

## Spectral Indicators Used in Monitoring Climate Change in Salah al-Din Governorate

Omar Ahmed Awad <sup>1\*</sup>, Hamda Hamoudi Sheet<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geography Department, College of Arts, Tikrit University, Tikrit, Iraq.

\* Corresponding author: [Omer.ahmed@tu.edu.iq](mailto:Omer.ahmed@tu.edu.iq)

Received: 02/01/2026

Accepted: 05/02/2026

### Abstract

Spectral indices are defined as mathematical coefficients derived from spectral values recorded in different bands of the electromagnetic spectrum by satellite sensors. They aim to highlight the physical and environmental characteristics of the Earth's surface in a digitally analyzable and comparable manner. These indices rely on the relative relationships between spectral bands, allowing for the reduction of the effects of lighting and weather conditions, and providing a more accurate representation of vegetation cover, soil moisture, surface temperature, and other environmental variables associated with climate change.

**Keywords:** Spectral indices, Salah al-Din, Climate change.

## المؤشرات الطيفية المستخدمة في رصد التبدل المناخي في محافظة صلاح الدين

م.م. عمر احمد عواد<sup>1\*</sup>، أ.م.د حمده حمودي شيت<sup>1</sup>

<sup>1</sup>قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة تكريت، تكريت، العراق.

\*البريد الإلكتروني: [dr.haider1966cavo@uomustansiriyah.edu.iq](mailto:dr.haider1966cavo@uomustansiriyah.edu.iq)

### المخلص

تعرف المؤشرات الطيفية بأنها معاملات رياضية مشتقة من القيم الطيفية المسجلة في نطاقات مختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي بواسطة مستشعرات الأقمار الصناعية، وتهدف إلى إبراز الخصائص الفيزيائية والبيئية لسطح الأرض بصورة رقمية قابلة للتحليل والمقارنة. وتعتمد هذه المؤشرات على العلاقات النسبية بين الحزم الطيفية، مما يسمح بتقليل تأثيرات الإضاءة والظروف الجوية، وتوفير تمثيل أكثر دقة لحالة الغطاء النباتي، ورطوبة التربة، ودرجة حرارة السطح، وغيرها من المتغيرات البيئية المرتبطة بالتبدلات المناخية

**الكلمات المفتاحية:** المؤشرات الطيفية، صلاح الدين، التبدل المناخي.

### المقدمة:

تكمن أهمية المؤشرات الطيفية في دورها المحوري في رصد وتحليل التبدلات المناخية، إذ تتيح متابعة التغيرات البيئية على نطاقات مكانية واسعة وفترات زمنية طويلة. كما توفر هذه المؤشرات بيانات كمية دقيقة تستخدم في الكشف عن الاتجاهات المناخية العامة، مثل تزايد الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة، وتراجع الغطاء النباتي، مما يجعلها أدوات فعالة في الدراسات المناخية والبيئية الحديثة، وتتجلى فوائد استخدام المؤشرات الطيفية في قدرتها على الدمج بين عدة عناصر مناخية وبيئية ضمن إطار تحليلي واحد، الأمر الذي يساهم في فهم التفاعل المعقد بين المناخ وسطح الأرض. كما تعد هذه المؤشرات وسائل مهمة للإنذار المبكر بالمخاطر المناخية، ودعم التخطيط الزراعي وإدارة الموارد الطبيعية، فضلاً عن تعزيز موثوقية التحليل من خلال الاعتماد على بيانات متجانسة وقابلة للتحديث المستمر.

وانطلاقاً من طبيعة التبدل المناخي بوصفه ظاهرة مركبة لا يمكن توصيفها من خلال متغير واحد، تم في هذه الدراسة اعتماد مجموعة من المؤشرات الطيفية التي تعكس أبعاداً مختلفة من الاستجابة البيئية للمناخ. فقد تم استخدام مؤشر الغطاء النباتي المحسن (EVI) لكونه أكثر حساسية للتغيرات المناخية الدقيقة ويقلل تأثير الخلفية الترابية والغلاف الجوي، كما جرى اعتماد مؤشر الفرق المائي المعياري (NDWI) لقدرته على تقييم حالة الرطوبة السطحية للمساحات المائية والنباتية، والتي تعد من أكثر العناصر حساسية للتغير المناخي وفي السياق ذاته، تم استخدام درجة حرارة سطح الأرض (LST) لرصد الاتجاهات الحرارية طويلة الأمد ومتابعة تأثير التغيرات المناخية على الجزر الحرارية والموجات الحرارية، بالإضافة إلى الانعكاسية السطحية (Albedo) التي تؤثر في ميزان الطاقة الأرضي، إذ أي تغير في قيمها يؤدي إلى تعديل كمية الإشعاع الممتص أو المنعكس وبالتالي التأثير في النظام الحراري المحلي والإقليمي.

### 1.1. مشكلة الدراسة :

إن مشكلة الدراسة يمكن أن تطرح بحقيقة مفادها (المؤشرات الطيفية المستخدمة في رصد التبدل المناخي في محافظة صلاح الدين) ومن هذه المشكلة تطرح التساؤلات الآتية:

- 1- هل يوجد أساليب كمية يمكن من خلالها تحديد المناطق الجافة حسب درجة التأثير، وماهي نوع الأسلوب الأمثل للدراسة ؟
- 2- ماهي المناطق التي أصابها الجفاف وأنواعها في منطقة الدراسة وماهي نسبة درجة الجفاف قياساً بمناطق اخرى ؟

### 2.1. فرضية الدراسة:

تعد الفرضية إجابة أولية عن التساؤلات السابقة وأن إثبات صحة هذه الإجابة لا يتم إلا بعد إجراء دراسة دقيقة وتحليل علمي لكل من العوامل المناخية التي ساهمت فيها وتوضيح أثرها في تفاقم ظاهرة الجفاف في منطقة الدراسة ومن خلاله يمكن صياغة الفرضية الآتية:

- 1- للتذبذبات المناخية لاسيما قله كمية الامطار الساقطة وارتفاع درجات الحرارة دور كبير في زيادة المساحات الجافة في منطقة الدراسة.
- 2- تعد الأساليب الكمية وتقنيات الاستشعار عن بعد الأساس في الدراسات الجغرافية الحديثة، يمكن من خلالها مراقبة الجفاف عن بعد بالاعتماد على المؤشرات الطيفية والطرق الإحصائية
- 3- تتباين المساحات الجافة في منطقة الدراسة في توسعها ودرجة جفافها.

### 3.1. أهداف الدراسة:

- 1- توظيف تقنيات الجغرافية الحديثة في كشف مظاهر الجفاف ومراقبة تغيراتها في محتفظة صلاح الدين من خلال استخدام المؤشرات الطيفية (Indices).
- 2- إنشاء قاعد بيانات جغرافية من خلال تطبيق نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS) في تصميم وإنتاج خرائط الجفاف الرقمية (Digital) وتمثيل البيانات الخاصة بمنطقة الدراسة، بحيث يمكن تحديثها باستمرار في حال توفر معلومات حديثة لمنطقة الدراسة، سواء كانت مكانية أم وصفية.
- 3- إيضاح اهم الأثار البيئية وكشفها بشكل دقيق وما مدى ارتباطها بالتغير المناخي من خلال تحليل البيانات وتحليل الصور الجوية والدراسات الميدانية والتقارير الحكومية .

### 4.1. منهجية الدراسة :

اتبعت الدراسة المناهج الآتية :

1. المنهج النقني : الذي يعتمد على التقنيات الجغرافية الحديثة في تحليل المرئيات الفضائية ونموذج الارتفاع الرقمي (DEM) والخرائط مختلفة المقياس التي تغطي منطقة الدراسة.
2. المنهج الكمي : المتمثل بمعادلات رياضية خاصة بمظاهر التصحر فضلاً عن المؤشرات الطيفية (indexs) لمنطقة الدراسة.

