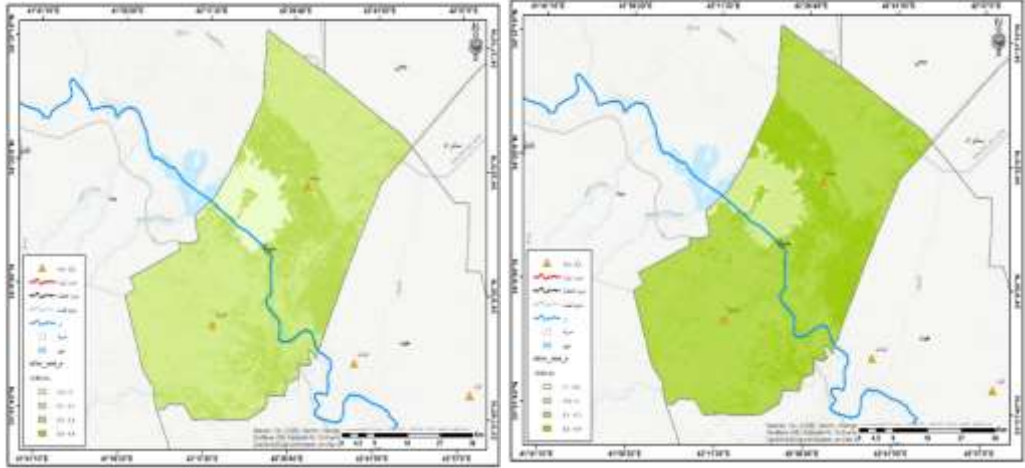
النطاق الطيفي (ميكرومتر)	رقم الحزمة	الحزمة الطيفية	القمر الصناعي
0.64 – 0.67 μm	Band 4	Red	Sentinel-2
0.85 – 0.88 μm	Band 8	NIR	

يظهر من الخريطة (٢،٣،٤،٥) والجدول (٢)، ان قيم مؤشر الغطاء النباتي NDVI التغيرات المكانية والزمانية للغطاء النباتي في قضاء حديثة خلال شهري اذار وايلول لسنتي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥ والتي تعكس بصورة واضحة تأثير العوامل المناخية والبيئية المرتبطة بظاهرة التصحر في منطقة الدراسة، اذ تشير بيانات شهر اذار لعام ٢٠٢٠ الى سيادة الغطاء النباتي المتوسط والصحي جزئيا اذ بلغت مساحته ٢٣٧٧.٣ كم^٢ وبنسبة ٦٨.٣٪ من مساحة منطقة الدراسة في حين سجل الغطاء النباتي الكثيف والصحي مساحة بلغت ٨١١ كم^٢ بنسبة ٢٣.٣٪ وهو ما يعكس تحسن حالة الغطاء النباتي خلال موسم النمو الربيعي نتيجة توفر الرطوبة والتساقط المطري النسبي في هذه الفترة كما سجلت التربة المكشوفة او ذات الغطاء النباتي المنخفض جدا مساحة بلغت ٢٥٢.٣ كم^٢ بنسبة ٧.٢٪ بينما بلغت مساحة المناطق غير النباتية والمياه والصخور ٤١.٩ كم^٢ بنسبة ١.٢٪ وهي نسب محدودة نسبيا مقارنة ببقية الاصناف، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٠ فقد ظهر تدهور واضح في حالة الغطاء النباتي حيث ارتفعت مساحة التربة المكشوفة او ذات الغطاء النباتي المنخفض جدا الى ٢٣٠٩ كم^٢ بنسبة ٦٦.٣٪ من مساحة منطقة الدراسة نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض معدلات التساقط خلال فصل الصيف كما انخفضت مساحة الغطاء النباتي الكثيف والصحي بشكل كبير لتصل الى ٢١.٥ كم^٢ بنسبة ٠.٦٪ فقط كما سجل الغطاء النباتي المتوسط مساحة بلغت ٨٨٠.٤ كم^٢ بنسبة ٢٥.٣٪ في حين ارتفعت مساحة المناطق غير النباتية الى ٢٧١.٦ كم^٢ بنسبة ٧.٨٪ مما يعكس ازدياد مظاهر الجفاف والتدهور النباتي خلال هذه الفترة، وفي شهر اذار لعام ٢٠٢٥ يلاحظ تحسن واضح في حالة الغطاء النباتي حيث ارتفعت مساحة الغطاء النباتي المتوسط والصحي جزئيا الى ٣١٩٧.٩ كم^٢ بنسبة ٩١.٨٪ من مساحة منطقة الدراسة في حين بلغت مساحة

الغطاء النباتي الكثيف والصحي ١٠٠.٥ كم^٢ بنسبة ٢.٩٪ كما انخفضت مساحة التربة المكشوفة الى ١٥١.١ كم^٢ بنسبة ٤.٣٪ وانخفضت المناطق غير النباتية الى ٣٣ كم^٢ بنسبة ٠.٩٪ وهو ما يشير الى تحسن نسبي في الظروف البيئية خلال موسم النمو الربيعي، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٥ فقد استمرت سيادة الغطاء النباتي المتوسط والصحي جزئيا حيث بلغت مساحته ٣٣٣٩ كم^٢ بنسبة ٩٥.٩٪ من مساحة منطقة الدراسة في حين سجلت التربة المكشوفة مساحة ٩٢.٤ كم^٢ بنسبة ٢.٧٪ كما انخفضت المناطق غير النباتية الى ٢٨ كم^٢ بنسبة ٠.٨٪ وبلغت مساحة الغطاء النباتي الكثيف ٢٣ كم^٢ بنسبة ٠.٧٪ وعلى الرغم من استمرار انخفاض الغطاء النباتي الكثيف خلال فصل الصيف الا ان النتائج تشير الى تحسن نسبي مقارنة بسنة ٢٠٢٠، وبشكل عام يوضح تحليل مؤشر NDVI وجود تباين موسمي واضح بين فصلي الربيع والصيف حيث ترتفع قيم المؤشر خلال شهر اذار نتيجة توفر الرطوبة وتحسن النمو النباتي^٤. في حين تتخفض خلال شهر ايلول بسبب ارتفاع درجات الحرارة وزيادة الجفاف كما تشير المقارنة الزمنية بين عامي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥ الى تحسن نسبي في الغطاء النباتي وانخفاض مساحات التربة المكشوفة وهو ما يعكس تغيرا ايجابيا في الظروف البيئية رغم استمرار تأثير العوامل المناخية^٥.

