



نمذجة العلاقة الترابطية بين المناخ والغطاء النباتي في قضاء العبور باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي  
ونظم المعلومات الجغرافية للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٥).

أ.د. محمد موسى حمادي الشعباني أ.م.د. علي سليمان ارزيك الكربولي أ.م.د. صلاح عثمان عدنان العاني  
جامعة الانبار/ كلية الآداب/ قسم الجغرافية المديرية العامة لتربية الانبار المديرية العامة لتربية الانبار  
[Dr.salah.ALani@gmail.com](mailto:Dr.salah.ALani@gmail.com) [alisu8720@gmail.com](mailto:alisu8720@gmail.com) [mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq](mailto:mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq)

Modeling the Correlative Relationship Between Climate and Vegetation Cover in  
Al-Obour District Using Artificial Intelligence and GIS Techniques (2000–2025)

Prof. Dr. Mohammed Mousa Hammadi Al-Shaibani  
University of Anbar / College of Arts / Department of Geography  
[mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq](mailto:mohammad.mussa@uoanbar.edu.iq)

Asst. Prof. Dr. Ali Suleiman Erzik Al-Karbouli  
Education General  
Directorate of Anbar Education  
[alisu8720@gmail.com](mailto:alisu8720@gmail.com)

Asst. Prof. Dr. Salah Othman Abdel-Ani  
Education General  
Directorate of Anbar Education  
[Dr.salah.ALani@gmail.com](mailto:Dr.salah.ALani@gmail.com)

المخلص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل ونمذجة العلاقة الترابطية بين المتغيرات المناخية ودينامية الغطاء النباتي في قضاء العبور للمدة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، بالاعتماد على بيانات الاستشعار عن بُعد ومنصة Google Earth Engine لتوظيف مجموعة من المؤشرات الحيوية والمناخية في بيئة جافة-نهريّة شديدة الحساسية. وقد كشف تحليل مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) عن اتساع في نطاق القيم؛ إذ ارتفع الحد الأعلى من (٠,٥٣) عام ٢٠٠٠ إلى (٠,٧٠) عام ٢٠٢٥، بينما سجل مؤشر الرطوبة النباتية (NDMI) تزايداً في التطرف القيمي وصل إلى (-١,٠٠) في حده الأدنى، بالتزامن مع توظيف مؤشري (SAVI) و (GNDVI) لرصد دينامية النمو بين الحزام النهري والهضبة الصحراوية، وعلى الصعيد المناخي رصدت الدراسة ارتفاعاً ملموساً في حرارة سطح الأرض (LST) من (٢١,٣ م) إلى ما يزيد على (٢٤,٣ م)، في ظل استقرار معدلات الأمطار عند مستويات حرجة تتراوح بين (١٢٣-١٤٨ ملم) وانخفاض ملحوظ في الرطوبة النسبية، وهو ما انعكس في نتائج مؤشر صحة الغطاء النباتي (VHI) التي أظهرت تزايد الإجهاد المناخي وتفاوت القدرة على الصمود البيئي. وتؤكد المقارنة الزمنية أن التحسن النباتي كان موضعياً ومحصوراً بالمناطق المروية، مقابل اتساع مظاهر الجفاف في الهضبة، مما يثبت أن قضاء العبور يمثل بيئة هيدرولوجية تعتمد على المياه السطحية كعامل حاسم في استدامة الغطاء النباتي ومواجهة الضغوط الحرارية المتصاعدة، في ظل علاقة غير متوازنة يفرض فيها المناخ ضغطاً مستمراً بالحرارة والجفاف.

الكلمات المفتاحية: الغطاء النباتي، قضاء العبور، الاستشعار عن بُعد، التغير المناخي، الإجهاد البيئي، الاتجاه الزمني.

**Abstract:**

This research aims to analyze and model the correlative relationship between climatic variables and vegetation dynamics in the Al-Obour district for the period (2000–2025), utilizing remote sensing data and the Google Earth Engine platform to employ a suite of biophysical and climatic indices in a highly sensitive arid-fluvial environment. Analysis of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) revealed an expansion in the range of values, with the upper limit rising from (0.53) in 2000 to (0.70) in 2025. Conversely, the Normalized Difference Moisture Index (NDMI) exhibited increased extreme values, reaching a minimum of (-1.00), while the (SAVI) and (GNDVI) indices were utilized to monitor growth dynamics between the fluvial belt and the desert plateau. Climatically, the study recorded a significant increase in Land Surface Temperature (LST) from (21.3°C) to over (24.3°C), amid stable but critical annual rainfall rates (123–148 mm) and a marked decline in relative humidity. These shifts were reflected in the Vegetation Health Index (VHI) results, which indicated escalating climatic stress and varying ecological resilience. The temporal comparison confirms that vegetation improvement was localized and confined to irrigated areas, contrasted by expanding aridity in the plateau. These findings prove that the Al-Obour district represents a hydrological environment reliant on surface water as a decisive factor for vegetation sustainability against mounting thermal pressures, within an imbalanced relationship where climate exerts continuous pressure through heat and aridity.

**Keywords:** Vegetation Cover, Al-Obour District, Remote Sensing, Climate Change, Environmental Stress, Temporal Trend.

**أولاً: المقدمة:**

يُعدّ الغطاء النباتي من أكثر مكّونات البيئة حساسية للتغيرات المناخية، إذ تعكس استجابته لدرجات الحرارة والهطول المطري والرطوبة الجوية حجم الاضطرابات المناخية، ولا سيّما في البيئات الجافة الهشّة. ويجسد قضاء العبور هذه الهشاشة بوضوح، لكونه منطقة انتقالية تجمع بين النظم الزراعية النهرية على ضفاف الفرات والهضبة الغربية ذات الطابع الصحراوي المتأثرة بالجفاف. وقد شهدت العقود الأخيرة تصاعداً في مظاهر التغير المناخي تتمثل في الارتفاع الحراري وتذبذب الأمطار واتساع موجات الجفاف، ويُعدّ العراق من أكثر الدول تعرضاً لهذه المخاطر، مما ينعكس مباشرة على الغطاء النباتي بوصفه المؤشر الأكثر دقة في تتبع أثر المناخ عبر الزمن. ومع تطور تقانات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية ومنصّات التحليل السحابي مثل Google Earth Engine، أصبح بالإمكان رصد التغيرات المكانية-الزمانية بدقة عالية وربط المؤشرات النباتية والمناخية ضمن إطار تحليلي متكامل. وانطلاقاً من ذلك، يهدف هذا البحث إلى نمذجة العلاقة بين المناخ والغطاء النباتي في قضاء العبور خلال المدة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، بالاعتماد على التحليل الجغرافي المكاني والذكاء الاصطناعي، سعياً للانتقال من الجغرافيا الوصفية إلى الجغرافيا التنبؤية القادرة على تفسير الواقع واستشراف مساراته المستقبلية.

١- مشكلة البحث: تتمثل مشكلة البحث في افتقار قضاء العبور، بوصفه إقليمًا هشًا بيئيًا، إلى دراسات كمية نمذجية توظف التكامل بين بيانات الاستشعار عن بُعد وتقنيات الذكاء الاصطناعي لفهم العلاقة المعقدة بين المناخ والغطاء النباتي. وعلى الرغم من توافر السلاسل الزمنية للمؤشرات المناخية والنباتية، ما تزال طبيعة الاستجابة

النباتية لعناصر المناخ الرئيسية (الحرارة، الأمطار، الرطوبة النسبية)، واتجاهها الزمني خلال المدة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، غير ممثلة بنماذج رقمية دقيقة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

٢- **فرضية البحث:** انطلاقاً من هذه المشكلة، تقترض الدراسة وجود علاقة ترابطية ذات دلالة إحصائية بين المتغيرات المناخية ودينامية الغطاء النباتي في قضاء العبور، بحيث يؤدي تصاعد الإجهاد الحراري وتزايد العجز المائي إلى تراجع كفاءة المؤشرات الحيوية للنبات. كما تقترض تباين الاستجابة النباتية مكانياً بين النظم النهرية والصحراوية، وتؤكد إمكانية نماذج الذكاء الاصطناعي على تمثيل هذه العلاقات غير الخطية ونمذجتها بدقة تنبؤية تفوق الأساليب الإحصائية التقليدية.

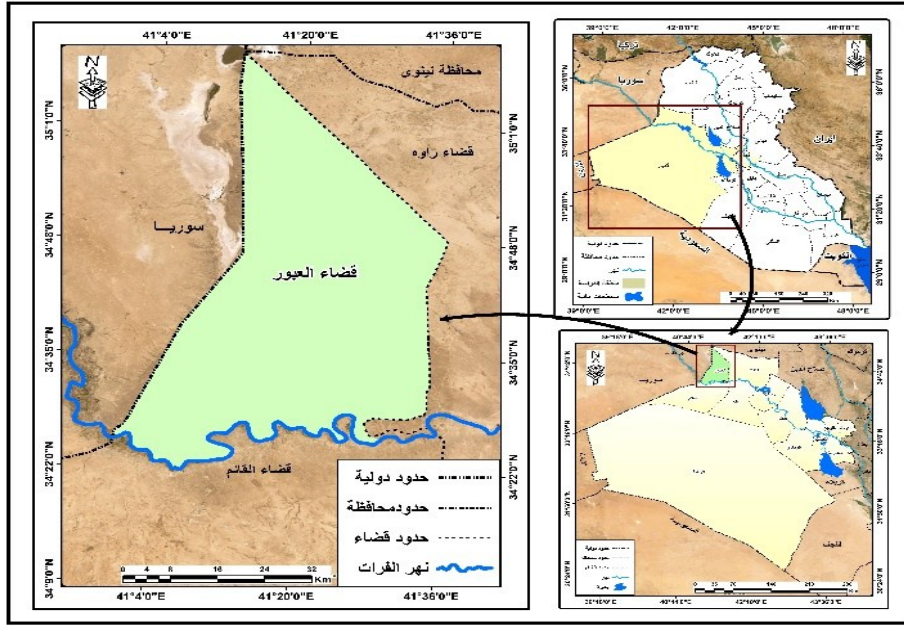
٣- **أهمية البحث:** تكمن أهمية هذا البحث في تحليله الكمي للعلاقة بين المناخ والغطاء النباتي في قضاء العبور، بالاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية، للكشف عن دينامية التفاعل بين عناصر المناخ ومؤشرات الغطاء النباتي وصحته. وتستمد الدراسة قيمتها من توظيف منصات التحليل السحابي مثل Google Earth Engine للانتقال من التوصيف الجغرافي الساكن إلى التحليل التنبؤي عبر سلسلة زمنية طويلة، بما يوفر فهماً علمياً داعماً لإدارة الموارد الطبيعية والتكيف مع التغير المناخي في البيئات الهشة.

٤- **منهجية البحث:** اعتمد البحث المنهج الجغرافي التحليلي القائم على الربط بين المتغيرات المناخية والاستجابة النباتية ضمن إطارين متكاملين: إطار زمني طويل يمتد للفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، وإطار مكاني دقيق يقتصر على حدود قضاء العبور. ومن الناحية التقنية، جرى توظيف منصة Google Earth Engine بوصفها بيئة تحليل مكانية-زمانية متقدمة، تتيح حساب وتحليل المؤشرات النباتية والمناخية بكفاءة عالية، مع الاستفادة من خوارزميات الذكاء الاصطناعي الجغرافي في نمذجة العلاقات وتحليل اتجاهاتها.