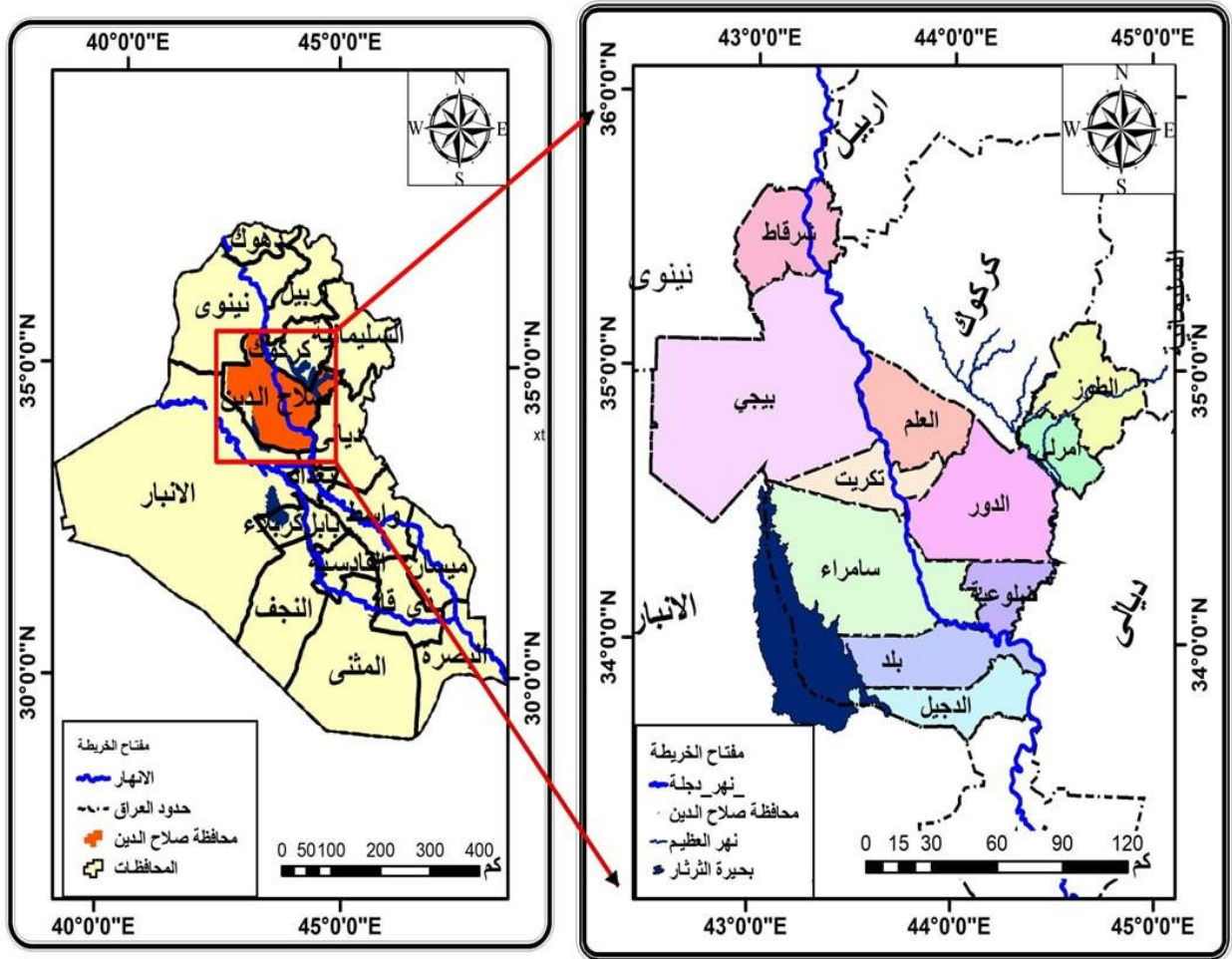
### 5.1. موقع منطقة الدراسة:

#### 1.5.1. الموقع الجغرافي:

يعد الموقع الجغرافي أهم العناصر الطبيعية المؤثرة في شكل وخصائص وإمكانات اقليم، وتقع محافظة صلاح الدين في شمال القسم الأوسط من العراق في المنطقة الانتقالية ما بين السهل الرسوبي ومنطقة الجزيرة من جهة والمنطقة المتموجة من جهة اخرى الموقع الاحداثي: ويتحدد بين دائرتي عرض 33°27 شمالاً في حدودها الجنوبية و 35°41 شمالاً في حدودها الشمالية وبين خطي طول 42°32 شرقاً في حدودها الغربية و 44°59 شرقاً في حدودها الشرقية. كما في الخريطة (1).

حدود منطقة الدراسة الادارية : تحدها من الشمال محافظتي اربيل ونينوى ومن الشمال الشرقي كركوك ومن الشرق محافظتي السليمانية وديالى ومن الغرب تحدها محافظة الأنبار ، أما من الجنوب فتحدها محافظة بغداد، وتضم المحافظة ثمانية اضية هي : تكريت ، بيجي ، سامراء، الدور، بلد ، طوزخرماتو ، الشراقات ، الدجيل وتبلغ المساحة الاجمالية لها نحو 24075 كم<sup>2</sup> وتشكل ما نسبته 56 من مجموع مساحة العراق الكلية .

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على هيئة المساحة العامة خريطة العراق الطبوغرافية، وبمقياس 1:1000000، 2007.

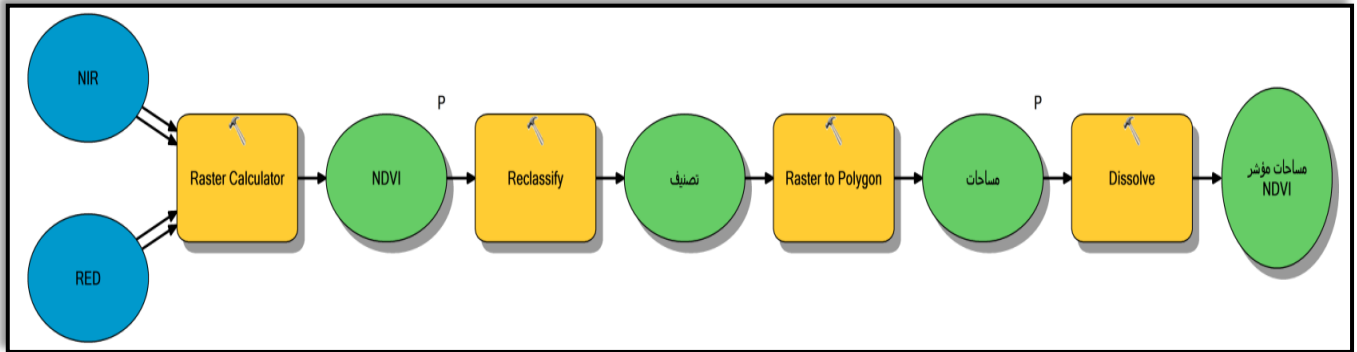
## 1.2 الغطاء النباتي المعياري (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI):

يعد مؤشر (NDVI) من أكثر المؤشرات الطيفية استخداماً في رصد الجفاف وتحليل شدته واتجاهاته المكانية والزمانية، وذلك لارتكازه على العلاقة الفيزيائية بين الغطاء النباتي والإشعاع الكهرومغناطيسي. تتفاعل النباتات مع الإشعاع الشمسي في نطاقات مختلفة بشكل مميز؛ فالنباتات السليمة تحتوي على صبغة الكلوروفيل التي تمتص معظم الأشعة في النطاق الأحمر لاستخدامها في عملية التمثيل الضوئي، أما في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، فإن بنية خلايا الأوراق الداخلية تعكس كميات كبيرة من الإشعاع بسبب التغير في الانكسار داخل أنسجة النبات. وهذا يعني أن النباتات الصحية تعكس إشعاعاً منخفضاً في النطاق الأحمر، وإشعاعاً عالياً في نطاق تحت الأحمر القريب، بينما النباتات المتضررة أو المتعرضة للإجهاد مثل الجفاف تعكس إشعاعاً أقل في النطاق تحت الأحمر القريب وتمتص مزيداً من الإشعاع في النطاق الأحمر نتيجة لتدهور الخلايا النباتية وتراجع النشاط الفسيولوجي، يتم حساب مؤشر NDVI وفق المعادلة: (Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., , 2002, pp. 487–507).

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

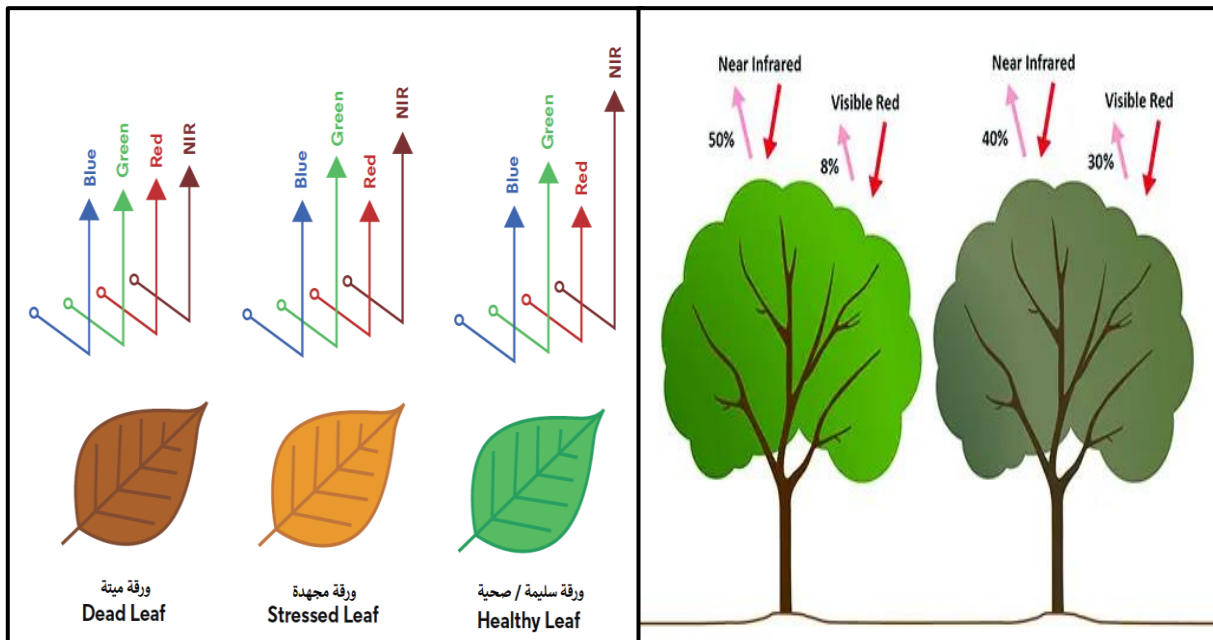
NIR : قيمة الانعكاس في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة.