الخريطة (٢،٣) التباين في مؤشر الغطاء النباتي للعام ٢٠٢٠ بين شهري اذار

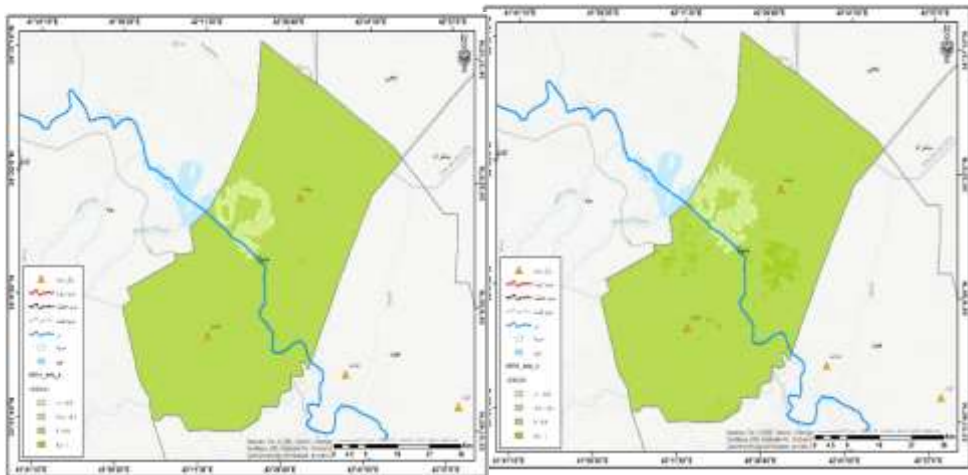
وايلول



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>

'COPERNICUS/S2_SR' بتاريخ (٢٠٢٠/٣/٧، ٢٠٢٠/٩/١٧) وتقانات برنامج ArcMap10.4.2.

الخريطة (٤،٥) التباين في مؤشر الغطاء النباتي للعام ٢٠٢٥ بين شهري اذار وايلول



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>

'COPERNICUS/S2_SR' بتاريخ (٢٠٢٥/٣/١، ٢٠٢٥/٩/١٩) وتقانات برنامج ArcMap10.4.2.

الجدول (١) تباين مساحة ونسبة مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) للسنوات (2020-
(٢٠٢٥)

النسبة المئوية %	المساحة/كم ^٢	صنف التربة	NDVI	تاريخ المرئيات
١.٢	٤١.٩	مناطق غير نباتية، ماء، ظل أو صخور	١- -٠.٤	٢٠٢٠/٣
٧.٢	٢٥٢.٣	تربة مكشوفة أو غطاء نباتي منخفض جداً	٠.٣- -٠	
٦٨.٣	٢٣٧٧.٣	غطاء نباتي متوسط وصحي جزئياً	٠.١ - ٠.٢	
٢٣.٣	٨١١	غطاء نباتي كثيف وصحي	٠.٣ - ٠.٩	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٧.٨	٢٧١.٦	مناطق غير نباتية، ماء، ظل أو صخور	٠.٥- -٠	٢٠٢٠/٩
٦٦.٣	٢٣٠.٩	تربة مكشوفة أو غطاء نباتي منخفض جداً	٠.١ - ٠.١	
٢٥.٣	٨٨٠.٤	غطاء نباتي متوسط وصحي جزئياً	٠.٢ - ٠.٣	
٠.٦	٢١.٥	غطاء نباتي كثيف وصحي	٠.٤ - ٠.٨	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٠.٩	٣٣	مناطق غير نباتية، ماء، ظل أو صخور	١- -٠.٦	2025 /٣
٤.٣	١٥١.١	تربة مكشوفة أو غطاء نباتي منخفض جداً	٠.٥- -٠.١	
٩١.٨	٣١٩٧.٩	غطاء نباتي متوسط وصحي جزئياً	٠ - ٠.٤	
٢.٩	١٠٠.٥	غطاء نباتي كثيف وصحي	٠.٥ - ١	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٠.٨	٢٨	مناطق غير نباتية، ماء، ظل أو صخور	١- -٠.٦	2025/٩
٢.٧	٩٢.٤	تربة مكشوفة أو غطاء نباتي منخفض جداً	٠.٥- -٠.١	
٩٥.٩	٣٣٣٩	غطاء نباتي متوسط وصحي جزئياً	٠ - ٠.٤	
٠.٧	٢٣	غطاء نباتي كثيف وصحي	٠.٥ - ١	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة (٤،٥،٣،٢).