#### ٥- **موقع منطقة البحث:**

يقع قضاء العبور في شمال غرب محافظة الأنبار على الضفة اليسرى لنهر الفرات، بين خطي طول (٤٠.٩° - ٤١.٤° شرقاً) ودائرتي عرض (٣٤.٣° - ٣٤.٨° شمالاً)، وتبلغ مساحته نحو (١٤٢٠ كم<sup>٢</sup>). يحده نهر الفرات وقضاء القائم جنوباً، والحدود السورية شمالاً وغرباً، وقضاء حديثة شرقاً، ما يجعله جزءاً من المثلث الحدودي الغربي للعراق ويمنحه أهمية استراتيجية وبيئية، كونه نقطة التقاء بين وادي الفرات الزراعي والهضبة الغربية الصحراوية الجافة.

خريطة (١) موقع منطقة البحث



المصدر: بالاعتماد على المرئية الفضائية DEM2007 باستخدام برنامج ARC GIS

## ثانياً: الخصائص الطبيعية لمنطقة البحث:

١- المناخ: يخضع قضاء العبور لمناخ جاف إلى شبه جاف، انتقالي بين مناخ الصحراء الغربية الجافة ومناخ وادي الفرات المعتدل نسبياً، ويتسم بتذبذب كبير في عناصره السنوية، ما يجعل الغطاء النباتي هشاً ومتقلباً. أظهرت بيانات (ERA5 و MODIS LST) للفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥) ارتفاع معدل درجات الحرارة السنوي من (٢٧,٩° إلى ٣٠,٨°) بزيادة قدرها (٢,٩°)، مما أثر بشكل واضح على طبيعة الغطاء النباتي. أما الأمطار، فقد تراوحت معدلاتها السنوية بين (٩٠-١٨٠ ملم)، موزعة على أشهر الشتاء (تشرين، الثاني، آذار)، إذ أظهرت بيانات (CHIRPS) تناقصاً بنحو (٨٠-١٠٠ ملم) خلال فترة البحث، مع تباين كبير بين السنوات، ما أدى إلى تقلبات في إنتاجية الغطاء النباتي تراوحت بين (٢٥٪) في الصيف و(٦٠٪) في الشتاء، مع انخفاض ملحوظ باتجاه الشمال الغربي بعيداً عن نهر الفرات. وتسود الرياح الشمالية الغربية الجافة معظم أشهر السنة، مسببة زيادة التبخر وتعرية التربة، بينما تنشط الرياح الجنوبية الغربية في الربيع محملة بالرطوبة والغبار. وتضافر هذه العوامل المناخية يجعل منطقة البحث ذات إجهاد حراري ومائي مرتفع، مما يفسر التراجع الكبير في مؤشر الغطاء النباتي خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥).

٢- التربة: تُعد تربة منطقة البحث نتاجاً للتفاعل المعقد بين المناخ والهيدرولوجيا والحيولوجيا في بيئة انتقالية تجمع بين ضفاف الفرات والهضبة الغربية، مما جعل خصائصها عاملاً حاسماً في تفسير التباين المكاني للغطاء النباتي. فبينما تبرز التربة الغرينية النهرية بمحاذاة الفرات كأكثر النظم قدرة على دعم النمو المروي بفضل خصوبتها العالية ونفاذيتها المثالية، وهو ما انعكس في ارتفاع قيم المؤشرات النباتية طيفياً وتوافق مع دراسة (Zhang et al., 2019)، تسيطر في المقابل التربة الرملية-الجبسية الفقيرة على الأجزاء الشمالية والغربية، وتتسم بضعف البنية وحساسية مفرطة تجاه الجفاف والتصحر، مما أدى لانخفاض قيم مؤشرات النبات لاسيما في مواسم الشح المطري كما أكد (Al-Ansari, 2020). أما المنخفضات الداخلية فتهمين عليها التربة الطينية السبخية المتدهورة التي تعيق ملوحتها العالية ونفاذيتها الضعيفة عملية الإنبات، مسجلةً قيم (NDVI)

سالبة أو قريبة من الصفر؛ وبذلك يتجسد التباين في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة بوصفه محدداً رئيساً للقدرة البيئية واستدامة الغطاء النباتي ضمن بيئة قضاء العبور الهشة.

٣- **الموارد المائية:** تتسم الموارد المائية في قضاء العبور بالندرة والهشاشة، إذ يعتمد الغطاء النباتي بشكل شبه كامل على نهر الفرات كمصدر رئيسي، تنتشر منه قنوات ري ترابية صغيرة تشكل شرايين الزراعة في المنطقة. وتوجد أيضاً آبار جوفية ضحلة (عمق ١٠-٢٥ م) تغذيها الطبقة الجوفية العليا المرتبطة بتكوينات الفرات الرسوبية، غير أن ملوحتها المرتفعة (١٢٠٠-٢٥٠٠ جزء بالمليون) تقلل من كفاءتها الزراعية وتجعلها مورداً تكميلياً. تعاني المنطقة عجزاً مائياً سنوياً متراكماً، إذ تفوق معدلات التبخر السنوي (٢٠٠٠-٢٢٠٠ ملم) كميات الأمطار بأكثر من عشرين ضعفاً، مما يؤدي إلى تبخر معظم المياه قبل الوصول إلى التربة. ينعكس هذا النقص بشكل مباشر على الغطاء النباتي، إذ تظهر التحليلات الفضائية تراجع المساحات الخضراء في السنوات الجافة بنسبة تصل إلى ٣٥٪ مقارنة بالسنوات الرطبة، مع تفاوت واضح بين المناطق القريبة من الفرات والممتدة نحو الهضبة الغربية. هكذا يصبح الماء في العبور عاملاً وجودياً يحدد القدرة البيئية للنبات، ويرسم حدود استجابته للتغير المناخي، ويكشف هشاشة النظام البيئي أمام الجفاف المتزايد.

### ثالثاً: تحليل نتائج التغير النباتي والمناخي في قضاء العبور (2000-2025):

تمثل المؤشرات النباتية لغة طيفية بصرية يعبر من خلالها الغطاء النباتي عن حالته البيئية، عندما تعجز العين البشرية عن إدراك التحولات الدقيقة. تكشف هذه المؤشرات قدرة النبات على التكيف مع المناخ، وتُظهر مقدار الضوء الممتص أو المنعكس وفقاً لصحة النبات ورطوبته وكثافة مكوناته الحيوية. وتُعد اليوم من أهم أدوات الجغرافيا البيئية الحديثة لارتباطها المباشر بالتمثيل الضوئي، الإجهاد المائي، وحيوية الكلوروفيل. فهي ليست مجرد حسابات رياضية، بل أدوات تفسيرية تمكّن من قراءة استجابة النبات للتغيرات المناخية وفهم دينامية البيئة في قضاء العبور، إذ تتفاعل الجيومورفولوجيا والتربة والمناخ والمياه مع الغطاء النباتي، وتكشف قيمها المتباينة مسار التغير البيئي في ظل تزايد الإجهاد المناخي.

١- **التحليل العلمي لتغير NDVI:** يعد مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) أهم المؤشرات الطيفية لقياس حيوية النبات وقوة التمثيل الضوئي، حيث تتراوح قيمه بين -١ و +١، فتشير القيم السالبة إلى أسطح غير نباتية، والقيم الموجبة المرتفعة إلى نباتات كثيفة ونشطة ضوئياً (حماد، ٢٠١٥: ص ٢٥). في بيئة العبور الجافة والمزدوجة (النهر-الصحراء)، يمثل هذا المؤشر أداة دقيقة لرصد استجابة الغطاء النباتي للظروف المناخية والمائية. وعن طريق تحليل الجدول (١) تظهر الفئات التالية:

### جدول (١): مقارنة تصنيف NDVI بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في منطقة البحث

الوصف البيئي المقارن	NDVI 2025	NDVI 2000
مياه، ظلال، مناطق منخفضة الانعكاس	٠,٠٢١-٠,١٩-	-٠,٠٤٥-٠,٢٤
غطاء نباتي ضعيف جداً (صحراء جرداء)	٠,١٤-٠,٠٢-	٠,١٥-٠,٠٤٤-
غطاء نباتي جيد (ري دائم - بساتين)	٠,٣٢-٠,١٥	٠,٥٣-٠,١٦

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

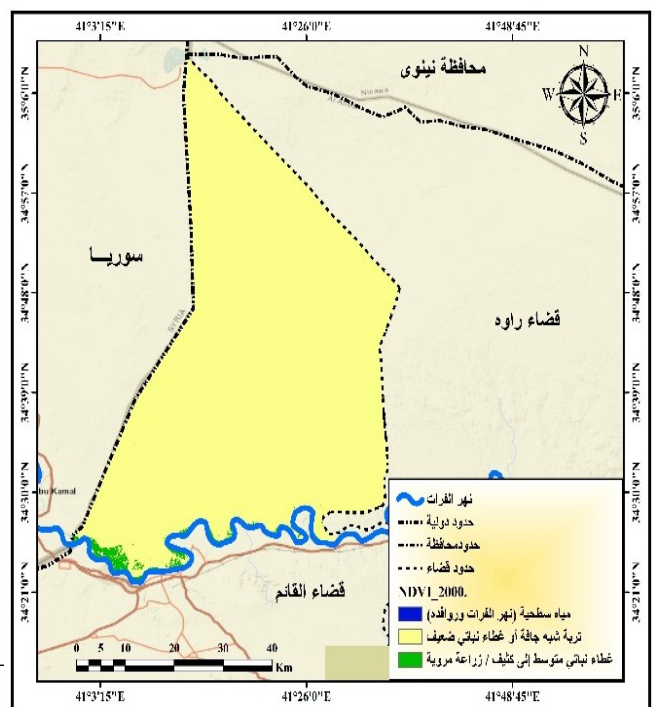
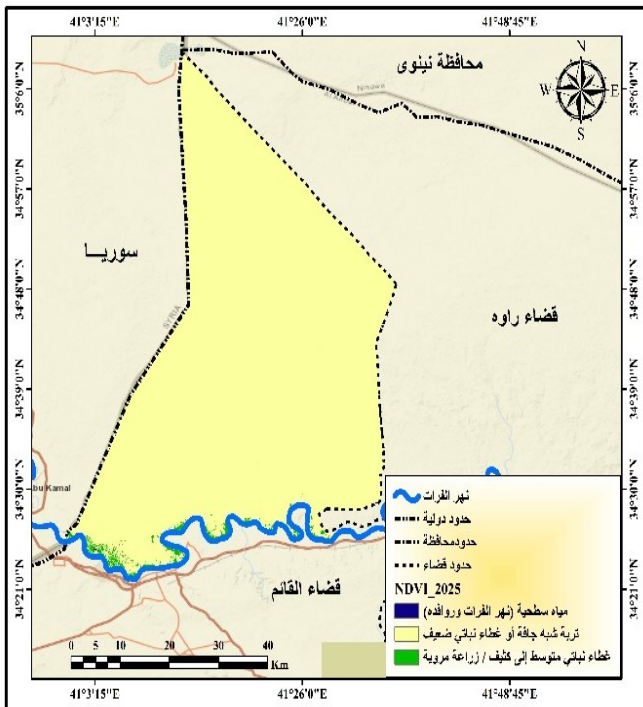
أ- فئة المياه والمناطق المنخفضة الانعكاس (NDVI): تمثل القيم السالبة الأسطح غير النباتية مثل الماء والتربة المشبعة والظلال. تراوحت هذه القيم بين (-٠,٢٤) و (-٠,٠٤٥) عام ٢٠٠٠، وبين (-٠,١٩) و

و(٠,٠٢١) عام ٢٠٢٥، وعن طريق تحليل الخرائط (٢ و ٣) تظهر بوضوح على ضفاف نهر الفرات والمناطق الرطبة المحيطة به. التحسن الطفيف عام ٢٠٢٥ يعزى لتطور دقة المستشعرات الفضائية، وليس لزيادة الغطاء النباتي، ما يؤكد الطابع الهيدرولوجي لهذه الفئة.