Red : قيمة الانعكاس في نطاق الطيف الأحمر، وتعكس قيمة المؤشر الحالة الحيوية للنبات، وقد تم استخدام النمذجة في استخراج مؤشر (NDVI) باستخدام أداة Model Builder، كما في الشكل (1).



شكل (1) نمذجة مؤشر الغطاء النباتي المعياري باستخدام (NDVI) (المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على برنامج ((ArcGIS).

وتستخدم المعادلة من خلال قياس الفرق بين الانعكاس في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) والانعكاس في نطاق الطيف الأحمر (Red)، مقسوماً على مجموع هذين الانعكاسين. هذا الأسلوب يعزز قدرة المؤشر على التمييز بين الغطاء النباتي الصحي والمتدهور، حيث تعكس النباتات الصحية إشعاعاً عالياً في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وانعكاساً منخفضاً في نطاق الطيف الأحمر (Red)، مما يؤدي إلى قيم مرتفعة لمؤشر NDVI. أما النباتات المتأثرة بالإجهاد المائي أو الجفاف، فتظهر انعكاساً أقل في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) وانعكاساً أكبر في نطاق الطيف الأحمر (Red)، مما يؤدي إلى قيم منخفضة أو حتى سالبة لمؤشر NDVI في بعض الحالات (Vicente-Serrano, 2010, pp. 1696–1718).



شكل (2) السلوك الطيفي للغطاء النباتي حسب مؤشر (NDVI).

وعند استخدام مؤشر الفرق النباتي المعياري (NDVI) لرصد ظاهرة الجفاف، يعتبر التغير في قيمه انعكاساً مباشراً لمستوى الإجهاد المائي الذي تتعرض له النباتات. يحدث نقص المياه انخفاضاً في محتوى الماء داخل خلايا الأنسجة النباتية، مما يضعف عملية التمثيل الضوئي ويقلل من قدرة النباتات على عكس الأشعة تحت الحمراء القريبة، بينما تزداد كمية الإشعاع الأحمر الممتص. تعكس هذه التغيرات الفيزيولوجية انخفاضاً واضحاً في قيم NDVI، وهو ما يمكن من

الكشف المبكر عن حالات الجفاف قبل ظهور أعراض الذبول أو تدهور الغطاء النباتي بشكل ملحوظ على سطح الأرض (Wang, L., Qu, J.J., 2007, pp. 182–196).

كما نتيج دراسة السلاسل الزمنية لقيم (NDVI) تتبع أنماط الجفاف سواء على المدى القصير أو الطويل، حيث يشير الانخفاض الموسمي المؤقت في القيم إلى جفاف مؤقت ناتج عن تغيرات موسمية في الأمطار أو الظروف المناخية، في حين يعكس الانخفاض المستمر والممتد لفترات طويلة حالة جفاف مزمنة قد تؤدي إلى تدهور الغطاء النباتي وزيادة خطر التصحر. من خلال مقارنة قيم المؤشر بين الفصول أو السنوات المختلفة، يمكن تقدير شدة الجفاف وتحديد الفترات الزمنية التي تتأثر بشكل أكبر (Inge Sandholt, J. et al., 2002, pp. 213–224).

**1- فئة الجفاف:** يتضح من خلال تحليل فئة الجفاف باستخدام مؤشر NDVI في محافظة صلاح الدين عبر الفصول الأربعة والسنوات الممتدة من 1993 إلى 2024 أن هناك زيادة مستمرة في مساحة ونسبة هذه الفئة، مما يعكس تفاقم ظاهرة الجفاف وتأثيرها المتصاعد على الغطاء النباتي. ففي فصل الشتاء، شهدت فئة الجفاف ارتفاعاً ملحوظاً حيث ارتفعت المساحة من (8999.87 كم<sup>2</sup>) بنسبة (36.95%) عام 1993 إلى (11799.88 كم<sup>2</sup>) بنسبة (48.44%) عام 2024. يعزى هذا التزايد إلى الانخفاض في معدلات الأمطار الشتوية وارتفاع درجات الحرارة التي أدت إلى زيادة معدلات التبخر، مما قلل من توفر الرطوبة في التربة وفرض إجهاداً مائياً على النباتات، وهو ما دفع مساحات واسعة من الغطاء النباتي إلى الانحسار لصالح الجفاف.

في فصل الربيع، اتجهت فئة الجفاف أيضاً إلى التوسع، حيث ارتفعت من (6000.44 كم<sup>2</sup>) بنسبة (24.64%) في عام 1993 إلى (7999.89 كم<sup>2</sup>) بنسبة (32.85%) في عام 2024، ويعزى ذلك إلى تقلبات الأمطار الربيعية وتأخرها في بعض السنوات، بالإضافة إلى زيادة موجات الحرارة المبكرة التي قلصت من فترة الرطوبة المثلى لنمو النباتات، مما أثر سلباً على قدرة الغطاء النباتي على الصمود وحفز زيادة مساحات الجفاف.

أما في فصل الصيف، فقد سجلت فئة الجفاف أعلى نسبها ومساحتها عبر الفصول والأعوام، حيث بلغت (15499.66 كم<sup>2</sup>) بنسبة (63.64%) في عام 2024، مقارنة بـ (13999.87 كم<sup>2</sup>) بنسبة (57.46%) في عام 1993. تعود هذه الزيادة الحادة إلى الظروف المناخية القاسية التي تميز الصيف في المنطقة، من ارتفاع درجات حرارة غاية في الارتفاع، وغياب شبه كامل لهطول الأمطار، مما يزيد من معدلات التبخر والنتح، ويؤدي إلى إجهاد شديد للنباتات وامتداد مساحات الأراضي الجافة على حساب الغطاء النباتي.

في فصل الخريف، لم تكن الصورة مختلفة كثيراً، حيث ارتفعت مساحة الجفاف من (12999.76 كم<sup>2</sup>) بنسبة (53.39%) عام 1993 إلى (14400.04 كم<sup>2</sup>) بنسبة (59.15%) عام 2024، نتيجة استمرار تأثير حرارة الصيف وتأخر هطول الأمطار الخريفية التي عادة ما تساعد على تعافي الغطاء النباتي. هذا التأخير في الأمطار، إلى جانب قلة الموارد المائية المتاحة، أدى إلى بطء في تعافي النباتات وازدياد مساحات الجفاف.

بالمجمل، يلاحظ أن فئة الجفاف تتوسع بوضوح في جميع الفصول، مع أعلى نسبة جفاف في فصل الصيف، وأدنى نسبة في فصل الربيع خلال بدايات الفترة المدروسة. تعكس هذه التغيرات الظروف المناخية المتغيرة، مثل تراجع هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة، والتي تزيد من الضغط على الموارد المائية وتؤثر بشكل مباشر على الغطاء النباتي، مما يفرض تحديات كبيرة على الاستدامة البيئية والزراعية في محافظة صلاح الدين.

**2- فئة ذات كثافة متوسط:** يتضح من خلال تحليل فئة الكثافة المتوسطة أن هذه الفئة شهدت تراجعاً واضحاً في المساحات والنسب، مما يعكس ضغوطاً متزايدة على الغطاء النباتي المتوسط الكثافة بسبب التغيرات المناخية والعوامل البيئية المختلفة.

في فصل الشتاء، انخفضت مساحة فئة الكثافة المتوسطة من (9501.23 كم<sup>2</sup>) بنسبة (38.99%) في عام 1993 إلى (7200.31 كم<sup>2</sup>) بنسبة (29.56%) في عام 2024. ويرجع هذا الانخفاض بشكل رئيسي إلى تقلص فترات الأمطار وارتفاع درجات الحرارة التي أدت إلى زيادة الإجهاد المائي، مما دفع أجزاءً من هذه الفئة إلى التحول نحو فئة الجفاف، خاصة في المناطق التي تفقر إلى نظم ري مستدامة.

أما في فصل الربيع، فقد تراجعت أيضاً مساحات الكثافة المتوسطة من (9499.65 كم<sup>2</sup>) بنسبة (38.99%) في عام 1993 إلى (7699.88 كم<sup>2</sup>) بنسبة (31.61%) عام 2024. هذا الانخفاض يعود إلى تأخر وتذبذب الأمطار الربيعية، والتي قللت من فترة الرطوبة الأرضية الضرورية لنمو النباتات، إضافة إلى تأثير موجات الحرارة المبكرة التي أثرت على نشاط النبات وزادت من الإجهاد الحراري.

في فصل الصيف، شهدت فئة الكثافة المتوسطة انخفاضاً مستمراً من (7000.33 كم<sup>2</sup>) بنسبة (28.74%) عام 1993 إلى (5499.55 كم<sup>2</sup>) بنسبة (22.58%) عام 2024، نتيجة لشدة الحرارة وجفاف الصيف الشديد، حيث أن نقص الأمطار

وارتفاع معدلات التبخر أدى إلى فقدان كبير للرطوبة، مما جعل الغطاء النباتي المتوسط غير قادر على الصمود في كثير من المناطق، خصوصاً التي تعتمد على الأمطار الموسمية فقط.