٣-٣ / مؤشر التربة الجرداء BSI

يُعدّ مؤشر التربة الجرداء (Bare Soil Index - BSI) من أهم المؤشرات الطيفية المستخدمة في الكشف عن المناطق المكشوفة والتربة الجافة، وذلك من خلال دمج الانعكاسات الطيفية للحزم SWIR و Red مقابل NIR و Blue. وقد أظهر المؤشر فعاليته في تمييز المناطق الجافة ذات الغطاء النباتي المنخفض، وتقييم التصحر وتدهور الأراضي، التربة الجافة والجرداء غالبًا ما تعطي قيم موجبة عالية في BSI لأنها، تعكس أكثر في الحزم SWIR و Red، وتمتص أكثر في الحزم NIR و Blue، و يُستخدم BSI على نطاق واسع في تقييم التحسس من التعرية، التصحر، تدهور الأراضي، وخرائط الانكشاف الأرضي.

تتراوح قيم المؤشر بين 1- و 1+، القيم القريبة من 1+ زادت احتمالية أن تكون التربة جرداء مكشوفة وجافة جدا، والقيم التي تكون سالبة تعني مزيج من التربة والغطاء النباتي منخفض الكثافة الى غطاء نباتي كثيف او تربة رطبة، يشتق من المعادلة الآتية:

$$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + Blue)}$$

حيث ان:

- SWIR1 = الأشعة تحت الحمراء القصيرة
- NIR = الأشعة تحت الحمراء القريبة
- Red = الأحمر
- Blue = الأزرق

• يدرج في برنامج Arc Map - Raster Calculator بصيغة :

يدرج في برنامج Arc Map – Raster Calculator بصيغة :

$$\frac{\text{Float}(\text{"Band6"}) + \text{Float}(\text{"Band4"}) - \text{Float}(\text{"Band5"})}{\text{Float}(\text{"Band2"})}$$

$$\frac{\text{Float}(\text{"Band6"}) + \text{Float}(\text{"Band4"}) + \text{Float}(\text{"Band5"})}{\text{Float}(\text{"Band2"})}$$

الجدول (٣) الحزم الطيفية في المستخدمة لاشتقاق مؤشر التربة الجرداء BSI

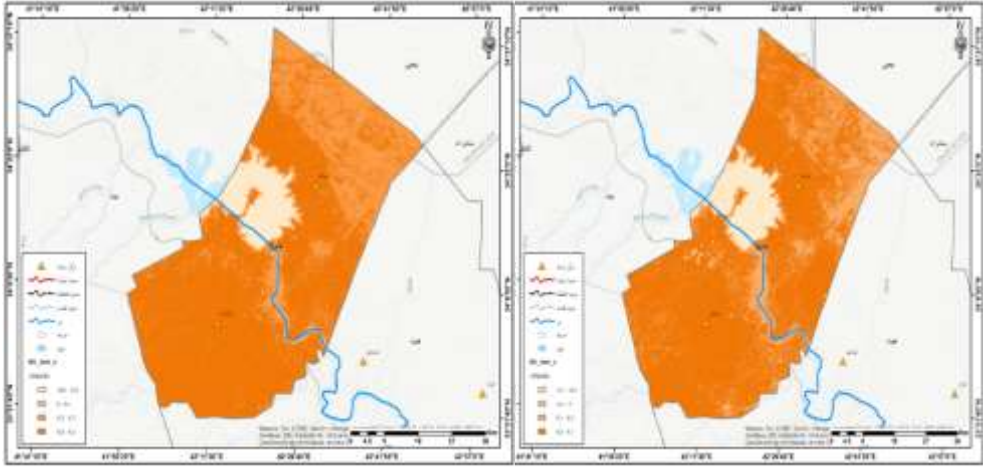
النطاق الطيفي (ميكرومتر)	رقم الحزمة	الحزمة الطيفية	القمر الصناعي
0.45 – 0.51 µm	Band 2	Blue	Sentinel-2
0.64 – 0.67 µm	Band 4	Red	
0.85 – 0.88 µm	Band ٨	NIR	
1.57 – 1.65 µm	Band ١١	SWIR1	

يظهر من الخريطة (٦،٧،٨،٩) و يبين جدول (٤) الخاص بمؤشر التربة الجرداء BSI التغيرات المكانية في حالة سطح التربة ضمن قضاء حديثة خلال شهري اذار وايلول للسنوات ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥ والذي يعد من المؤشرات المهمة في قياس شدة التصحر ودرجة انكشاف التربة ومدى تدهور الغطاء النباتي، وتشير نتائج شهر اذار لعام ٢٠٢٠ الى سيادة واضحة لفئة التربة الجرداء المكشوفة جداً ذات مؤشر تصحر عالي حيث بلغت مساحتها ٢٤٣٢.٥ كم^٢ وبنسبة ٦٩.٩٪ من مساحة منطقة الدراسة مما يعكس وجود مساحات واسعة من التربة المتدهورة خلال فترة ما قبل ذروة النمو النباتي كما سجلت المناطق الانتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي مساحة ٧٣١.٧ كم^٢ بنسبة ٢١٪ في حين شكلت التربة المختلطة مع الغطاء النباتي الكثيف او الرطوبة العالية ٢٦٨.٥ كم^٢ بنسبة ٧.٧٪ اما التربة ذات الغطاء النباتي المنخفض نسبياً فقد سجلت اقل نسبة بلغت ١.٤٪، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٠ فقد استمرت سيادة التربة الجرداء المكشوفة جداً ولكن مع انخفاض نسبي حيث بلغت مساحتها