ب- فئة الغطاء النباتي الضعيف جداً (NDVI): تمثل هذه الفئة الحد الفاصل بين الحياة النباتية وعدمها، إذ لا تكفي المياه الموسمية والتربة السطحية لتكوين غطاء مستدام. تراوحت القيم بين (-٠,٠٤٤) و(٠,١٥) عام ٢٠٠٠، وبين (-٠,٠٢) و(٠,١٤) عام ٢٠٢٥، ما يشير إلى وجود نباتات متناثرة تعتمد غالباً على الأمطار المحدودة. توضح الخرائط أن هذه الفئة كانت تسيطر على مساحات واسعة من الهضبة الغربية عام ٢٠٠٠ نتيجة ضعف خصوبة التربة وارتفاع التبخر وتذبذب الأمطار، وما زالت تهيمن عام ٢٠٢٥ رغم تحسن طفيف في بعض المناطق العليا، مما يعكس استمرار الضغط المناخي وتحسناً نباتياً محدوداً في مناطق الري الحديثة.

ت- فئة الغطاء النباتي المتوسط (NDVI): تمثل هذه الفئة النطاق الحيوي الذي يظهر فيه الغطاء النباتي كبنية قائمة وكتلة خضراء فعالة، وليست مجرد ملامح متناثرة. تراوحت قيم مؤشر NDVI في عام (٢٠٠٠) بين (٠,١٦) و(٠,٥٣)، متركزة في النطاقات الزراعية والبساتين بمحاذاة نهر الفرات، حيث تعكس القيم الأعلى (٠,٣٠-٠,٥٣) كفاءة التمثيل الضوئي وقوة الكتلة الحيوية. بحلول عام (٢٠٢٥)، انحسر هذا المجال ليصبح بين (٠,١٥) و(٠,٣٢)، وهو تراجع يعكس ضعف نمو النبات المروي وفقدان جزء من الحزام النهري لقوته الإنتاجية بسبب انخفاض مناسيب المياه، وتذبذب الري، وارتفاع درجة حرارة السطح. ويؤكد هذا الانحسار أن التحسن النباتي أصبح انتقائياً ومقتصرًا على جيوب مروية محدودة، مما يقدم دليلاً رقمياً دقيقاً على أن التغير المناخي جعل الموارد المائية وحدها غير كافية لتعويض أثر الجفاف والحرارة على الغطاء النباتي المتوسط في منطقة البحث.

خريطة (٢) الغطاء النباتي (NDVI) لسنة ٢٠٠٠ خريطة (٣) الغطاء النباتي (NDVI) لسنة ٢٠٠٠



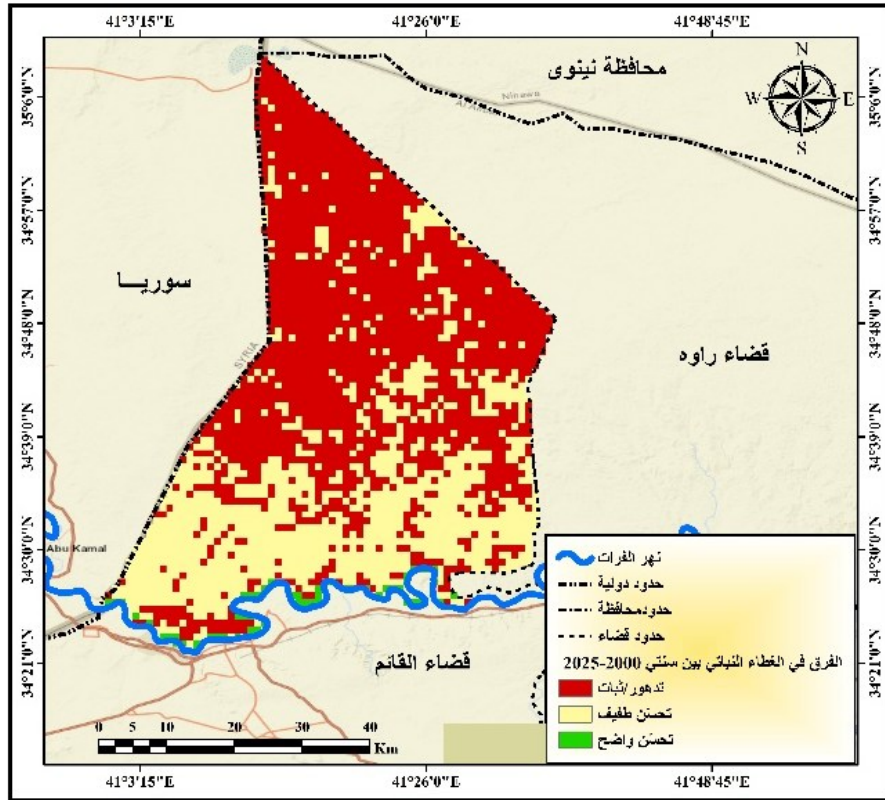
المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (NDVI) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

٢. الاستجابة الزمنية للغطاء النباتي بين عامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥):

تعكس خريطة الفرق السيرة الزمنية للغطاء النباتي في قضاء العبور استجابة النباتات لتغير المناخ، تذبذب المياه، وتحولات إدارة الأرض خلال ٢٥ سنة. يمكن تصنيف الاستجابة إلى ثلاث فئات مكانية متميزة كما في الخريطة (٤):

أ- مناطق الثبات أو التدهور الطفيف (من ٠,٠٨٩- إلى ٠,٠١٨): تمتد هذه الفئة على الصحاري والهضاب الجافة بعيداً عن نهر الفرات، وكانت ذات نمو نباتي ضعيف عام (٢٠٠٠) واستمر ضعيفاً حتى عام (٢٠٢٥). القيم السالبة أو القريبة من الصفر لا تعكس تدهوراً مفاجئاً، بل تدل على غياب مقومات التحسن مثل الأمطار الكافية، التربة الغنية بالمواد العضوية، ومصدر مياه دائم، ما يجعلها "مناطق مقاومة سلبية" لا تستجيب للتغير المناخي رغم مرور السنوات.

خريطة (٤) الاستجابة الزمنية للغطاء النباتي بين عامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥):



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (NDVI) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

ب- مناطق التحسن المحدود (من ٠,٠١٩ إلى ٠,١٣): تمثل هذه الفئة الحدود الانتقالية بين الصحراء والمناطق الزراعية؛ لم تكن خضراء عام (٢٠٠٠) لكنها شهدت تحسناً متوسطاً بحلول عام (٢٠٢٥)، غالباً على أطراف المشاريع الزراعية والسهول القريبة من الفرات، نتيجة توسع زراعي أو تحسين إدارة الري. يعكس هذا التحسن تدخل الإنسان أكثر من تأثير المناخ، مما يجعلها منطقة انتقالية بين الغطاء الطبيعي والزراعي.

ت- مناطق التحسن العالي (من ٠,١٤ إلى ٠,٣٩): تمثل الفئة الأكثر أهمية بيئيًا وجغرافيًا، إذ يظهر التحسن الحقيقي بين الفترتين، مركزة حول البساتين النهرية والأراضي ذات الري الدائم، إذ يعيد النبات إنتاج نفسه بفعالية مع توفر المياه رغم الضغوط المناخية.

تعكس خريطة الفرق التفاعل بين الزمان والمكان والمناخ والنبات، موضحة أن المناخ أصبح أكثر قسوة بارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الرطوبة وشح الأمطار، ما جعل النباتات تعتمد على نهر الفرات للبقاء. وبذلك يظهر النبات في العبور استجابة مزدوجة: انكماش في الأطراف الصحراوية وصمود وتحسن حول النهر.

٣. مؤشر الرطوبة المعيارية للنبات (NDMI): يُعدّ هذا المؤشر أداة دقيقة لرصد البعد المائي للنبات، إذ يقيس محتوى الماء داخل الورقة بدلاً من الخضرة الظاهرة كما في NDVI، ليكون مرآة لصمود النبات أمام الإجهاد الحراري والجفاف (اللقاني، ٢٠١٠: ص ١٢٤). يمكن عبر تحليل الجدول (٢) تصنيف المنطقة إلى فئات حسب مستوى الرطوبة النباتية.

جدول (٢) مقارنة تصنيف NDMI بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في منطقة البحث

التوصيف البيئي المقارن	٢٠٢٥ NDMI	٢٠٠٠ NDMI
مناطق مائية-رطبة جدًا / أسطح منخفضة الانعكاس	من (-١) إلى (-٠.٤٢)	من (-٠.١٤) إلى (-٠.٠٢٢)
مناطق جفاف شديد - متوسط	من (-٠.٤١) إلى (-٠.٠٤٧)	من (-٠.٠٢١) إلى (-٠.١١)
رطوبة نباتية جيدة - نمو أفضل	من (-٠.٠٤٨) إلى (-٠.٦٧)	من (-٠.١٢) إلى (-٠.٤٣)

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

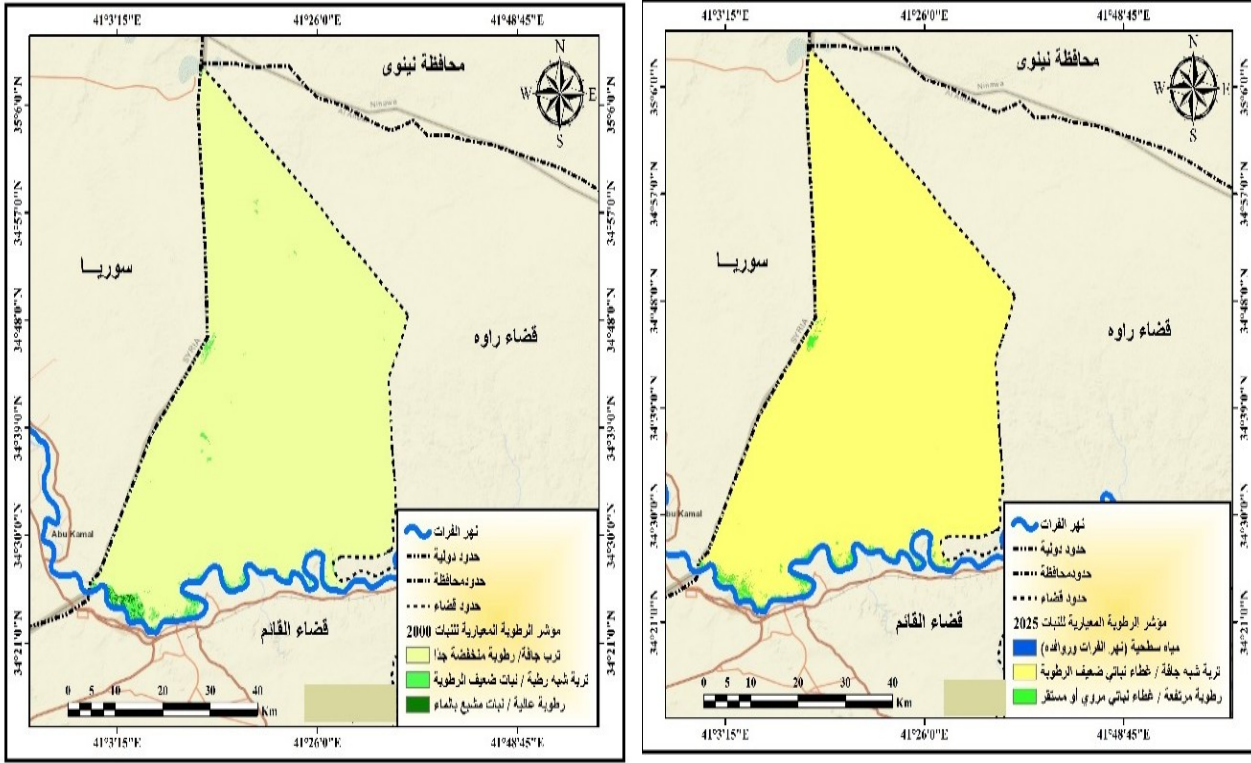
أ- فئة المياه والمناطق ذات الرطوبة العالية (الحدود السالبة): تراوحت قيم هذه الفئة بين (-٠,١٤) و(-١)، وتمثل أسطحًا مائية أو أراضي مشبعة بالكامل، دون غطاء نباتي. في عام ٢٠٠٠، كانت محصورة حول مجرى الفرات والمناطق الرطبة الضيقة، بينما في ٢٠٢٥ اتسعت رقعتها بسبب الدقة العالية لمستشعر Sentinel-2 وتوسع المسطحات المروية، بما يعكس قدرة الأقمار الصناعية على كشف الماء بدقة وليس زيادة الرطوبة الطبيعية. تُظهر هذه الفئة أن العبور منطقة هيدرولوجية أساسًا، إذ يأتي الماء الفعّال من النهر.