أما في فصل الخريف، فقد تراجع هذه الفئة أيضاً من (7999.78 كم<sup>2</sup>) بنسبة (32.85%) في عام 1993 إلى (6500.33 كم<sup>2</sup>) بنسبة (26.68%) في عام 2024، بسبب استمرار الحرارة المرتفعة وتأخر هطول الأمطار الخريفية التي تؤثر على فترة تعافي الغطاء النباتي بعد الصيف.

بشكل عام يعكس هذا التراجع في فئة الكثافة المتوسطة خلال الفصول الأربعة تزايد الإجهادات المناخية، وخاصة انخفاض كميات الأمطار وارتفاع درجات الحرارة التي تؤثر على توزيع وفعالية الغطاء النباتي المتوسط.

**3- كثافة عالية:** تظهر فئة الكثافة العالية، التي تمثل الغطاء النباتي الكثيف والصحي، نمطاً مختلفاً عن الفئات الأخرى في محافظة صلاح الدين خلال الفترة من 1993 إلى 2024، حيث تميل هذه الفئة إلى الاستقرار النسبي مع بعض التراجع الطفيف، وهو ما يشير إلى تماسك نسبي للغطاء النباتي الكثيف رغم التحديات المناخية المتزايدة.

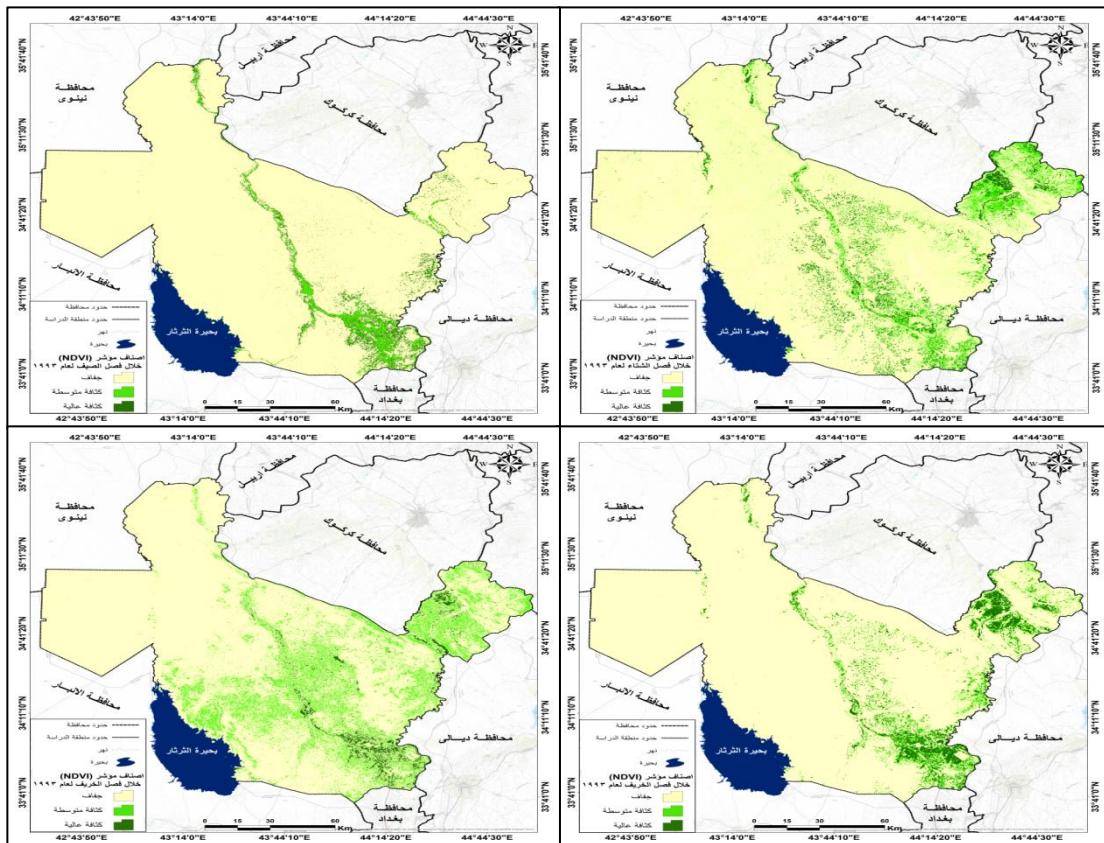
في فصل الشتاء، انخفضت مساحة هذه الفئة من (5857.71 كم<sup>2</sup>) بنسبة (24.06%) عام 1993 إلى (4358.62 كم<sup>2</sup>) بنسبة (17.9%) في 2024. يعكس هذا الانخفاض محدوداً نسبياً مقارنة بالفئات الأخرى، ويرجع ذلك إلى أن الغطاء النباتي الكثيف في الشتاء يعتمد في كثير من الأحيان على موارد مائية مستدامة كالمناطق التي تتلقى رياً منتظماً أو تتمتع بمصادر مياه جوفية، مما يخفف من تأثير التذبذبات المناخية. ومع ذلك، فإن الضغوط المتزايدة بسبب الجفاف وارتفاع درجات الحرارة لا تزال تؤثر على بعض المناطق، مسببة هذا التراجع الطفيف.

أما في فصل الربيع، فقد حافظت فئة الكثافة العالية على استقرار نسبي، حيث تذبذبت مساحتها بين (6858.72 كم<sup>2</sup>) بنسبة (28.15%) عام 1993 و(6659.04 كم<sup>2</sup>) بنسبة (27.34%) في 2024. ويفسر هذا الاستقرار بقدرته النباتات في هذه الفئة على مقاومة الإجهادات الحرارية والإجهاد المائي بشكل أفضل من الفئات الأقل كثافة، وذلك بفضل الجذور العميقة أو التكيفات البيولوجية التي تساعد على الاحتفاظ بالرطوبة.

في فصل الصيف، حافظت فئة الكثافة العالية على ثبات ملحوظ في المساحة، حيث استقرت عند نحو (2359 كم<sup>2</sup>) بنسبة (9.68%) خلال كل السنوات، على الرغم من الظروف المناخية القاسية والجفاف الممتد. ويعزى هذا الثبات إلى أن المناطق التي تنتمي لهذه الفئة غالباً ما تكون محصورة في مناطق ري موجهة أو ذات مصادر مائية دائمة، مثل الأراضي الزراعية المروية أو البساتين، ما يسمح باستمرار وجود غطاء نباتي كثيف حتى في أصعب الظروف المناخية.

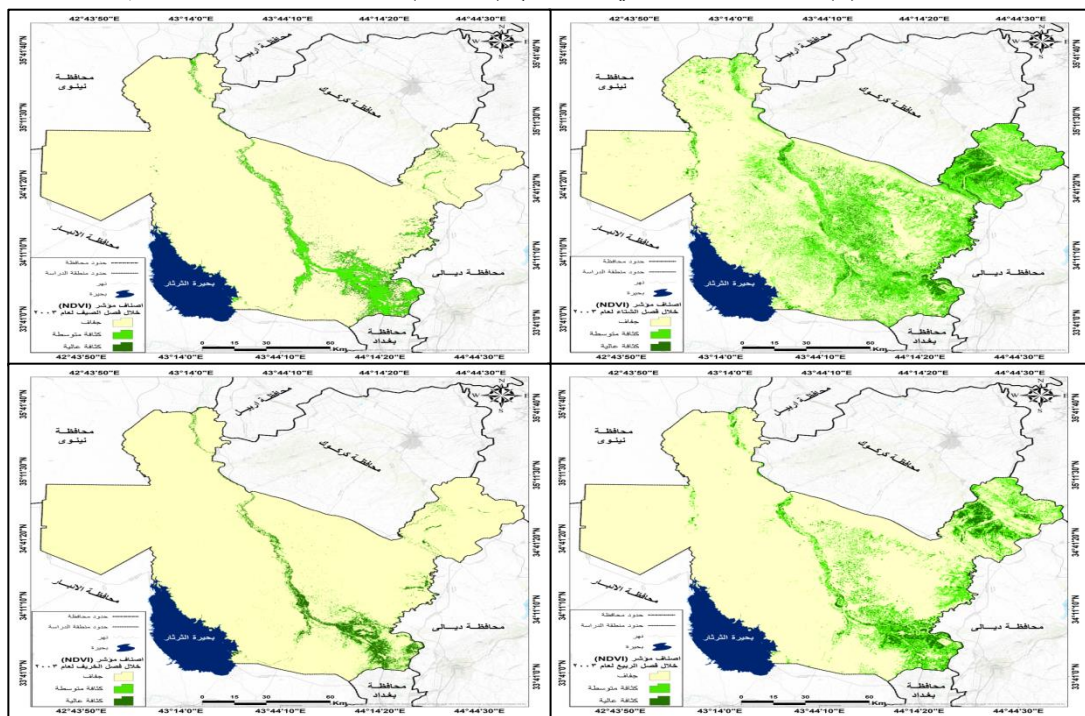
أما في فصل الخريف، فقد بقيت مساحة الكثافة العالية مستقرة أيضاً تقريباً عند (3358 كم<sup>2</sup>) بنسبة (13.77%) عبر السنوات، مما يعكس دور الري وأنظمة إدارة المياه في دعم الغطاء النباتي الكثيف خلال فترة انتقالية بين الصيف والشتاء. يعكس استقرار فئة الكثافة العالية في محافظة صلاح الدين تحدياً وحالة من التكيف النسبي للنباتات ذات الكثافة العالية مع التغيرات المناخية. ويبرز دور التدخلات البشرية، مثل الري وإدارة الموارد المائية، في الحفاظ على هذه الفئة مقارنة بالفئات الأخرى التي تعاني من انخفاضات أكبر. ومع ذلك، فإن التهديدات المستقبلية للجفاف والتغير المناخي تتطلب خطاً استراتيجياً لتعزيز مقاومة هذه الفئة وضمان استدامتها. كما موضح في الخرائط 2-5.