٢١٩٠.٩ كم^٢ بنسبة ٦٢.٩٪ في حين ارتفعت المناطق الانتقالية الى ٩٧٣.١ كم^٢ بنسبة ٢٧.٩٪ مما يشير الى زيادة نسبية في التباين السطحي نتيجة تغير الظروف المناخية خلال فصل الصيف كما سجلت التربة المختلطة مع الغطاء النباتي مساحة ٢٥٧.٦ كم^٢ بنسبة ٧.٤٪ بينما ارتفعت التربة ذات الغطاء النباتي المنخفض نسبياً الى ٦٠.٩ كم^٢ بنسبة ١.٧٪، وفي شهر اذار لعام ٢٠٢٥ يلاحظ تغير واضح في نمط توزيع التربة حيث انخفضت مساحة التربة الجرداء المكشوفة جداً بشكل كبير لتصل الى ١٣.١ كم^٢ فقط بنسبة ٠.٤٪ مقابل ارتفاع كبير في المناطق الانتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي التي سيطرت على معظم مساحة الدراسة بواقع ٣٢٢٠.٤ كم^٢ وبنسبة ٩٢.٥٪ وهذا يعكس تحسناً نسبياً في الغطاء السطحي خلال موسم النمو الربيعي وانخفاض حدة الانكشاف الكامل للتربة كما سجلت التربة المختلطة مساحة ٤٣.٧ كم^٢ بنسبة ١.٣٪ والتربة ذات الغطاء النباتي المنخفض نسبياً ٢٠٥.٤ كم^٢ بنسبة ٥.٩٪، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٥ فقد استمرت هيمنة الفئة الانتقالية بين التربة والغطاء النباتي حيث بلغت مساحتها ٣٢٧٦.٩ كم^٢ بنسبة ٩٤.١٪ في حين ارتفعت التربة الجرداء المكشوفة جداً الى ٥١.٢ كم^٢ بنسبة ١.٥٪ كما سجلت التربة ذات الغطاء النباتي المنخفض ١٤٤.٣ كم^٢ بنسبة ٤.١٪ بينما انخفضت التربة المختلطة الى ١٠.١ كم^٢ بنسبة ٠.٣٪ مما يشير الى استمرار التأثيرات المناخية الجافة مع وجود تحسن نسبي في تقليل مساحات الانكشاف الشديد مقارنة بعام ٢٠٢٠، بشكل عام يوضح تحليل مؤشر BSI وجود تباين مكاني وزماني واضح في حالة سطح التربة في قضاء حديثة حيث تسود التربة الجرداء خلال عام ٢٠٢٠ خصوصاً في موسم الربيع بينما يظهر في عام ٢٠٢٥ تحسن نسبي يتمثل بتراجع مساحات

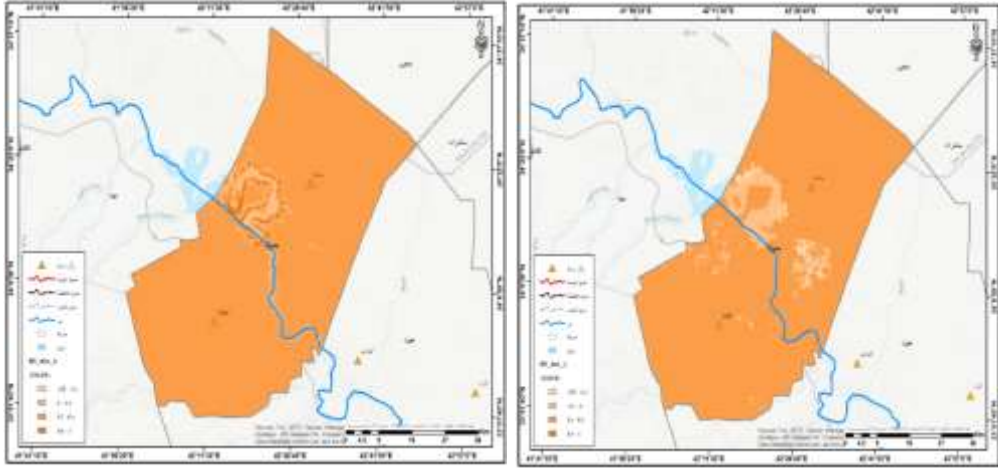
الانكشاف الكامل للتربة وزيادة الفئات الانتقالية مما يعكس تغيراً في ديناميكية السطح البيئي وقدرة الغطاء النباتي على التكيف نسبياً مع الظروف المناخية .

الخريطة (٦، ٧) التباين في مؤشر التربة الجرداء للعام ٢٠٢٠ بين شهري اذار وأيلول



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com> ،
بتاريخ (٢٠٢٠/٣/٧ ، ٢٠٢٠/٩/١٧) وتقانات برنامج
.ArcMap10.4.2

الخريطة (٨٠٩) التباين في مؤشر الترب الجرداء للعام ٢٠٢٥ بين شهري اذار وايلول



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com> بتاريخ (٢٠٢٠/٣/٧، ٢٠٢٠/٩/١٧) - (٢٠٢٥/٣/١، ٢٠٢٥/٩/١٩) وتقانات برنامج ArcMap10.4.2.