ب- فئة مناطق الجفاف الشديد-المتوسط: توضح مدى تأثر النبات بالحرارة والجفاف، إذ تراوحت القيم في ٢٠٠٠ بين (-٠,٠٢١) و(-٠,١١) لنبات هش يعتمد على أمطار قليلة (١٤٨ ملم). في ٢٠٢٥، تراجعت القيم حتى (-٠,٤١)، دلالة على ارتفاع حرارة السطح، انخفاض الرطوبة، وزيادة معدلات النتح، مما قلل قدرة النبات على الاحتفاظ بمياهه الداخلية.

ت- فئة مناطق الرطوبة النباتية الجيدة: تتركز حول الحزام النهري ومشاريع الري الدائم والبساتين الكثيفة، إذ تراوحت قيمها بين (-٠,٤٣) و(-٠,١٢) في ٢٠٠٠، وارتفع الحد الأعلى إلى (-٠,٦٧) في ٢٠٢٥ نتيجة توسع الري وتحسين إدارة المياه، وليس تغيرًا مناخيًا.

يوضح تحليل الخرائط (٥ و ٦) أن منطقة البحث جافة مناخيًا، بينما تحتفظ بالرطوبة الهيدرولوجية قرب النهر. خارج المناطق المروية، يعاني النبات من إجهاد مائي متزايد، في حين يشكّل الحزام النهري الملاذ الرئيسي للنبات، إذ يخفف الري الدائم من تأثير الحرارة والجفاف المتزايد على الغطاء النباتي.

خريطة (٥) الرطوبة المعيارية (NDMI) ٢٠٠٠ خريطة (٦) الرطوبة المعيارية (NDMI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (NDMI) لعامي (٢٠٢٥-٢٠٠٠).

#### ٤. مؤشر المياه المعياري (NDWI):

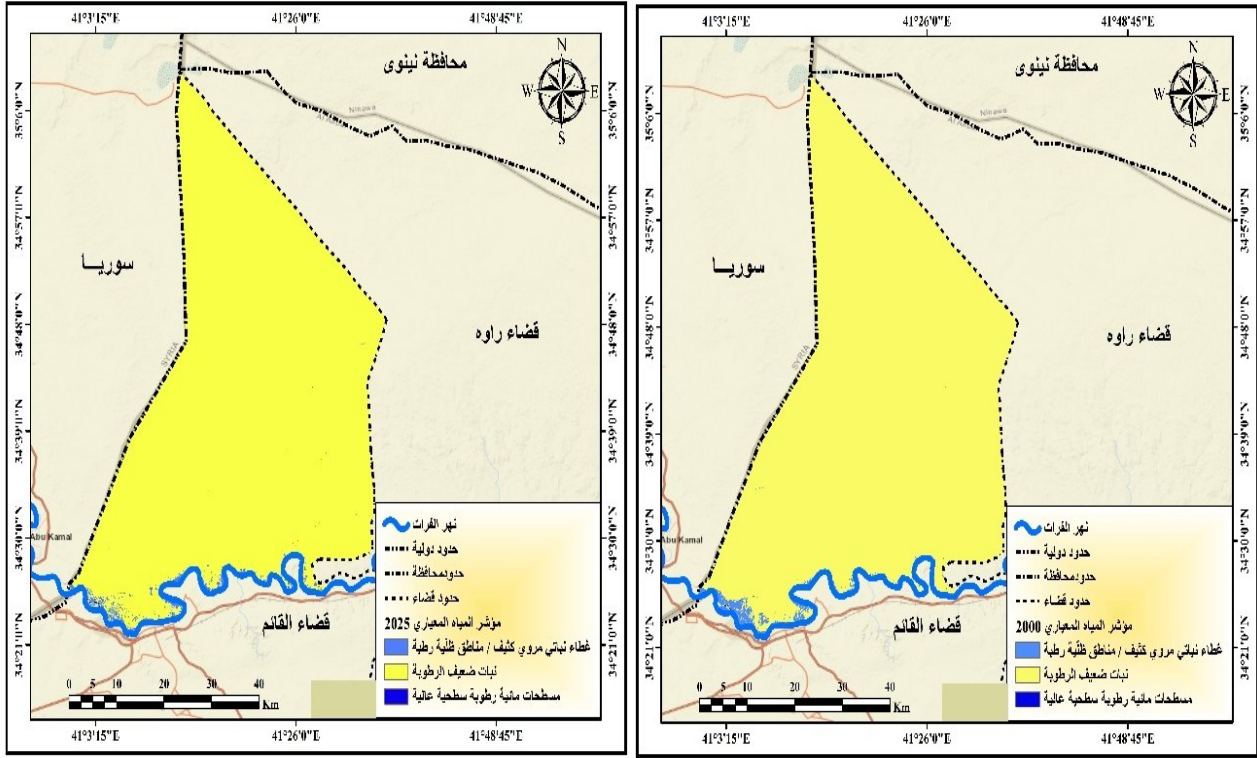
مؤشر دقيق للكشف عن الماء السطحي ورطوبة التربة عبر العلاقة بين الضوء الأخضر والقريب تحت الأحمر، ما يجعله أداة فعالة لتمييز الماء عن التربة والنبات في البيئات الجافة-النهرية مثل العبور (فرحان وخضير، ٢٠٢٣: ص.٢٠٨).

جدول (٣): مقارنة تصنيف NDWI بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في منطقة البحث

التفسير المقارن	NDWI 2025	NDWI 2000	التمثيل المكاني
مناطق جافة جداً - انعكاس قوي للتربة	(٠.٦٠-) إلى (٠.٣٠-)	(٠.٥٤-) إلى (٠.٢٥-)	الهضبة الصحراوية والسطوح المكشوفة
رطوبة سطحية ضعيفة إلى متوسطة	(٠.٢٩-) إلى (٠.٠٥)	(٠.٢٤-) إلى (٠.٠١١)	الأراضي الزراعية البعلية الهشة
مناطق رطبة / مياه سطحية	(٠.٠٦) إلى (٠.٤٥)	(٠.٠١٢) إلى (٠.٣٣)	مجرى الفرات والشرايح القريبة منه

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

أ- فئة مناطق الجفاف الشديد (قيم سالبة منخفضة): تمثل هذه الفئة الطبيعة الصحراوية للهضبة الغربية خارج النطاق النهري، إذ تراوحت قيم NDWI في ٢٠٠٠ بين (-٠,٥٤) و (-٠,٢٥) وتعكس غياب المياه وسيادة انعكاس التربة الجافة. بحلول ٢٠٢٥، ازدادت السلبية إلى (-٠,٦٠) نتيجة ارتفاع الحرارة وتراجع الرطوبة، مما وسّع هذه الفئة وزاد وضوحها.



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (NDWI) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

ب- فئة مناطق الرطوبة السطحية الضعيفة (قيم قريبة من الصفر): تشمل المناطق الانتقالية التي يظهر فيها النبات الهامشي، إذ تراوحت القيم في ٢٠٠٠ بين (-٠,٢٤) و(٠,١١) وتعكس تربة رطبة جزئياً. في ٢٠٢٥، تغيرت إلى (-٠,٢٩) و(٠,٠٥)، مع ثبات المجال العام وزيادة شدة الجفاف، متأثرة بانخفاض الأمطار وارتفاع الحرارة، كما هو موضح في الجدول (٣) والخرائط (٧، ٨).

ت- الفئة مناطق الماء والرطوبة العالية (قيم موجبة واضحة): تشير إلى المياه السطحية أو التربة المشبعة، إذ تراوحت القيم في ٢٠٠٠ بين (٠,١٢) و(٠,٣٣) بمحاذاة الفرات وبقع محدودة في البساتين، وارتفعت في ٢٠٢٥ إلى (٠,٠٦-٠,٤٥) نتيجة دقة مستشعر Sentinel-2 وليس زيادة فعلية في الرطوبة. تبقى الرطوبة الحقيقية محصورة في حزام ضيق قرب الفرات، مما يجعل النباتات تعتمد على الري، بينما تعكس معظم مساحة البحث جفافاً قاسياً وتراجع القدرة على الاحتفاظ بالماء.

٥. مؤشر الكثافة النباتية المعدل للتربة (SAVI): يُعد أداة طيفية أساسية للبيئات ذات التربة المكشوفة، كما هو الحال في منطقة البحث. يميّز هذا المؤشر بين مساهمة التربة والغطاء النباتي باستخدام ثابت التصحيح (L)، ما يجعله أكثر دقة في تقييم النبات القليل أو المتناثر في البيئات شبه الصحراوية (الكواز، ٢٠٢٣: ص ٩٧٤؛ Huete, 1988, p. 216). وبالاستناد إلى الجدول (٤) والخرائط (٩، ١٠)، يمكن تصنيف منطقة البحث وفق فئات الكثافة النباتية المعدلة للتربة إلى:

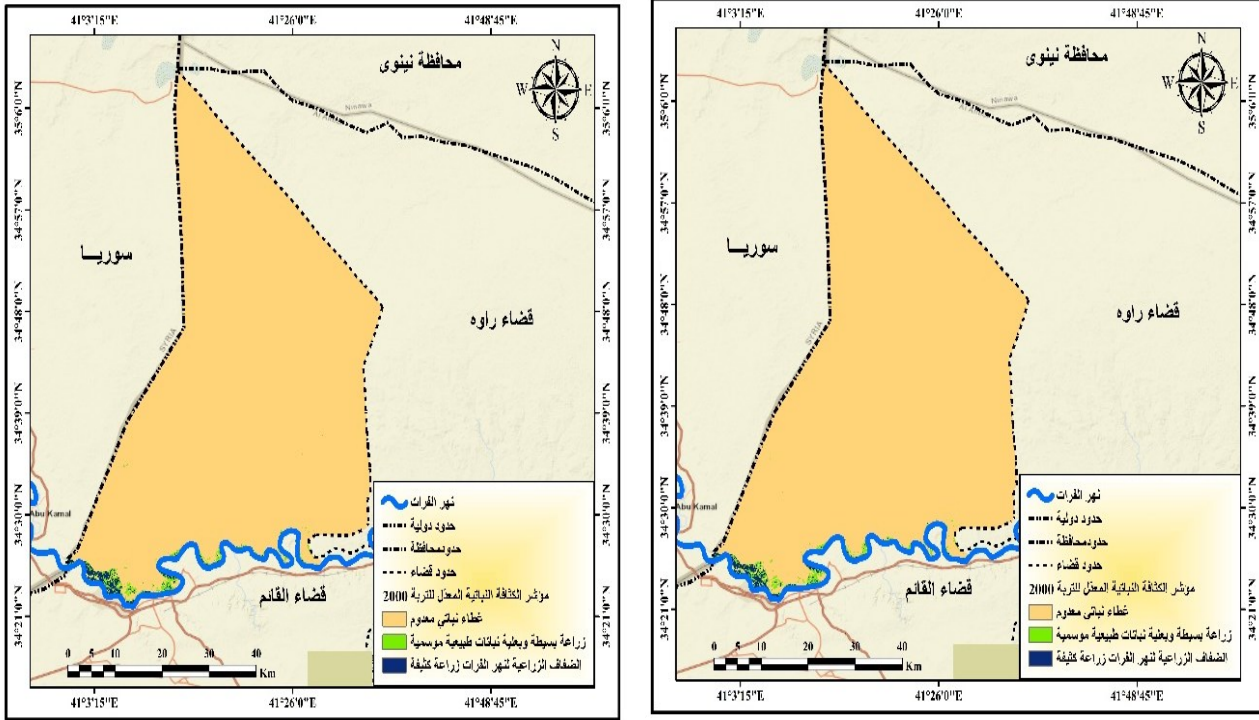
جدول (٤): تصنيف SAVI في قضاء العبور للعامين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥

التفسير المقارن	٢٠٢٥ SAVI	٢٠٠٠ SAVI
تربة مكشوفة / غطاء نباتي شبه معدوم	من (-٠,١٢٥) إلى (٠,١٤٩)	من (-٠,٠٧٨٤) إلى (٠,٠٨٦٣)

غطاء نباتي ضعيف ومنتقطع	من (٠.١٥) إلى (٠.٣٣٨)	من (٠.١٧٢) إلى (٠.٠٨٦٤)
غطاء نباتي متوسط إلى جيد	من (٠.٧٣٦) إلى (٠.٣٣٩)	من (٠.١٧٣) إلى (٠.٤٠٤)

أ- التربة المكشوفة (الفئة الجافة): تراوحت قيمها بين (-٠,٠٧٨٤) و(٠,٠٨٦٣) سنة ٢٠٠٠، ما يعكس سيطرة شبه كاملة للتربة المكشوفة نتيجة المناخ شبه الجاف وشح الأمطار. وفي ٢٠٢٥ اتسعت الفئة لتصل إلى (-٠,١٢٥)، دالة على تدهور الغطاء النباتي بفعل ارتفاع الحرارة والتبخر، وانخفاض الرطوبة، وتراجع فعالية الأمطار، مما زاد هشاشة البيئة أمام التغير المناخي.

خريطة (٩) مؤشر كثافة النبات (SAVI) ٢٠٠٠ خريطة (١٠) مؤشر كثافة النبات (SAVI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (SAVI) لعامي (٢٠٢٥-٢٠٠٠)

ب- الغطاء النباتي الضعيف والمنتقطع: قيمها بين (٠,٠٨٦٤) و(٠,١٧٢) سنة ٢٠٠٠، تمثل نباتاً موسميًا ضعيفاً يعتمد على أمطار قليلة. وفي ٢٠٢٥ اتسع المجال إلى (٠,٣٣٨)، لكن هذا اتساع كمي دون تحوّل إلى غطاء مستقر، ما يجعلها نطاقاً هشاً قابلاً للانهيال مع أي صدمة مناخية.

ت- الغطاء النباتي المتوسط والجيد: تراوحت قيمها سنة ٢٠٠٠ بين (٠,١٧٣-٠,٤٠٤) لتغطي جيوباً محدودة من البساتين والزراعة النهرية، وارتفع الحد الأعلى إلى (٠,٧٣٦) سنة ٢٠٢٥، مما يعكس تحسناً موضعياً مرتبطاً بمشاريع الري وزيادة مقاومة النبات للجفاف عند توفر الماء.

تُبرز هذه القيم الصراع بين التربة والنبات: فالمناخ يضغط بينما يوفر الماء حماية جزئية، ويعكس النبات هذا التباين في خرائطه الطيفية، مع تحسن موضعي حول نهر الفرات مقابل جفاف متزايد في المناطق البعيدة.

٦. مؤشر الكثافة النباتية الأخضر (GNDVI): أحد المؤشرات الحساسة للتغيرات الفسيولوجية داخل الأوراق،

حيث يعتمد على الأشعة الخضراء، مما يمكنه من قراءة حالة النبات. انخفاضه لا يعني فقط قلة النبات، بل

يدل على معاناة المصنع الضوئي. يمكن تقسيم منطقة البحث إلى فئات عبر تحليل الجدول (٥) والخرائط (١١-١٢) (الأمين وآخرون، ٢٠٢٥، ص ١٢٦).

جدول (٥): مقارنة تصنيف مؤشر GNDVI بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في قضاء العبور

التفسير البيئي المقارن	٢٠٢٥ GNDVI	٢٠٠٠ GNDVI
مياه - ظلال - مناطق منخفضة الانعكاس	من (-١) إلى (-٠.٣٠)	من (-٠.٣٣) إلى (-٠.١٨)
غطاء نباتي ضعيف إلى متوسط	من (-٠.٢٩) إلى (-٠.٣٨)	من (-٠.١٧) إلى (-٠.٢٥)
غطاء نباتي متوسط إلى جيد	من (-٠.٣٩) إلى (-١)	من (-٠.٢٦) إلى (-٠.٥٤)

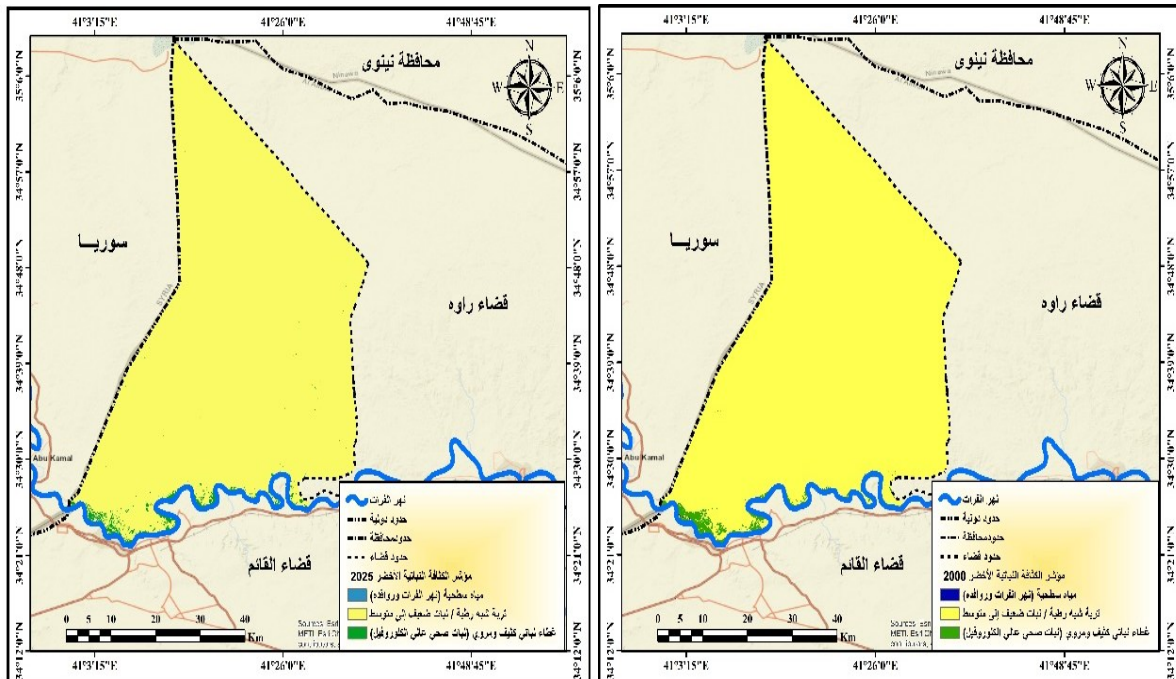
المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠ - ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م.

أ- المياه والمناطق المنخفضة الانعكاس: تعتبر أساس الحياة في منطقة البحث، إذ تشير القيم السلبية في عام ٢٠٠٠ بين (-٠,٣٣) و(-٠,١٨) إلى وجود مياه أو تربة رطبة. وفي عام ٢٠٢٥، توسعت الفئة السلبية لتصل إلى (-١) نتيجة لزيادة دقة Sentinel-2 في تمييز الماء عن التربة، مما يظهر رطوبة مرتفعة في مجرى النهر.

ب- الغطاء النباتي الضعيف والمتوسط: يمثل نباتات محدودة عند حدود القدرات البيئية. في عام ٢٠٠٠، تراوحت القيم من (-٠,١٧) إلى (٠,٢٥) مما يعكس نباتات ضعيفة وحشائش قصيرة. وفي عام ٢٠٢٥، ارتفعت القيم إلى (٠,٣٨) مما يدل على تحسن طفيف في بعض المناطق، بينما لا يزال الغطاء النباتي هشاً.

ت- الغطاء النباتي الجيد (قوة الكلوروفيل): تمثل هذه الفئة جوهر منطقة البحث، إذ تُظهر أعلى إنتاجية للنبات، تراوحت قيمها في ٢٠٠٠ بين (٠,٢٦ - ٠,٥٤) في المناطق الزراعية القريبة من الفرات. وفي ٢٠٢٥، ارتفعت القيم الكبرى إلى (١) نتيجة تحسين الري الدائم، مما يعزز قدرة النبات على إنتاج المزيد من الكلوروفيل بفضل وفرة الماء.

خريطة (١١) الكثافة النباتية (GNDVI) ٢٠٠٠ خريطة (١٢) الكثافة النباتية (GNDVI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (GNDVI) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

يكشف التحليل الزمني عن فقدان المناطق الصحراوية لقدرتها الحيوية، بينما تبقى المناطق الانتقالية في حالة نصف حياة. أصبح الحزام النهري المكان الوحيد القادر على إنتاج كلوروفيل عالي، مما يدل على أن النباتات تواجه ضغطاً مناخياً-هيدرولوجياً مركباً بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض الأمطار، والرطوبة المنخفضة، واعتمادها الكامل على نهر الفرات.

#### رابعاً: المؤشرات المناخية في منطقة البحث (2000-2025):

يُعدّ المناخ العامل الرئيس في تشكيل الغطاء النباتي في البيئات الجافة وشبه الجافة، ولاسيما في منطقة البحث الواقعة بين النظام النهري الرطب على ضفاف الفرات والنظام الصحراوي الجاف غرباً. وقد كشفت بيانات Google Earth Engine عن تغيرات واضحة في الأمطار ودرجة الحرارة والرطوبة خلال المدة (٢٠٠٠-٢٠٢٥)، انعكست مباشرة على مؤشرات الغطاء النباتي. وتكمن أهمية هذه المؤشرات في كونها أدوات تفسيرية تبيّن كيفية استجابة البيئة النباتية للتحوّلات المناخية.