خريطة (2) مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال الفصول المختلفة لعام 1993



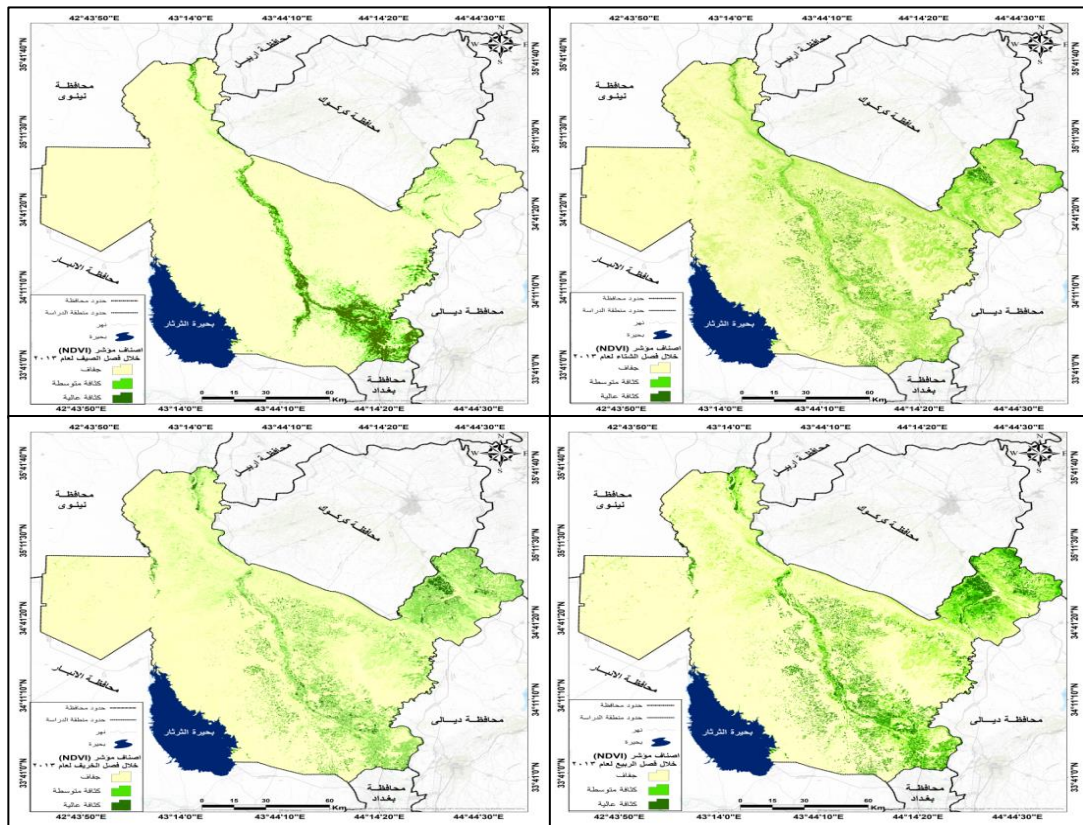
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (NDVI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

خريطة (3) مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال الفصول المختلفة لعام 2003



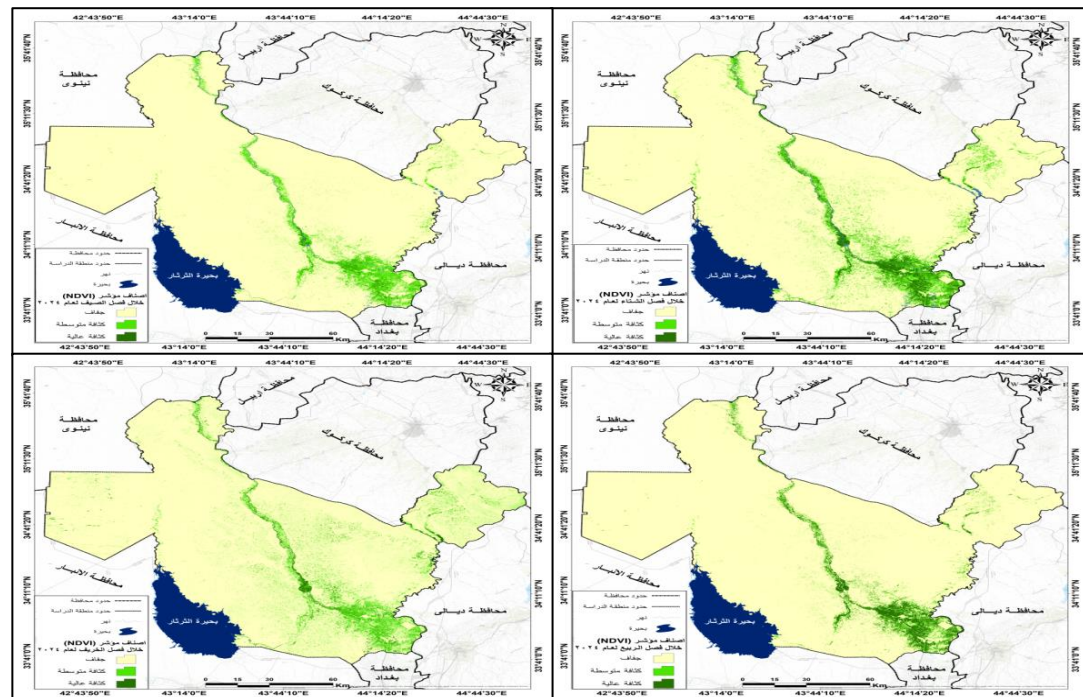
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (NDVI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

خريطة (4) مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال الفصول المختلفة لعام 2013



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (NDVI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

خريطة (5) مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال الفصول المختلفة لعام 2024



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (NDVI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (1) مساحة ونسب المئوية لمؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI)

2024		2013		2003		1993		السنة	الفصل
%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>		
48.44	11799.88	45.14	11001.37	40.22	9799.56	36.95	8999.87	جفاف	فصل الشتاء
29.56	7200.31	32.85	7999.62	36.14	8800.45	38.99	9501.23	كثافة متوسطة	
17.9	4358.62	22.01	5357.82	23.64	5758.80	24.06	5857.71	كثافة عالية	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
32.85	7999.89	29.56	7200.30	26.69	6500.22	24.64	6000.44	جفاف	فصل الربيع
31.61	7699.88	34.08	8299.91	36.14	8799.88	38.99	9499.65	كثافة متوسطة	
27.34	6659.04	28.15	6858.60	29	7058.71	28.15	6858.72	كثافة عالية	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
63.64	15499.66	61.57	14999.77	59.55	14499.55	57.46	13999.87	جفاف	فصل الصيف
22.58	5499.55	24.64	5999.88	26.69	6499.88	28.74	7000.33	كثافة متوسطة	
9.68	2359.60	9.68	2359.16	9.68	2359.38	9.68	2358.61	كثافة عالية	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
59.15	14400.04	57.06	13900.12	55	13400.33	53.39	12999.76	جفاف	فصل الخريف
26.68	6500.33	29.15	7099.99	31.2	7600.21	32.85	7999.78	كثافة متوسطة	
13.77	3358.44	13.79	3358.70	13.80	3358.27	13.78	3359.27	كثافة عالية	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (1)(2)(3)(4).

## 2.2 . مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (Vegetation Health Index – VHI):

يعد مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي من المؤشرات المركبة المتقدمة في رصد الجفاف، لأنه ينطلق من فهم أعمق لطبيعة الجفاف بوصفه ظاهرة ناتجة عن تداخل الإجهاد المائي والإجهاد الحراري معاً، لا مجرد نقص في الأمطار. فالنبات لا يتأثر فقط بقلة الرطوبة في التربة، بل يتأثر أيضاً بارتفاع درجات الحرارة التي تقلل كفاءة التبخر-النتح وتسرع فقدان الماء، ولذلك جاء VHI ليعكس الاستجابة الفعلية للغطاء النباتي لهذه الظروف مجتمعة. يقوم هذا المؤشر على دمج بعدين رئيسيين هما حالة الغطاء النباتي من حيث الرطوبة، وحالته من حيث الإجهاد الحراري، مستفيداً من بيانات الاستشعار عن بعد طويلة الأمد لضمان المقارنة الزمنية والمكانية الدقيقة. (Anyamba, E., Tucker, C.J., “، 2001, pp. 3057–3074).