الجدول (٤) تباين مساحة ونسبة مؤشر الترب الجرداء BSI للسنوات (2020-
٢٠٢٥)

النسبة المئوية %	المساحة/ كم ^٢	صنف التربة	BSI	تاريخ المرئيات
٧.٧	٢٦٨.٥	تربة مختلطة مع غطاء نباتي كثيف أو رطوية عالية	٠.٢- - ٠.٧-	٢٠٢٠/٣
١.٤	٤٩.٧	تربة ذات غطاء نباتي منخفض نسبياً	٠ - ٠.١-	
٢١	٧٣١.٧	مناطق انتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي	٠.٢ - ٠.١	
٦٩.٩	٢٤٣٢.٥	تربة جرداء مكشوفة جداً، مؤشر تصحر عالي	٠.٧ - ٠.٣	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٧.٤	٢٥٧.٦	تربة مختلطة مع غطاء نباتي كثيف أو رطوية عالية	٠.١- - ٠.٦-	٢٠٢٠/٩
١.٧	٦٠.٩	تربة ذات غطاء نباتي منخفض نسبياً	٠.١ - ٠	
٢٧.٩	٩٧٣.١	مناطق انتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي	٠.٢ - ٠.٢	
٦٢.٩	٢١٩٠.٩	تربة جرداء مكشوفة جداً، مؤشر تصحر عالي	٠.٥ - ٠.٣	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
١.٣	٤٣.٧	تربة مختلطة مع غطاء نباتي كثيف أو رطوية عالية	٠.٢- - ٠.٨-	2025 /٣
٥.٩	٢٠٥.٤	تربة ذات غطاء نباتي منخفض نسبياً	٠ - ٠.١-	
٩٢.٥	٣٢٢٠.٤	مناطق انتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي	٠.٣ - ٠.١	
٠.٤	١٣.١	تربة جرداء مكشوفة جداً، مؤشر تصحر عالي	١ - ٠.٤	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٠.٣	١٠.١	تربة مختلطة مع غطاء نباتي كثيف أو رطوية عالية	٠.١- - ٠.٨-	2025/٩
٤.١	١٤٤.٣	تربة ذات غطاء نباتي منخفض نسبياً	٠.١ - ٠	
٩٤.١	٣٢٧٦.٩	مناطق انتقالية بين التربة المكشوفة والغطاء النباتي	٠.٥ - ٠.٢	
١.٥	٥١.٢	تربة جرداء مكشوفة جداً، مؤشر تصحر عالي	١ - ٠.٦	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		

المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على الخريطة (٦،٧،٨،٩).

٣-٤ / مؤشر خطر التصحر DRI

يُعدّ مؤشر خطر التصحر (DRI) Desertification Risk Index مؤشراً مركباً علمياً يربط بين مؤشر التربة الجرداء (BSI) ومؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، وذلك لتحديد المناطق التي تعاني من خطر التصحر أو تدهور الأراضي الزراعية. ويُستخدم المؤشر لدعم القرارات المتعلقة بالأمن الغذائي وإدارة الأراضي.

يحسب المؤشر من العلاقة التالية:

$$DRI = BSI \times (1 - NDVI)$$

حيث أن:

- BSI = مؤشر التربة الجرداء
- NDVI = مؤشر الغطاء النباتي

يدرج في برنامج Arc Map – Raster Calculator بصيغة:

$$\text{Float ("BSI")} * (1 - \text{Float ("NDVI")})$$

تفسير القيم:

- DRI مرتفع → خطر التصحر شديد، تربة جرداء مع غطاء نباتي منخفض
- DRI متوسط → خطر محتمل، مناطق متدهورة أو زراعية ضعيفة
- DR منخفض → بيئة مستقرة، غطاء نباتي جيد والتربة ليست معرضة للجفاف

يظهر من الخريطة (١٣، ١٢، ١١، ١٠) والجدول (٥) تباين مؤشر خطر

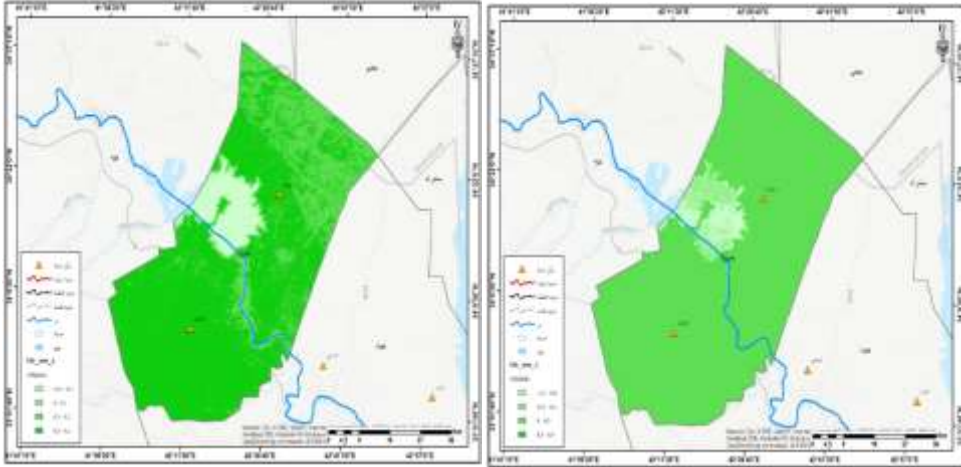
التصحر (DRI) في قضاء حديثة خلال شهري اذار وايلول للسنوات ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥

والذي يعكس درجة الإجهاد المائي والبيئي على الغطاء النباتي ومدى تطور أو تراجع مؤشرات التصحر في منطقة الدراسة، وتشير نتائج شهر اذار لعام ٢٠٢٠ الى هيمنة واضحة لفئة الخطر المرتفع حيث بلغت مساحتها ٣١٩٦.٢ كم^٢ وبنسبة ٩١.٨% من مساحة منطقة الدراسة مما يدل على وجود إجهاد بيئي كبير وتدهور واضح في الغطاء النباتي خلال هذه الفترة كما سجلت فئة الخطر المنخفض إلى المتوسط مساحة ١٥١.٧ كم^٢ بنسبة ٤.٤% في حين بلغت فئة الخطر المنخفض ١٣١.٤ كم^٢ بنسبة ٣.٨% بينما كانت فئة الخطر الشديد ضعيفة جدا بنسبة ٠.١%، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٠ فقد تراجعت مساحة الخطر المرتفع إلى ٨٦٤.٩ كم^٢ بنسبة ٢٤.٨% في حين ارتفعت بشكل كبير فئة الخطر الشديد لتصل إلى ٢٣٠١.٤ كم^٢ بنسبة ٦٦.١% مما يشير إلى تفاقم حدة الجفاف خلال فصل الصيف نتيجة ارتفاع درجات الحرارة وانعدام التساقط المطري كما سجلت فئة الخطر المنخفض مساحة ٢٤٦.٩ كم^٢ بنسبة ٧.١% بينما بلغت فئة الخطر المنخفض إلى المتوسط ٦٩.٣ كم^٢ بنسبة ٢%، وفي شهر اذار لعام ٢٠٢٥ يلاحظ تغير كبير في نمط توزيع خطر التصحر حيث سيطرت فئة الخطر المنخفض إلى المتوسط على معظم مساحة الدراسة بواقع ٣٢٣٥.٨ كم^٢ وبنسبة ٩٢.٩% مما يعكس تحسناً نسبياً في الاستجابة البيئية خلال موسم النمو الربيعي وانخفاض مستويات الإجهاد النباتي كما سجلت فئة الخطر المنخفض مساحة ٢٢٩.٤ كم^٢ بنسبة ٦.٦% في حين تراجعت فئة الخطر المرتفع إلى ١٢ كم^٢ بنسبة ٠.٣% والخطر الشديد إلى ٥.٣ كم^٢ بنسبة ٠.٢%، اما في شهر ايلول لعام ٢٠٢٥ فقد سجلت المنطقة تحسناً ملحوظاً مقارنة بعام ٢٠٢٠ حيث هيمنت فئة الخطر المنخفض بشكل كبير جداً وبلغت ٣٤٠٦.٦ كم^٢ بنسبة ٩٧.٨% من مساحة منطقة الدراسة في حين سجلت فئة الخطر المنخفض إلى المتوسط ٢١.٨ كم^٢ بنسبة ٠.٦%

بينما بقيت فئة الخطر المرتفع محدودة جداً بمساحة ٤١ كم ٢ بنسبة ١.٢٪ والخطر الشديد ١٣ كم ٢ بنسبة ٠.٤٪. ينظر الشكل (١،٢).

بشكل عام يوضح تحليل مؤشر DRI وجود تذبذب واضح في مستويات خطر التصحر بين الموسمين والسنوات المدروسة حيث ترتفع مستويات الخطر في عام ٢٠٢٠ خصوصاً خلال فصل الصيف نتيجة الظروف المناخية القاسية وانعدام الأمطار بينما يشير عام ٢٠٢٥ إلى تحسن نسبي كبير في المؤشر وانخفاض واضح في مساحات الخطر المرتفع والشديد وسيادة الفئات المنخفضة وهو ما يعكس تحسناً في الاستجابة البيئية للغطاء النباتي وانخفاضاً في حدة الإجهاد المائي ومع ذلك فإن استمرار وجود مساحات محدودة ضمن فئات الخطر المرتفع يؤكد بقاء المنطقة ضمن نطاق هش بيئياً^٨.

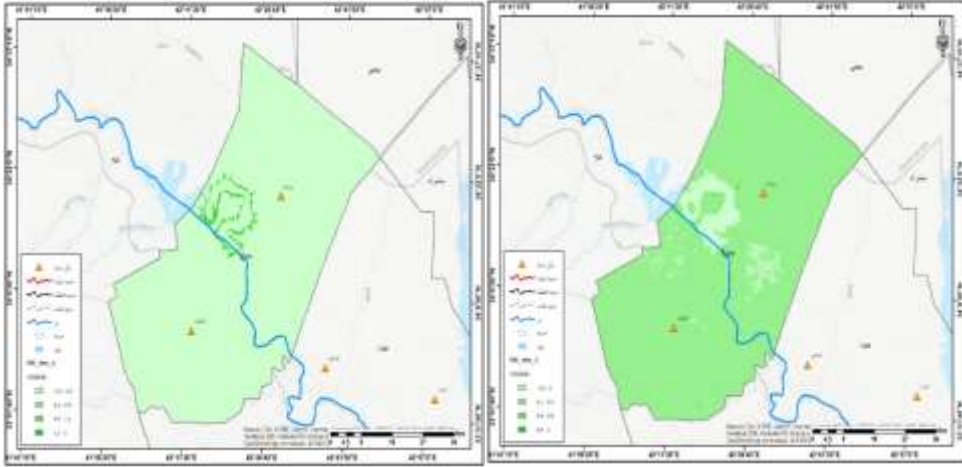
الخريطة (١٠، ١١) التباين في مؤشر خطر التصحر للعام ٢٠٢٠ بين شهري اذار وايلول



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>
 $DRI = BSI \times (1 - NDVI)$ 'COPERNICUS/S2_SR
NDVI) $DRI = BSI \times (1 - NDVI)$ برنامج ArcMap10.4.2.