#### ١. مؤشر حرارة سطح الأرض (LST) :

يُعدّ مؤشر حرارة سطح الأرض من أهم العوامل المناخية المؤثرة في الغطاء النباتي، إذ يعكس الحرارة الفعلية التي يتعرض لها النبات عند مستوى التربة والأوراق. ويؤدي ارتفاعه إلى زيادة التبخر والنتح، وانخفاض رطوبة الخلايا النباتية، وتقاوم الإجهاد الحراري، مما يضعف التمثيل الضوئي ويحدّ من انتشار الغطاء النباتي (شنيشل، بلسم شاكر، و عبود، نهرين حسن، ٢٠١٩، ص ٩٠). وفي منطقة البحث يتجاوز تأثير الحرارة أحياناً أثر الأمطار لارتباطها المباشر بفقدان الرطوبة. تُظهر بيانات الجدول (٥) وخرائط (١٣، ١٤) تأثير الارتفاع الحراري على تدهور الغطاء النباتي خلال فترة الدراسة. وبالاعتماد على بيانات الجدول وخرائط التوزيع الحراري، يتضح ما يلي:

#### جدول (٥): مقارنة مؤشر حرارة سطح الأرض LST بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥

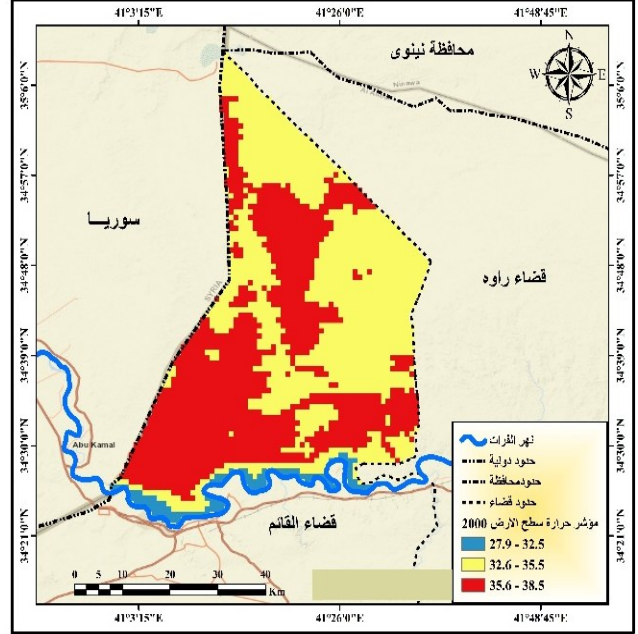
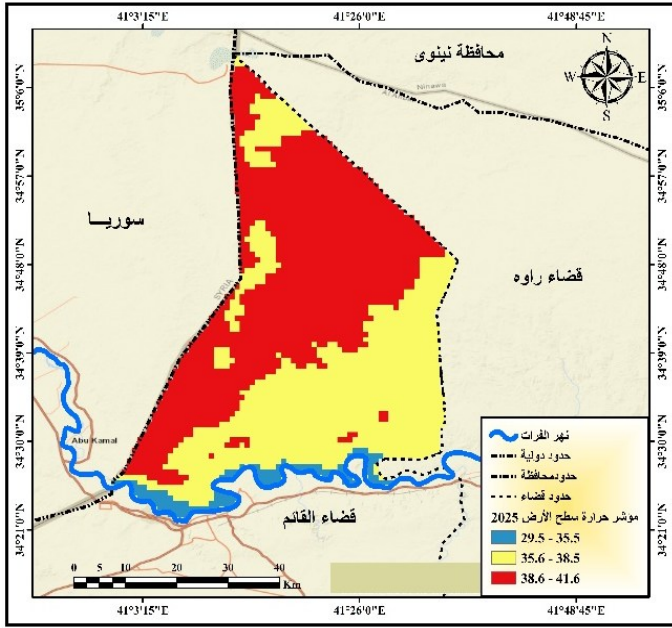
التفسير المناخي-البيئي المقارن	LST (٢٠٢٥) م	LST (٢٠٠٠) م
حرارة منخفضة نسبياً - تأثير تبريدي للنهر	(٢٤,٣٣ - ٢٤,٣٢)	(٢١,٣٢ - ٢١,٣١)
حرارة معتدلة إلى مرتفعة - جفاف سطحي عالي	(٢٤,٣٧ - ٢٤,٣٣)	(٢١,٣٢ - ٢١,٣٢)

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

- بداية الألفية (٢٠٠٠): تراوحت حرارة سطح الأرض بين (٢١,٣١-٢١,٣٢ م)، وهي قيم ملائمة نسبياً للنبات، إذ دعمت رطوبة معتدلة وكفاءة تمثيل ضوئي جيدة مع انخفاض الإجهاد الحراري، ما أتاح وجود الغطاء النباتي خاصة قرب نهر الفرات، في حين بدت الهضبة الغربية أعلى حرارة وأضعف قدرة على دعم غطاء نباتي مستقر.

خريطة (١٤) حرارة السطح (LST) ٢٠٢٥

خريطة (١٣) حرارة السطح (LST) ٢٠٠٠



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (LST) لعامي (٢٠٢٥-٢٠٠٠)

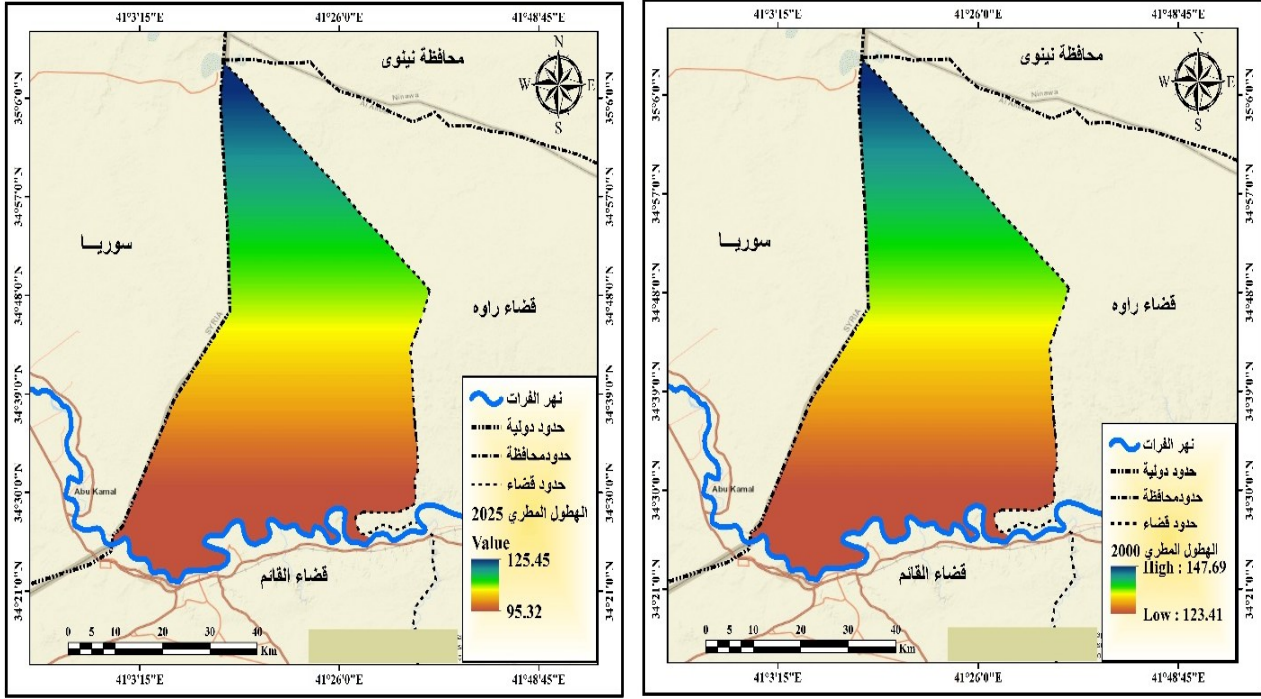
سنة ٢٠٢٥: ارتفعت حرارة السطح بنحو ( $3^{\circ}\text{C}$ ) لتصل إلى قرابة ( $24,3^{\circ}\text{C}$ )، وهو ارتفاع ذو دلالة بيئية عميقة تمثل بزيادة التبخر وفقدان الرطوبة، وتراجع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، وانخفاض مؤشرات الغطاء النباتي (NDVI و NDMI) في المناطق المكشوفة، بما يعكس تسارع التدهور البيئي. ويُعد هذا الارتفاع مؤشراً واضحاً للتغير المناخي، إذ تركز في الهضبة والأراضي الرملية ذات الانبعاث الحراري العالي، مقابل بقاء المناطق القريبة من الفرات أقل حرارة بفعل الرطوبة والتبخر، مما يجعل النهر عامل تخفيف مناخي يحد من الإجهاد الحراري للنبات. يمثل الارتفاع الحراري دليلاً واضحاً على التغير المناخي في المنطقة، إذ تتركز شدته في الهضبة والأراضي الرملية ذات الانبعاث الحراري العالي، مترافقاً مع تراجع NDVI و GNDVI، واتساع فئات الجفاف، وارتفاع مؤشر الإجهاد النباتي VHI، مما يؤكد أن الحرارة هي القيد المناخي الأشد تأثيراً في بقاء الغطاء النباتي. وفي المقابل، بقيت المناطق القريبة من نهر الفرات أقل حرارة بنحو ( $0,3-0,6^{\circ}\text{C}$ ) بفعل التبخر وتشبع التربة بالرطوبة، ليغدو النهر منظومة تبريد مناخي تحدّ من الإجهاد الحراري في بيئة شديدة الجفاف.

٢. مؤشر الأمطار (PRCP): تُعدّ الأمطار الأساس في دعم الغطاء النباتي بالبيئات الجافة وشبه الجافة، ومنها منطقة البحث التي يظل نموها النباتي رهين تذبذب المطر لا انتظامه. ففي النظم الصحراوية-النهرية يغدو المطر حدثاً موسميًا نادرًا، ما يجعل النبات شديد الحساسية لأي نقص طفيف في كمياته.

جدول (٦): مقارنة الأمطار بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٤ (ممثل ٢٠٢٥) في منطقة البحث

التمثيل المكاني	2000	2024	التغيير الزمني (٢٠٠٠ ← ٢٠٢٥)
المناطق الصحراوية والهضبة	(١٢٩ - ١٢٣)	(١٠٥ - ٩٥)	تراجع خطير في الحد الأدنى للأمطار
المناطق الانتقالية بين النهر والصحراء	(١٣٦ - ١٣٠)	(١١٥ - ١٠٦)	تراجع واضح في المعدلات المتوسطة
برائح الزراعية القريبة من الفرات	(١٤٨ - ١٣٧)	(١٢٥ - ١١٦)	تراجع (٢٠-٣٠) ملم في أعلى الفئات

المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة البحث (٢٠٠٠ - ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م.  
خريطة (١٥) كمية الامطار (PRCP) ٢٠٠٠ خريطة (١٦) كمية الامطار (PRCP) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (PRCP) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

يُظهر تحليل بيانات الجدول (٦) والخرائط (١٥، ١٦) انخفاضًا عامًا في كميات الهطول المطري خلال سنة ٢٠٢٤ مقارنة بسنة ٢٠٠٠، بما يعكس تأثيرًا واضحًا للتغير المناخي في منطقة البحث. ففي عام ٢٠٠٠، ورغم تواضع الأمطار، عُدَّت سنة مطرية جيدة نسبيًا لغرب العراق، إذ بلغت الفئة العليا نحو (١٤٨ ملم)، مما أتاح ظهور غطاء نباتي محدود قرب نهر الفرات دون أن يرقى إلى غطاء مستدام. أما في ٢٠٢٤/٢٠٢٥ فقد تراجعت الأمطار بنحو (٢٠-٣٠ ملم)، وهو انخفاض بالغ الأثر في بيئة جافة تُعدُّ فيها كل (١٠ ملم) دورة حياة نباتية محتملة. ويؤكد ذلك أن الهطول دون (١٥٠ ملم) لا يتيح للتربة خزن رطوبة كافية ولا للنبات ترسيخ جذوره، مما يحصر الحياة النباتية في نطاق ضيق مرتبط مباشرة بنهر الفرات في ظل عجز مطري متصاعد.