يعتمد البعد الأول على (Vegetation Condition Index :VCI)، البعد الرطوبي للجفاف، وهو مصمم لقياس مدى تأثير النشاط الحيوي للنبات بنقص الرطوبة مقارنةً بحدوده الطبيعية التاريخية. يعتمد VCI على مؤشر NDVI، لكنه لا يكتفي بالقيمة المطلقة له، بل يقوم بتطبيعها زمنياً عبر مقارنتها بأعلى وأدنى قيم مسجلة في السلسلة الزمنية نفسها. هذا الأسلوب يجعل VCI أكثر حساسية للجفاف الحقيقي وأقل تأثراً بالفروقات المكانية الثابتة مثل نوع التربة أو طبيعة الغطاء النباتي. الفائدة الأساسية لـ VCI داخل مؤشر VHI أنه يكشف الإجهاد المائي المباشر، أي الحالات التي ينخفض فيها نمو النبات بسبب شح الماء، ويحدد ما إذا كان التراجع في الغطاء النباتي ناتجاً عن ظروف مناخية غير اعتيادية أم مجرد تذبذب موسمي طبيعي. من دون VCI يصبح مؤشر VHI أعمى عن البعد الهيدرولوجي للجفاف، ويخسر قدرته على ربط تدهور الغطاء النباتي بنقص الرطوبة فعلياً. (Vicente-Serrano. 7, 2010, pp. 1696–1718).

$$VCI = \frac{jNDVI \min - NDVI}{NDVI \min - NDVI \max} \times 100$$

حيث أن :

NDVI<sub>j</sub> : قيمة NDVI في سنة أو موسم معين.

NDVI<sub>min</sub> : أقل قيمة NDVI مسجلة خلال السلسلة الزمنية.

NDVI<sub>max</sub> : أعلى قيمة NDVI مسجلة خلال السلسلة الزمنية.

أما البعد الثاني فيتمثل في مؤشر الحالة الحرارية (TCI (Temperature Condition Index) ، فيمثل البعد الحراري للجفاف، ويعتمد على درجة حرارة سطح الأرض باعتبارها مؤشراً فيزيائياً مباشراً على حالة النبات المائية. فعندما تتوفر الرطوبة، يستخدم النبات جزءاً كبيراً من الطاقة الحرارية في عملية التبخر-التنح، مما يخفض درجة حرارة سطحه، بينما يؤدي نقص الماء إلى توقف هذه العملية وارتفاع درجة حرارة النبات. هنا تكمن أهمية TCI ، إذ إنه يكشف حالات الإجهاد الحراري التي قد لا تظهر بوضوح في مؤشرات الغطاء النباتي وحدها، خاصة في المراحل المبكرة للجفاف أو في البيئات ذات الغطاء النباتي الكثيف. دوره داخل VHI هو تصحيح الصورة التي يقدمها VCI ، والتنبيه إلى أن النبات قد يكون في حالة ضغط حراري شديد حتى لو لم ينخفض NDVI بعد بشكل واضح (Wang, L., Qu, J.J., (2007, pp. 182–196). “NMDI).

$$TCI = \frac{jLST \max - LST}{\min LST \max - LST} \times 100$$

حيث أن :

LST<sub>j</sub> : درجة حرارة سطح الأرض في سنة أو موسم معين.

LST<sub>min</sub> : أدنى درجة حرارة سطح مسجلة في السلسلة الزمنية.

LST<sub>max</sub> : أعلى درجة حرارة سطح مسجلة في السلسلة الزمنية.

عند دمج مؤشري حالة الغطاء النباتي (VCI) والحالة الحرارية (TCI) في مؤشر مركب واحد هو مؤشر حالة الغطاء النباتي (VHI)، تتجلى القيمة التفسيرية الحقيقية لهذا المؤشر، إذ يتيح هذا الدمج فصلاً منهجياً دقيقاً بين ثلاثة أنماط رئيسية من التدهور النباتي التي غالباً ما تختلط في التحليل الأحادي، وهي: التدهور الناتج عن نقص الرطوبة فقط، أو التدهور المرتبط بارتفاع درجات الحرارة، أو التدهور المركب الناتج عن تزامن الإجهادين المائي والحراري معاً، والذي يعد الشكل الأشد خطورة من ظاهرة الجفاف. ويظهر هذا النهج أن الاعتماد على مؤشر VCI بمفرده قد يؤدي في بعض الحالات إلى المبالغة في تقدير شدة الجفاف، لا سيما في المناطق الزراعية المتأثرة بالممارسات البشرية أو بالتغيرات الموسمية في الأنماط الزراعية، في حين أن استخدام مؤشر TCI بشكل منفرد قد يفسر الارتفاع في درجة الحرارة السطحية على أنه حالة جفاف، حتى في ظل توفر رطوبة كافية في التربة. ومن ثم، فإن الجمع بين المؤشرين ضمن إطار مؤشر VHI يساهم في تقليل هذه الانحرافات التفسيرية، ويوفر تقديراً أكثر توازناً وواقعية يعكس الحالة البيئية الفعلية للغطاء النباتي، وتبرز كفاءة مؤشر VHI بصورة خاصة في التحليلين الزماني والمكاني للجفاف، إذ يتيح تتبع تطور شدته عبر الفصول والسنوات، والكشف عن أنماط الجفاف المزمن أو المتكرر، فضلاً عن تحديد المناطق الأكثر هشاشة وتعرضاً للإجهاد البيئي، إذ يتم حسابها وفق المعادلة الآتية (Sandholt, I., Rasmussen, , 2002, pp. 213–224).

$$VHI = a \times VCI + (a - 1) \times TCI$$

و غالباً ما تستخدم قيمة وزن متساوية:

$$a = 0.5$$

فتصبح المعادلة (Chen, A., et al., “2023, p 121):

$$VHI = 0.5 \times VCI + 0.5 \times TCI$$

إذ تعد قيم VHI أداة كمية واضحة في تصنيف شدة الجفاف، حيث تشير القيم الأقل من (40) إلى ظروف جفاف متفاوتة الشدة، وتمثل القيم التي تقل عن (20) حالات جفاف شديد جداً، بينما تعكس القيم الواقعة ضمن المدى (40–60) ظروفاً طبيعية أو شبه طبيعية، في حين تدل القيم الأعلى من ذلك على تمتع الغطاء النباتي بحالة صحية جيدة وظروف بيئية ملائمة. وبذلك، يرسخ مؤشر VHI مكانته بوصفه مؤشراً مركباً عالي الكفاءة، قادراً على تقديم قراءة شاملة ودقيقة لديناميكية الجفاف، بعيداً عن التبسيط أو التفسير الأحادي لهذه الظاهرة المعقدة

1- **فئة الإجهاد النباتي الشديد:** شهدت هذه الفئة توسعاً مستمراً في المساحة والنسبة المئوية، وهو مؤشر قوي على تفاقم ظروف الجفاف والإجهاد المائي. في فصل الشتاء، ارتفعت المساحة من (3653.82 كم<sup>2</sup>) بنسبة (15%) في عام 1993 إلى (5481.76 كم<sup>2</sup>) بنسبة (22.5%) في 2024. يعزى هذا الارتفاع إلى تراجع كميات الأمطار الشتوية وارتفاع متوسط درجات الحرارة، مما قلل من توافر الماء في التربة وأدى إلى تفاقم الإجهاد على النباتات، خاصة في المناطق التي تعتمد بشكل كبير على الهطول الطبيعي. كما أن زيادة معدلات التبخر خلال الشتاء تلعب دوراً في نقص الرطوبة المتاحة للنباتات. في فصل الربيع اتسعت هذه الفئة من (3044.85 كم<sup>2</sup>) بنسبة (12.5%) إلى (4871.76 كم<sup>2</sup>) بنسبة (20%) عبر الفترة نفسها. هذا يفسر بتأخر بداية الأمطار الربيعية وتذبذبها، إلى جانب حدوث موجات حرارة مبكرة تزيد من تبخر الرطوبة وتقلل من فترة النمو المثلى للنباتات، مما يجعلها أكثر عرضة للإجهاد.