الخريطة (١٢،١٣) التباين في مؤشر خطر التصحر للعام ٢٠٢٥ بين شهري اذار

وايلول



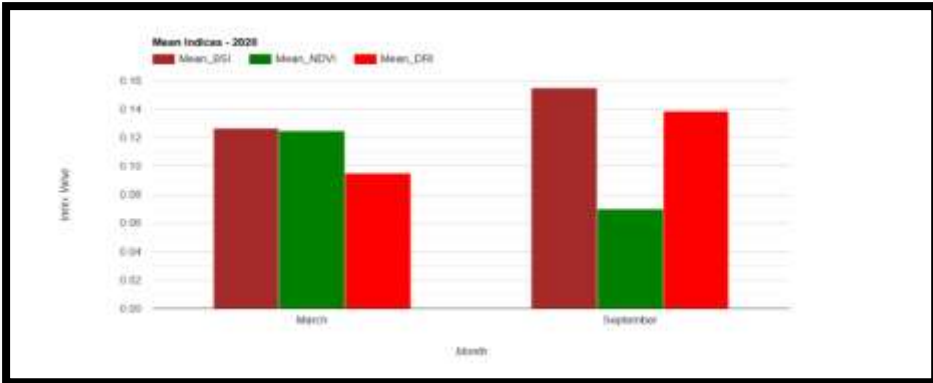
المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>
 $DRI = BSI \times (1 - NDVI)$ $DRI = BSI \times (1 - 'COPERNICUS/S2_SR$
NDVI) و تقانات برنامج ArcMap 10.4.2.

الجدول (٥) تباين مساحة ونسبة مؤشر خطر التصحر DRI للسنوات (2020- ٢٠٢٥)

النسبة المئوية %	المساحة/ كم ^٢	صنف التربة	DRI	تاريخ المرئيات
٣.٨	١٣١.٤	خطر منخفض للجفاف، أراضي مستقرة نسبياً	-١.٣ - -٠.٤	٢٠٢٠/٣
٤.٤	١٥١.٧	خطر منخفض إلى متوسط، بعض الإجهاد على النباتات	-٠.٣ - -٠.١	
٩١.٨	٣١٩٦.٢	خطر مرتفع، تدهور واضح في الغطاء النباتي	٠ - ٠.٢	
٠.١	٣.٣	خطر شديد، أراضي جرداء وجفاف شديد، تصحر محتمل كبير	٠.٣ - ٠.٩	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٧.١	٢٤٦.٩	خطر منخفض للجفاف، أراضي مستقرة نسبياً	-٠.٣ - -٠.١	٢٠٢٠/٩
٢	٦٩.٣	خطر منخفض إلى متوسط، بعض الإجهاد على النباتات	٠ - ٠.١	
٢٤.٨	٨٦٤.٩	خطر مرتفع، تدهور واضح في الغطاء النباتي	٠.٢ - ٠.٢	
٦٦.١	٢٣٠١.٤	خطر شديد، أراضي جرداء وجفاف شديد، تصحر محتمل كبير	٠.٣ - ٠.٥	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٦.٦	٢٢٩.٤	خطر منخفض للجفاف، أراضي مستقرة نسبياً	-١.٦ - ٠	2025 /٣
٩٢.٩	٣٢٣٥.٨	خطر منخفض إلى متوسط، بعض الإجهاد على النباتات	٠.١ - ٠.٣	
٠.٣	١٢	خطر مرتفع، تدهور واضح في الغطاء النباتي	٠.٤ - ٠.٨	
٠.٢	٥.٣	خطر شديد، أراضي جرداء وجفاف شديد، تصحر محتمل كبير	٠.٩ - ٢	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		
٩٧.٨	٣٤٠٦.٦	خطر منخفض للجفاف، أراضي مستقرة نسبياً	-٠.٢ - ٠.٣	2025/٩
٠.٦	٢١.٨	خطر منخفض إلى متوسط، بعض الإجهاد على النباتات	٠.٤ - ٠.٨	
١.٢	٤١	خطر مرتفع، تدهور واضح في الغطاء النباتي	٠.٩ - ١.٤	
٠.٤	١٣	خطر شديد، أراضي جرداء وجفاف شديد، تصحر محتمل كبير	١.٥ - ٢	
%١٠٠	٣٤٨٢.٥	المجموع		

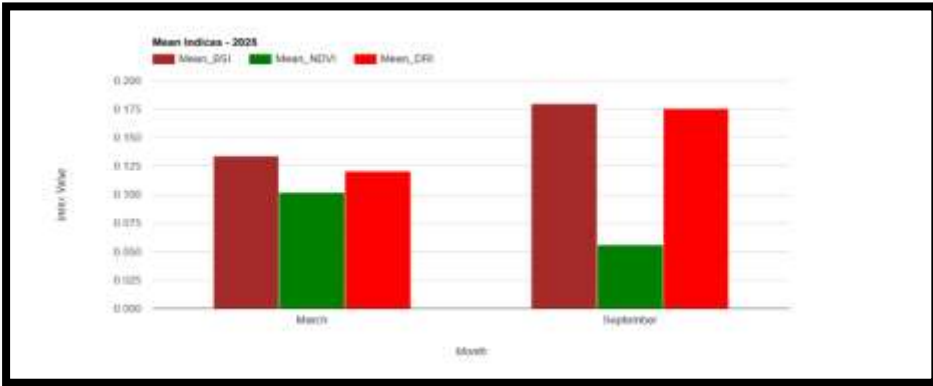
المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة (١٠،١١،١٢،١٣).

الشكل (١) متوسط المؤشرات الطيفية لسنة ٢٠٢٠



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>

الشكل (٢) متوسط المؤشرات الطيفية لسنة ٢٠٢٥



المصدر: عمل الباحثين بالاعتماد على <https://code.earthengine.google.com>

٤/ الاستنتاجات

١- أظهرت المؤشرات الطيفية (NDVI و BSI و DRI) وجود تباين مكاني وزماني واضح

في حالة الغطاء الأرضي في قضاء حديثة بين عامي ٢٠٢٠ و ٢٠٢٥.