٣. مؤشر الرطوبة النسبية (RH): تُعدُّ الرطوبة عنصرًا مناخيًا حاسمًا في توازن الغطاء النباتي، إذ تتحكم بمعدلات التبخر وكفاءة النتج واستقرار الأوراق وقدرة النبات على مقاومة الإجهاد الحراري. وفي البيئات الصحراوية لا يكفي المطر وحده لضمان الحياة النباتية، بل تمثل الرطوبة «الهامش الزمني» الذي يمنحه المناخ للنبات كي يستمر. وفي منطقة البحث تراجعت الرطوبة تدريجيًا واختفت شبه كليًا بعيدًا عن النهر، مما جعل النبات يعيش حياة متوترة، كونها تمثل الهواء الذي تنتفسه والشرط الغير المرئي للحياة (قدس، ٢٠٢٣، ص ٤).

يُظهر تحليل الجدول (٧) والخرائط (١٧ و ١٨) انخفاضًا ملحوظًا في الرطوبة النسبية في جميع أنحاء منطقة البحث، مرتبطًا بارتفاع درجات الحرارة بنحو (٣م°) خلال نفس الفترة، مما يعكس تغيرًا مناخيًا ملحوظًا. في عام ٢٠٠٠، تراوحت الرطوبة بين (٣١,٧% - ٣٢,٣%)، وهي قيم شبه حرجة في البيئات الجافة، حيث يؤدي انخفاضها عن (٣٥%) إلى زيادة التبخر، وضعف قدرة النباتات على الاحتفاظ بالماء، مما يزيد من الإجهاد خلال النهار، رغم التحسن النسبي في الهطول آنذاك. أما في عام ٢٠٢٥، فقد انخفضت الرطوبة إلى مستويات

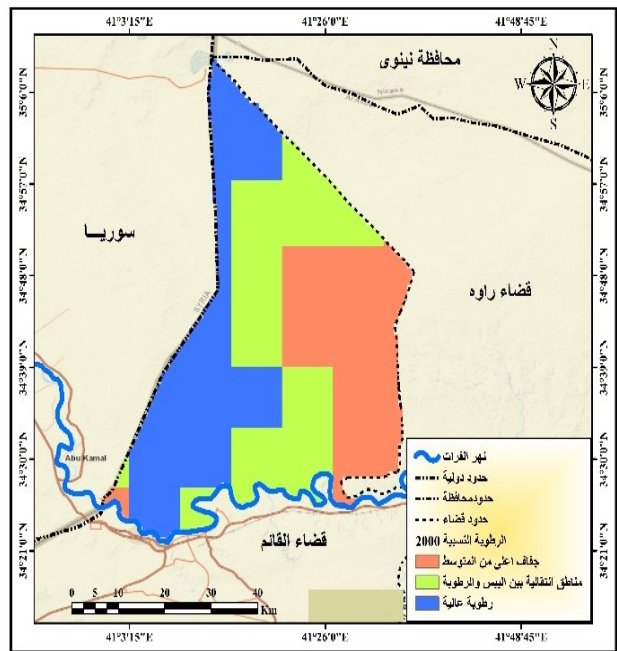
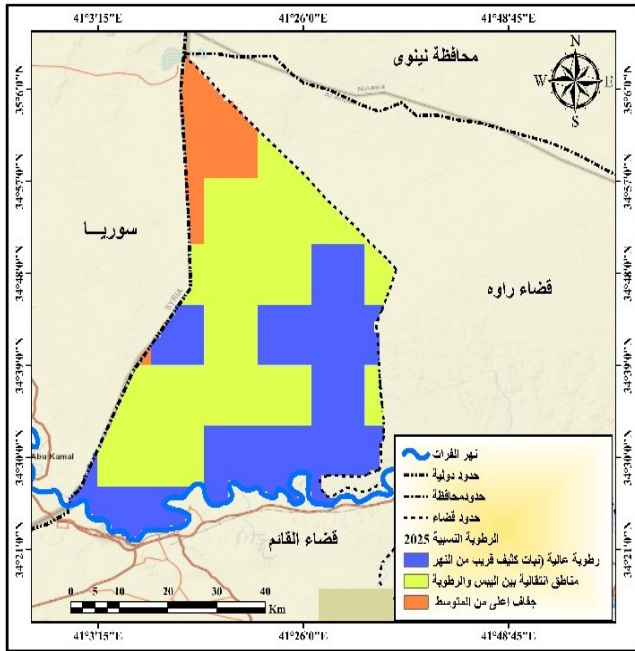
أكثر خطورة تراوحت بين (٢٨ - ٣٢٪)، مما يدل على تفاقم التبخر، وفقدان "نافذة الرطوبة الليلية" الضرورية لاستقرار العمليات الحيوية للنبات، وارتفاع قيم مؤشر الإجهاد الحراري (VHI). ويُرجَّح أن يكون هذا التراجع نتيجة موجة الجفاف المناخي الإقليمي في غرب العراق، التي أدت إلى تفاقم الإجهاد المائي وتسريع تدهور الغطاء النباتي في منطقة البحث.

جدول (٧): مقارنة الرطوبة النسبية بين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في قضاء العبور

التغير الزمني (٢٠٠٠ → ٢٠٢٥)	RH 2025	RH 2000	التمثيل المكاني
انخفاض شديد في الرطوبة نتيجة ارتفاع الحرارة وتراجع المطر	(٢٨٪ - ٣٠٪)	٣١,٧ - ٣١,٩٪	المناطق الصحراوية والهضبة
انخفاض ملحوظ لكنه أقل حدة	(٣٠٪ - ٣١٪)	٣٢,١ - ٣٢٪	المناطق الانتقالية
ثبات نسبي مع ميل للتراجع	(٣١ - ٣٢٪)	٣٢,٣ - ٣٢,٢٪	المناطق القريبة من الفرات والري

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

خريطة (١٧) الرطوبة النسبية (RH) ٢٠٠٠ خريطة (١٨) الرطوبة النسبية (RH) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (RH) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

٤. مؤشر صحة الغطاء النباتي (VHI) : أحد أهم المؤشرات لقياس إجهاد النبات هو دمج الحرارة والرطوبة، إذ يتجاوز قياس الخضرة (NDVI) والرطوبة فقط (NDMI). يعكس الحالة الداخلية للنبات حتى لو كان أخضر (Eslamian, S, p137, 2017)، مما يكتسب أهمية في منطقة البحث التي تشهد تغيراً مناخياً سريعاً وارتفاعاً في الحرارة وقلة الرطوبة. يبين تحليل الجدول (٨) والخرائط (١٩، ٢٠) أن قيم المؤشر في سنة ٢٠٠٠ تراوحت بين (٠ - ٠,٥٠)، وهي مستويات تعكس بداية الإجهاد البيئي، خصوصاً في الجنوب الغربي إذ ظهرت أدنى القيم (٠ - ٠,٢٠) نتيجة الحرارة المرتفعة والرطوبة المحدودة وضعف الهطول. أما في سنة ٢٠٢٥ فارتفعت القيم إلى نحو (٠,٩٩) في بعض المناطق المروية، لكن هذا التحسن بقي موضعياً ولا يشير إلى تغيير مناخي إيجابي، إذ ما يزال معظم سطح المنطقة ضمن نطاقات الإجهاد الشديد (٠ - ٠,٣٠). ويؤكد ذلك تراجع

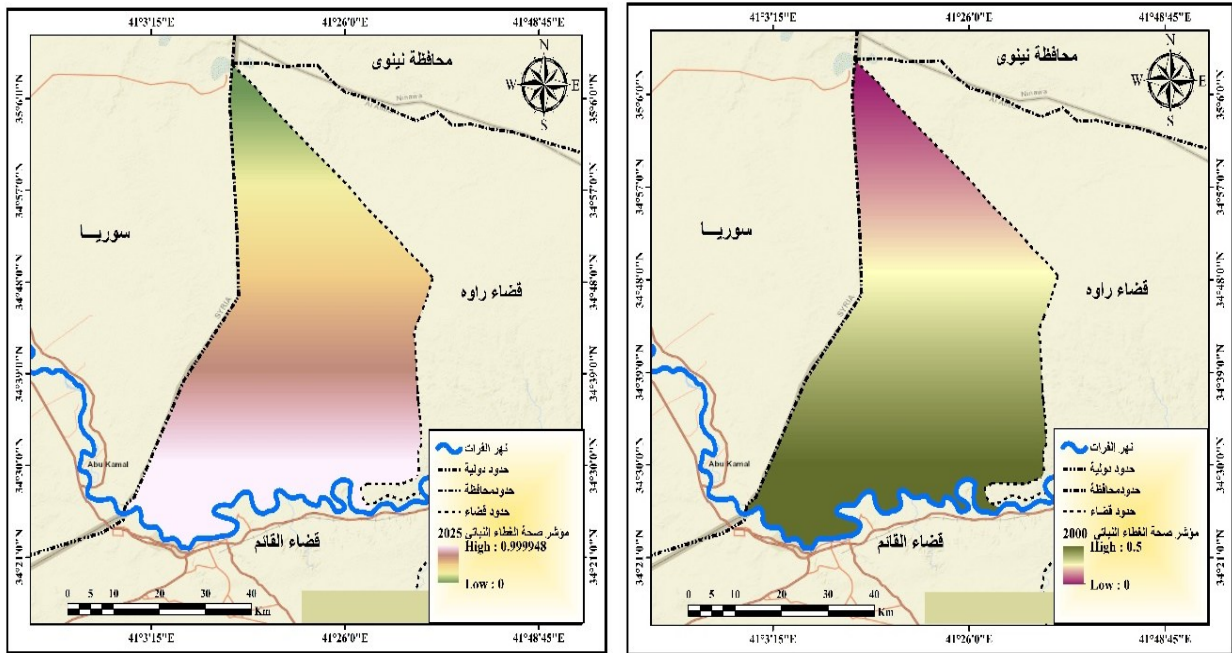
مؤشرات الحرارة (LST) والرطوبة (RH) والأمطار (PRCP)، مما يعكس هشاشة واضحة في الغطاء النباتي خارج نطاق الري.

جدول (٨): مقارنة مؤشر VHI بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ في قضاء العبور

التغير الزمني (٢٠٠٠ → ٢٠٢٥)	VHI 2025	VHI 2000	التمثيل المكاني
توسع واضح لفئة الإجهاد مع ارتفاع الحرارة وتراجع الرطوبة	(٠,٣٠ - ٠)	(٠,٢٠ - ٠)	الهضبة الغربية والمناطق الصحراوية
ارتفاع بسيط يعكس استمرار الضغط المناخي	(٠,٥٠ - ٠,٣١)	(٠,٣٥ - ٠,٢١)	المناطق الانتقالية
تحسن موضعي حول النهر والمناطق المروية	(٠,٩٩ - ٠,٥١)	(٠,٥٠ - ٠,٣٦)	الحزام النهري، البساتين، مناطق الري

المصدر: بالاعتماد على تحليل معطيات المرئية الفضائية لمنطقة الدراسة (٢٠٠٠ - ٢٠٢٥) وبدقة ٣٠ م.