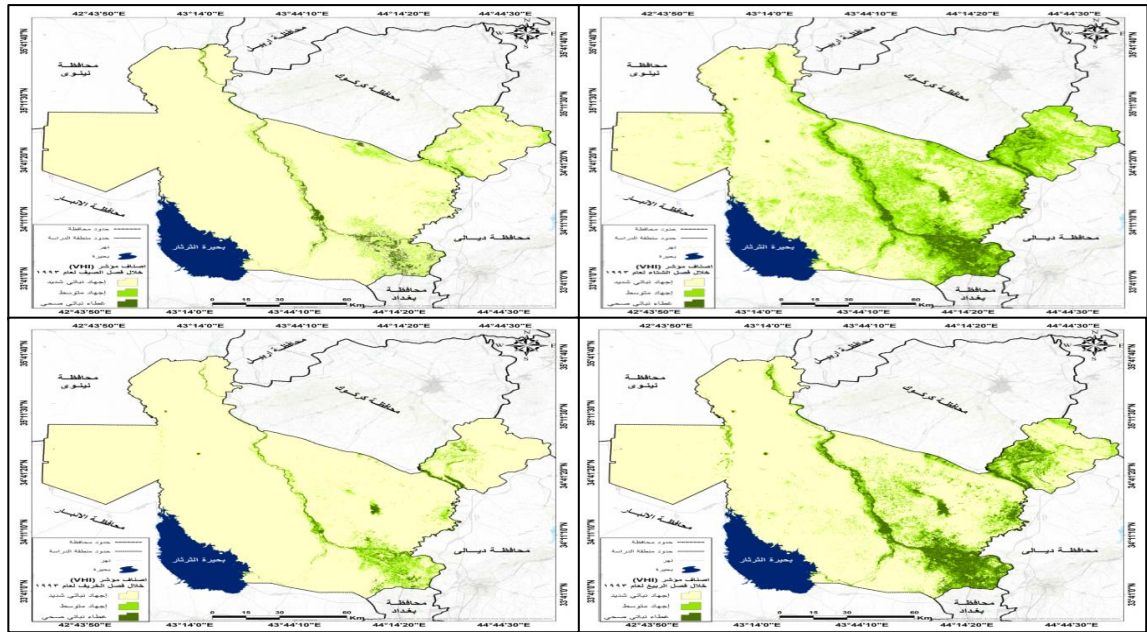
أما في الصيف، فقد سجلت هذه الفئة أعلى ارتفاع، حيث ازداد التأثير من (12179.41 كم<sup>2</sup>) بنسبة (50%) عام 1993 إلى (13797.38 كم<sup>2</sup>) بنسبة (56.7%) في 2024. يشير هذا إلى أن الصيف هو الموسم الأكثر قسوة على الغطاء النباتي في المحافظة، بسبب ارتفاع درجات الحرارة الشديدة، وقلة الأمطار شبه التامة، مما يزيد من إجهاد النبات بسبب نقص الماء وارتفاع معدلات التبخر. في الخريف، استمرت المساحات المتأثرة بالإجهاد الشديد في التوسع، من (9754.04 كم<sup>2</sup>) بنسبة (40%) إلى (10908.53 كم<sup>2</sup>) بنسبة (44.8%). هذا يعود إلى استمرار درجات الحرارة المرتفعة وتأخر الأمطار، ما يؤدي إلى بطء في تعافي النباتات بعد قساوة الصيف.

2- **فئة الإجهاد النباتي المتوسط:** تظهر هذه الفئة اتجاهاً معاكساً نوعاً ما، حيث تقلصت مساحتها تدريجياً في جميع الفصول، مما يشير إلى انتقال جزء كبير من مناطق الإجهاد المتوسط إلى حالة الإجهاد الشديد. ففي الشتاء، انخفضت المساحة من (8535.88 كم<sup>2</sup>) بنسبة (35%) عام 1993 إلى (7065.88 كم<sup>2</sup>) بنسبة (29%) في 2024. يفسر هذا التراجع بتزايد شدة الجفاف والعوامل المناخية التي تزيد الضغط على النباتات، مما يدفعها من حالة إجهاد معتدلة إلى حالة حرجة.

في الربيع، انخفضت المساحات من (8535.88 كم<sup>2</sup>) إلى (7065.88 كم<sup>2</sup>) أيضاً، تعبيراً عن نفس الاتجاه مع زيادة قسوة الظروف المناخية. وفي الصيف، كان الانخفاض أكثر وضوحاً من (7317.64 كم<sup>2</sup>) بنسبة (30%) إلى (5480.85 كم<sup>2</sup>) بنسبة (22.5%)، وهو دليل على أن الصيف يشكل موسم ضغط شديد على الغطاء النباتي، مع انتقال المزيد من المناطق إلى حالة إجهاد شديد. في حين فصل الخريف، انخفضت هذه الفئة من (7317.64 كم<sup>2</sup>) بنسبة (30%) إلى (5480.85 كم<sup>2</sup>) بنسبة (22.5%)، مما يشير إلى استمرار الضغط وتأخر التعافي للنباتات.

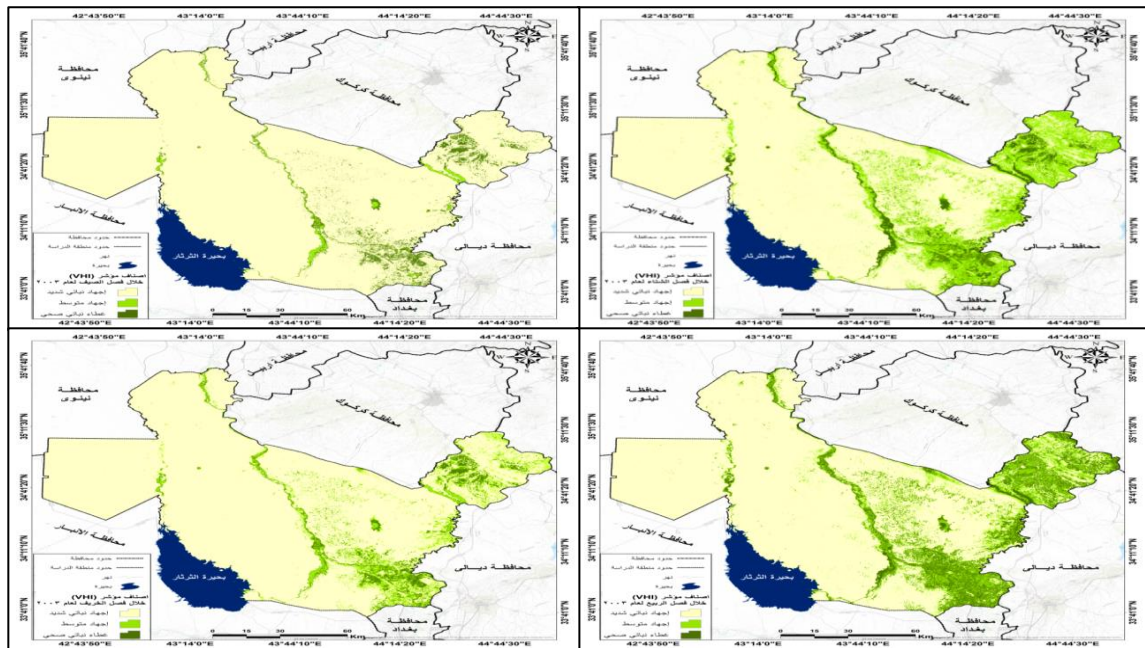
3- **فئة الغطاء النباتي الصحي:** رغم التحديات، حافظت هذه الفئة على ثبات نسبي في المساحات، مع بعض التقلبات الطفيفة التي تعكس قدرة الغطاء النباتي على مقاومة الظروف الصعبة أو الاستفادة من مصادر المياه المتاحة. في الشتاء، ظلت المساحات بين (12969.11 كم<sup>2</sup>) بنسبة (50%) في 1993 إلى (14111.17 كم<sup>2</sup>) بنسبة (48.5%) في 2024، مما يشير إلى قدرة بعض المناطق على الحفاظ على غطاء نباتي جيد، ربما نتيجة لري المناطق الزراعية أو وجود مصادر مياه جوفية. أما في فصل الربيع، تراوحت المساحات بين (12878.08 كم<sup>2</sup>) و(13421.17 كم<sup>2</sup>) مع نسب حوالي (51%-52.5%)، مما يدل على استقرار نسبي للغطاء النباتي خلال فترة النمو. أما في الصيف، رغم الظروف القاسية، بقيت المساحات ثابتة تقريباً عند نحو (5000 كم<sup>2</sup>) بنسبة (20%)، وهو مؤشر على وجود مناطق مزروعة ومروية تستطيع الصمود. وفي الخريف، شهدت المساحات تحسناً طفيفاً من (7287.13 كم<sup>2</sup>) بنسبة (30%) إلى (7970.4 كم<sup>2</sup>) بنسبة (32.7%)، نتيجة لتحسن طفيف في الظروف المناخية وتوفر مياه الري. كما في الخرائط 6-9.

خريطة (6) مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (VHI) خلال الفصول المختلفة لعام 1993



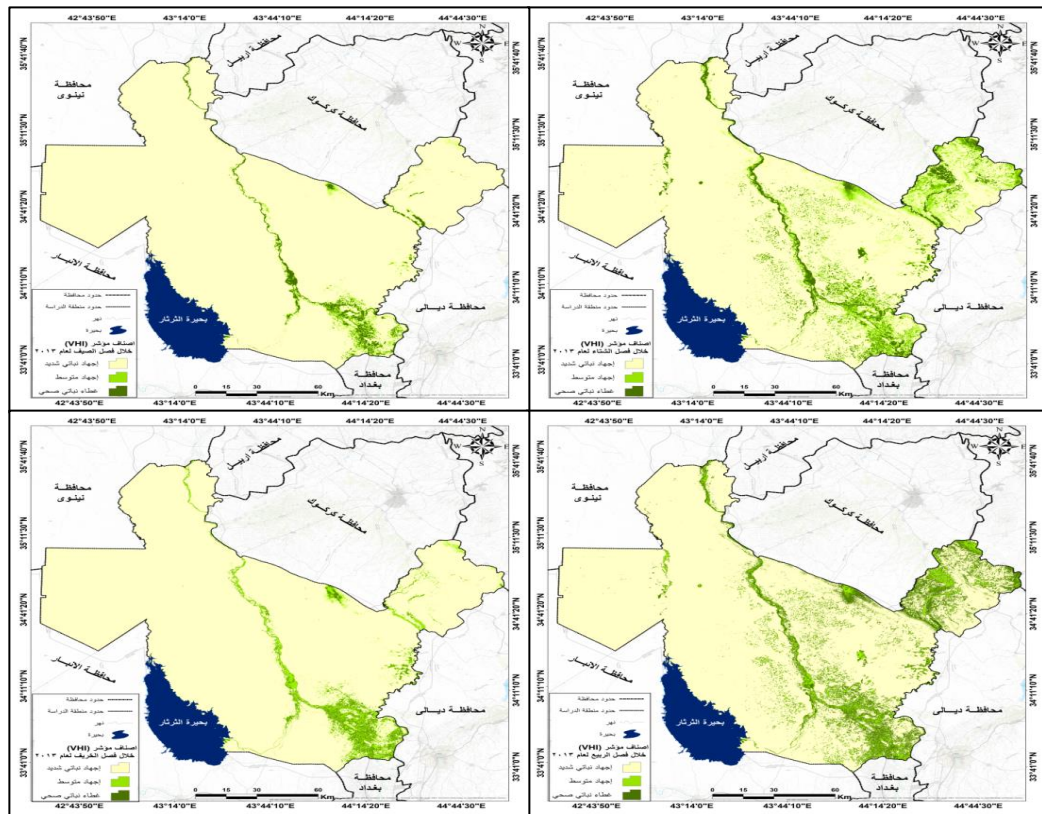
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (VHI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