٢- سجل عام ٢٠٢٠ تدهوراً بيئياً أكبر، تمثل بانخفاض الغطاء النباتي وارتفاع مساحات

التربة الجرداء وزيادة خطر التصحر.

- ٣- بينت نتائج عام ٢٠٢٥ تحسناً نسبياً في الغطاء النباتي وانخفاضاً في مساحات التربة المكشوفة ومناطق الخطر المرتفع.
- ٤- يوجد تباين موسمي واضح، حيث تتحسن مؤشرات الغطاء النباتي في شهر آذار مقارنة بشهر أيلول بسبب اختلاف الظروف المناخية.
- ٥- تؤكد المؤشرات المناخية (ارتفاع الحرارة وقلّة الأمطار) أنها العامل الرئيس في زيادة الجفاف وتدهور البيئة في المنطقة.
- ٦- يوضح مؤشر DRI استمرار وجود هشاشة بيئية رغم التحسن النسبي، مما يعني بقاء المنطقة عرضة للتصحر.

٥/ المقترحات

- ١- تنفيذ برامج توعوية موجهة للمجتمع المدني حول مخاطر التصحر وأهمية الحفاظ على الغطاء النباتي ودور الأفراد في الحد من تدهور الأراضي.
- ٢- تشجيع المشاركة المجتمعية في حملات التشجير واستصلاح الأراضي المتدهورة بالتعاون مع الدوائر الزراعية والبلديات.
- ٣- دعم إدخال تقنيات الإدارة المستدامة للأراضي والمياه في المناطق الزراعية للحد من الاستنزاف والتدهور البيئي.
- ٤- تعزيز التعاون بين المؤسسات الحكومية والمجتمع المدني والجامعات لإجراء دراسات دورية ومستمرة حول التصحر ووضع خطط للحد منه.

- ¹ - John A. Duffie, (Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems, ISBN: 978-0-471-49557-1, Wiley-Interscience, P. ٢٣٦-٢٣٤, ٢٠٠٦.
- ^٢ - علي احمد غانم، الجغرافيا المناخية، عمان، دار المسيرة للنشر والتوزيع، الطبعة الرابعة، ٢٠١٣، ص ٤١.
- ³ - Anwer, H. A., Mohamed, T., & Hassan, A. (2025). *Assessing vegetation dynamics in Al Jazirah, Sudan using NDVI-based remote sensing techniques*. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. Springer. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00011-0>.
- ^٤ - حسن رمضان سلامة، جغرافية الاقاليم الجافة، عمان، دار المسيرة للنشر والتوزيع، الطبعة الاولى، ٢٠١٠، ص ١١٩ - ١٢٠.
- ⁵ - Ahmed, B., Kamruzzaman, M. D., Zhu, X., Shahinoor Rahman, M. D., & Choi, K., "Simulating land cover changes and their impacts on land surface temperature in Dhaka, Bangladesh", *Remote Sensing*, 5(11), 5969–5998 (2013). <https://doi.org/10.3390/rs5115969>.
- ⁶ - Chen, X., Zhao, W., & Li, J. (2016). Monitoring bare soil areas using the Bare Soil Index (BSI) derived from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 8(9), 733. <https://doi.org/10.3390/rs8090733>.
- ⁷ - Berdyayev, A., Al-Masnay, Y. A., Juliev, M., & Abuduwaili, J. (2024). *Desertification monitoring using machine learning techniques with multiple indicators derived from Sentinel-2 in Turkmenistan*. *Remote Sensing*, 16(23), 4525. <https://doi.org/10.3390/rs16234525>
- ⁸ - باسل أحسان القشطيني، الكتل الهوائية التي تعترض منطقة بغداد في موسم الأمطار، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، العدد ٢٤-٢٥، ١٩٩٠، ص ١٢١-١٢٢.

References

1. Duffie, J. A. (2006). *Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems*. Wiley-Interscience. ISBN: 978-0-471-49557-1, pp. 234–236.
2. Ghanem, A. A. (2013). *Climatic Geography* (4th ed.). Amman: Dar Al-Masirah for Publishing and Distribution, p. 41.
3. Anwer, H. A., Mohamed, T., & Hassan, A. (2025). Assessing vegetation dynamics in Al Jazirah, Sudan using NDVI-based remote sensing techniques. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s44447-025-00011-0>
4. Salama, H. R. (2010). *Geography of Arid Regions* (1st ed.). Amman: Dar Al-Masirah for Publishing and Distribution, pp. 119–120.
5. Ahmed, B., Kamruzzaman, M. D., Zhu, X., Rahman, M. D. S., & Choi, K. (2013). Simulating land cover changes and their impacts on land surface temperature in Dhaka, Bangladesh. *Remote Sensing*, 5(11), 5969–5998. <https://doi.org/10.3390/rs5115969>
6. Chen, X., Zhao, W., & Li, J. (2016). Monitoring bare soil areas using the Bare Soil Index (BSI) derived from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 8(9), 733. <https://doi.org/10.3390/rs8090733>
7. Berdyev, A., Al Masnay, Y. A., Juliev, M., & Abuduwaili, J. (2024). Desertification monitoring using machine learning techniques with multiple indicators derived from Sentinel-2 in Turkmenistan. *Remote Sensing*, 16(23), 4525. <https://doi.org/10.3390/rs16234525>
8. Al-Qishtini, B. I. (1990). Air masses affecting the Baghdad region during the rainy season. *Iraqi Geographical Society Journal*, Nos. 24–25, pp. 121–122.