### خريطة (7) مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (VHI) خلال الفصول المختلفة لعام 2003



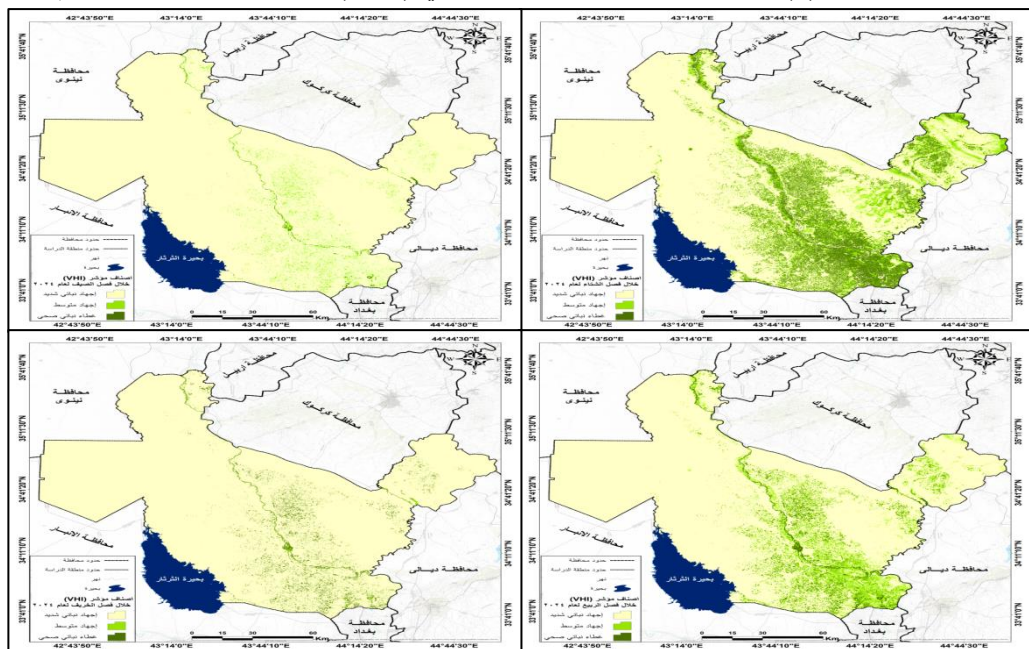
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (VHI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

خريطة (8) مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (VHI) خلال الفصول المختلفة لعام 2013



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (VHI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

خريطة (9) مؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (VHI) خلال الفصول المختلفة لعام 2024



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مؤشر (VHI)، مخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (2) مساحة ونسب المؤشر لمؤشر الحالة الصحية للغطاء النباتي (VHI)

2024		2013		2003		1993		السنة	الفصل
%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>	%	المساحة كم <sup>2</sup>		
22.5	5481.76	20	4871.76	17.5	4267.82	15	3653.82	إجهاد نباتي شديد	فصل الشتاء
29	7065.88	31	7555.88	33	8045.88	35	8535.88	إجهاد متوسط	
48.5	14111.17	49	13931.17	49.5	13245.11	50	12969.11	غطاء نباتي صحي	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
20	4871.76	17.5	4267.82	15	3653.82	12.5	3044.85	إجهاد نباتي شديد	فصل الربيع
29	7065.88	31	7555.88	33	8045.88	35	8535.88	إجهاد متوسط	
51	13421.17	51.5	13135.11	52	13059.11	52.5	12878.08	غطاء نباتي صحي	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
56.7	13797.38	54.4	13258.39	52.2	12718.4	50	12179.41	إجهاد نباتي شديد	فصل الصيف
22.5	5480.85	25	6092.2	27.5	6703.54	30	7317.64	إجهاد متوسط	
20.8	5080.58	20.6	5008.22	20.3	4936.87	20	4861.76	غطاء نباتي صحي	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	
44.8	10908.53	43.2	10523.7	41.6	10138.87	40	9754.04	إجهاد نباتي شديد	فصل الخريف
22.5	5480.85	25	6092.2	27.5	6703.54	30	7317.64	إجهاد متوسط	
32.7	7970.4	31.8	7745.31	30.9	7516.4	30	7287.13	غطاء نباتي صحي	
100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	100	24358.81	المجموع	

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة (5-8).

### الاستنتاجات

- 1- أظهرت المقارنة بين عامي 1993 و 2024 أن تغيرات مؤشرات الغطاء النباتي أصبحت أكثر حدة على مر الزمن، مما يشير إلى أن الضغوط المناخية الحديثة كارتفاع درجات الحرارة وتذبذب الأمطار كانت أشد تأثيراً من الفترات السابقة.
- 2- أوضح مؤشر حالة الغطاء النباتي زيادة كبيرة في مساحات الإجهاد النباتي الشديد، بينما تقلص الغطاء النباتي الصحي، مما يدل على أن قدرة النباتات على التكيف مع الظروف المناخية الحالية ضعفت.
- 3- تدل الانخفاضات في مستويات الغطاء النباتي الصحي على أن الجفاف أثر ليس فقط على كمية الغطاء، بل أيضاً على نوعيته ووظيفته البيئية، مما يعكس سلبيًا على الإنتاج الزراعي والتنوع البيولوجي.

### التوصيات

- 1- اعتماد مؤشرات الجفاف المستخدمة في هذه الدراسة (NDVI)، VHI، (كأدوات رسمية ضمن برامج الرصد المناخي والزراعي في محافظة صلاح الدين، وربطها بجهات التخطيط وصنع القرار.
- 2- إنشاء نظام إنذار مبكر للجفاف يعتمد على التغيرات الاتجاهية لمؤشرات الجفاف، ولا سيما NDVI و SMI، بهدف تقليل المخاطر الزراعية والاستجابة المبكرة لمواسم الجفاف.
- 3- توجيه السياسات الزراعية نحو إعادة تنظيم استخدامات الأراضي في المناطق التي أظهرت توسعاً في المستويات الجافة، والحد من الرعي الجائر والتحويل غير المنظم للأراضي الزراعية.

### References

1. S. P. Darlina, B. Sasmito, and B. D. Yuwono, "Analisis Fenomena Urban Heat Island Serta Mitigasinya (Studi Kasus : Kota Semarang)," J. Geod. Undip, vol. 4, no. April, pp. 86–94, 2015.

2. Kogan, F., “Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection,” *Advances in Space Research*, vol. 15, no. 11, 1995, pp. 91–100,.
3. Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., “Vegetation and drought monitoring using NDVI anomaly,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no. 3, 2002, pp. 487–507.
4. Vicente-Serrano, S.M. et al., “A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: SPEI,” *Journal of Climate*, vol. 23, no. 7, 2010, pp. 1696–1718,.
5. Wang, L., Qu, J.J., “NMDI — Normalized Multi-band Drought Index based on remote sensing,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 105, 2007, pp. 182–196,.
6. Inge Sandholt, J. et al., “A simple interpretation of the surface temperature/NDVI space for assessment of surface moisture status,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 79, 2002, pp. 213–224,.
7. Anyamba, E., Tucker, C.J., “Analysis of NDVI anomalies for drought detection,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, no. 15, 2001, pp. 3057–3074,.
8. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., “A multiscalar drought index sensitive to global warming: SPEI,” *Journal of Climate*, vol. 23, no. 7, 2010, pp. 1696–1718.
9. Wang, L., Qu, J.J., “NMDI — Normalized Multi-band Drought Index based on remote sensing,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 105, 2007, pp. 182–196.
10. Sandholt, I., Rasmussen, K., Andersen, J., “A simple interpretation of the surface temperature/NDVI space for assessment of surface moisture status,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 79, 2002, pp. 213–224.
11. Chen, A., et al., “Temperature vegetation dryness index (TVDI) for drought monitoring: Accuracy and applicability evaluation,” *Scientific Reports (PMC article)*, 2023, p 121.