خريطة (١٩) مؤشر صحة النبات (VHI) ٢٠٠٠ خريطة (٢٠) صحة النبات (VHI) ٢٠٢٥



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 ومؤشر (VHI) لعامي (٢٠٠٠-٢٠٢٥)

خامساً: تحليل ومناقشة نتائج العلاقة بين المناخ والغطاء النباتي في منطقة البحث:

يُعتبر المناخ الإطار الأساسي للمشهد البيئي في منطقة البحث، فهو المحدد لطاقة المكان وقدرته على إنتاج واستدامة الغطاء النباتي. يظهر النبات ليس كعنصر مستقل، بل ككائن حساس يحمل ذاكرة المناخ في تفاصيل نموه وذبوله. كل تغير في حرارة السطح أو تذبذب في الأمطار أو انخفاض في الرطوبة ينعكس مباشرة في الصورة الطيفية للنبات، ويتمثل كتراجع أو تحسين في قيم المؤشرات النباتية المختلفة (Kogan, F. N., 1995 p:91). تأثير الحرارة على الغطاء النباتي هو الأكثر ثباتاً ووضوحاً في نتائج البحث، فالارتفاع الحراري الذي بلغ نحو (٣+) يُعتبر تغيراً بنوياً في مناخ المنطقة، مما أثر على الخريطة النباتية بشكل شامل. تعتبر حرارة سطح الأرض (LST) المتغير الأكثر تأثيراً في البيئات الجافة النهرية، إذ تتحكم في عمليات التمثيل الضوئي وإدارة المياه داخل الأنسجة النباتية، لذا فإن هذا الارتفاع الحراري يعد تحولاً مناخياً جوهرياً، مما نتج عنه انخفاض في مؤشر رطوبة النبات (NDMI) وزيادة في الإجهاد الحراري كما يتضح في مؤشر الصحة

النباتية (VHI)، مما يكشف عن هشاشة التوازن الحيوي للنبات أمام الارتفاع الحراري المتزايد. تُعتبر الأمطار المحرك الأساسي للنشاط البيئي في منطقة البحث، إذ تراوحت كمياتها بين (١٢٣-١٤٨ ملم)، وهي كميات غير كافية للحفاظ على غطاء نباتي طبيعي دون ري. وهذا يؤدي إلى انخفاض في مؤشرات الغطاء النباتي (NDVI) وخضرة الكلوروفيل (GNDVI) خلال السنوات الجافة، مما يسبب انكماش المساحات الخضراء بعيداً عن مجرى الفرات ويعكس حساسية النظام البيئي لتقلبات المطر. لذا كان من الطبيعي أن تظل معظم الأطراف ثابتة، وأن يكون الفرق بين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ خالياً تقريباً من أي تحسن في تلك المناطق.

تشكل الرطوبة النسبية (RH) العنصر الجوي الذي ينظم حركة الماء داخل النبات. على الرغم من أنها لا تضيف ماءً للتربة، إلا أنها تعزز مقاومة الغطاء النباتي للجفاف من خلال تقليل التبخر، إذ تراوحت قيمها بين (٣١,٧٪-٣٢,٣٪)، وهي نسب منخفضة تُفسر هشاشة الأطراف الصحراوية وارتفاع القيم السالبة في المؤشرات المائية، بينما شهدت المناطق القريبة من ضفاف الفرات تحسناً نسبياً. هذا يجعل استجابة النبات ضعيفة، رغم أن قيم (NDVI) تشير إلى وجوده بصرياً، لذلك تتجلى أهمية دمج (NDVI) و (NDMI) و (VHI)، إذ لا يكشف (NDVI) وحده عن "معاناة" النبات. تشكل قراءات (NDMI) و (NDWI) في هذا البحث المؤشر الأدق لتمثيل الغطاء النباتي، إذ يُعتبر الماء السطحي العنصر الرئيسي للنبات، بينما لا يساهم المطر في تشكيله. مع ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الرطوبة، يظل النهر "قلب الحياة"، وكل ما يبتعد عنه يتلاشى تدريجياً في الصحراء. تعتبر قراءة (NDMI) و (NDWI) المؤشر الأكثر دقة في تمثيل الواقع النباتي، إذ يُعد الماء السطحي المصدر الرئيس للنباتات في منطقة البحث، بينما لا يُسهم المطر في تشكيل الغطاء النباتي. في ظل ارتفاع درجات الحرارة وانخفاض الرطوبة، يبقى النهر "قلب الحياة"، وكل ما يبتعد عنه يتلاشى تدريجياً في الصحراء. يكشف تحليل التغير البنيوي للغطاء النباتي باستخدام مؤشري (SAVI) و (GNDVI) أن التربة المكشوفة ما تزال هي المكوّن الغالب في معظم أجزاء المنطقة، ما يشير إلى أن تحسن الغطاء النباتي لم يتحقق بشكل منظم باستثناء المناطق المحاذية للنهر، إذ ظهرت بنى نباتية أقوى في سنة ٢٠٢٥ مقارنة بعام ٢٠٠٠. أما مؤشر (GNDVI)، المرتبط بمحتوى النتروجين وشدة النمو الأخضر، فقد أظهر أن التحسن كان انتقائياً ومحصوراً في المناطق التي تلقت عناية زراعية، وليس في البيئات الطبيعية. وهذا يؤكد أن التحسن لم يكن نتيجة تعافٍ بيئي شامل، بل نتاج دعم زراعي محدود مكانياً. وفيما يتعلق بصحة النبات وفق مؤشر الإجهاد المناخي (VHI)، فقد بينت الخرائط أن التدهور لا يرتبط بنقص المياه فقط، بل ينتج عن الجمع بين ارتفاع الحرارة وانخفاض الرطوبة، وهو ما يتوافق تماماً مع الاتجاهات الحرارية التي سجلتها بيانات ERA5.

سادساً: المؤشر النهائي لشدة التأثير المناخي **Climate Impact Index** على النبات:

يمثل مؤشر شدة التأثير المناخي مقياساً مركباً يُظهر مقدار الضغط الذي يمارسه المناخ على الغطاء النباتي، من خلال دمج أربع متغيرات رئيسية وهي مؤشر الغطاء النباتي المعياري ومؤشرات حرارة السطح والأمطار والرطوبة النسبية حيث يعمل المؤشر على تحويل هذه المتغيرات إلى قيمة واحدة تمثل مناطق تدهور نباتياً ناتجاً عن ضغط مناخي أعلى أو مناطق تحسن نباتي ناتج عن ظروف مناخية داعمة أو مناطق ثبات لا تستجيب للنظام المناخي وبذلك يصبح هذا المؤشر "خلاصة السيرة المناخية للنبات" خلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٥).

٢٠٢٥). فهذه الفئات ليست نتيجة NDVI فقط، بل نتيجة "المعادلة الكاملة" بين المناخ والغطاء النباتي. ومن خلال تحليل معطيات الجدول (٩) والخريطة (٢١) يتضح لنا وجود ثلاث فئات في منطقة البحث.

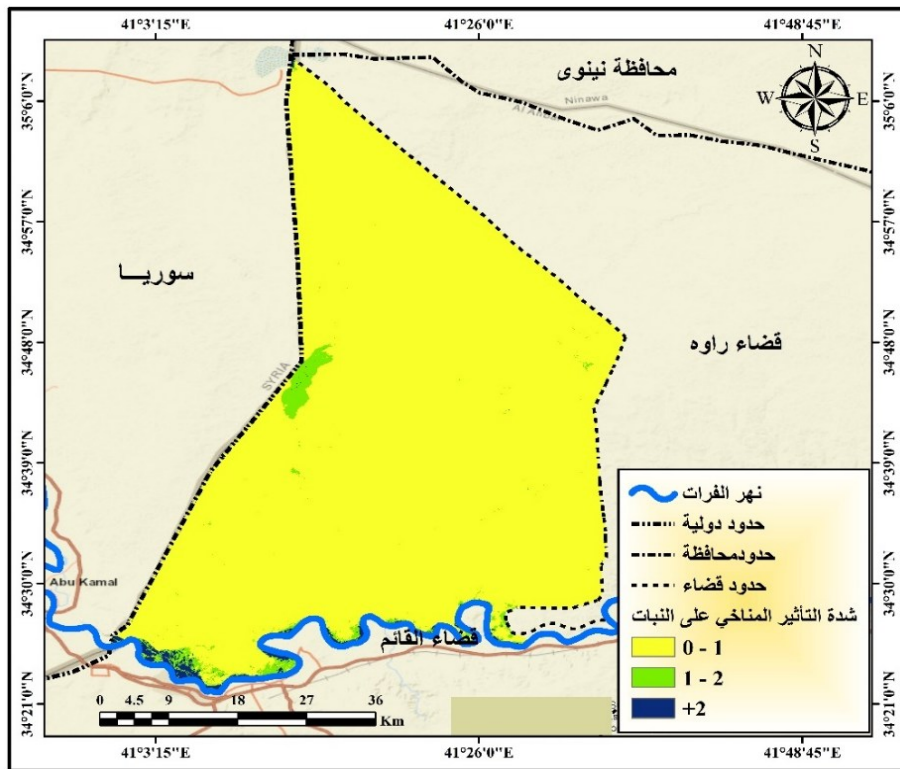
جدول (٩): فئات شدة التأثير المناخي في قضاء العبور

الفئة	الانتشار المكاني	الدلالة المناخية
(٠ - أقل من ١)	الهضبة، المناطق البعيدة عن الفرات	حرارة مرتفعة أمطار ضعيفة رطوبة منخفضة
(١ - أقل من ٢)	المناطق الانتقالية بين النهر والصحراء	عدم استجابة للنظام المناخي
(٢+)	الحزام النهري، الأراضي المروية	حضور الماء (ري) قادر على تعويض المناخ

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

١. الفئة الأولى: تمثل هذه الفئة مناطق التأثير السلبي أو التدهور المناخي بقيم تتراوح بين (٠-١)، وتشكل الطبقة الأوسع في قضاء العبور. تتميز بحرارة سطحية مرتفعة، وهطول منخفض للأمطار، ورطوبة نسبية ضعيفة، إضافة إلى غطاء نباتي هش ومتقلب وقلة محتواه المائي، مما يعكس نقص الماء داخل النبات. تمتد هذه الفئة نحو الهضبة الغربية وتشمل مساحات واسعة من الصخور والتربة الجرداء، وتظهر في الخرائط كمنطقتان باهتة اللون، معبرة عن "جوهر البيئة الصحراوية" في المنطقة.

خريطة (٢١) فئات شدة التأثير المناخي



المصدر: بالاعتماد على بيانات القمر الصناعي land sat 8 وخوارزمية الأشجار العشوائية.

٢. الفئة الثانية: تمثل هذه الفئة المناطق التي لم تتحسن أو تتدهور، بل بقيت في حالة "توازن هش" بقيم تتراوح بين (١-٢)، وتنتشر في المناطق الانتقالية بين الفرات والصحراء. تعتمد هذه المناطق على أمطار موسمية قليلة وحرارة مرتفعة، مما يؤدي إلى فقدان الماء بسرعة. تتميز بغطاء نباتي متوسط الكثافة ومحتوى رطوبي منخفض،

مما يدل على هشاشة الرطوبة النباتية. تشكل هذه الفئة "الحد الفاصل" بين الحياة والزوال، حيث يمكن أن تتحسن بوجود الري أو تتدهور مع زيادة الحرارة.

**٣. الفئة الثالثة:** تمثل هذه الفئة مناطق نادرة تتميز بتأثير المياه الإيجابي على تحسين النمو النباتي، إذ تتجاوز قيمها (+٢). تتركز هذه المناطق بشكل رئيسي حول مجرى الفرات، خاصة في الأراضي الزراعية المروية، وتظهر أعلى قيم للغطاء النباتي الصحي والرطوبة. تعتبر هذه المناطق "جزر الحياة" التي تؤكد على أن الري، وليس المناخ، هو العامل الرئيسي في الحفاظ على الغطاء النباتي خلال ٢٥ سنة.

#### **سابعاً: حصيلة التغيرات المناخية وأثرها في الغطاء النباتي في منطقة البحث**

لقد كانت تغيرات المناخ العامل الأبرز في منطقة البحث. إذ يظهر التحليل الجغرافي المقارن بين عامي ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ أن المنطقة تمثل نموذجاً دقيقاً للمناطق الهشة الواقعة تحت تأثير المناخ الجاف وشبه الجاف. فلامح المكان لا تحدها النباتات أو المناخ بمفردهما، بل تتشكل من "صراع صامت" بين الحرارة والماء، بين ما يفرضه المناخ وما يسعى الإنسان لاستعادته عبر الري، ضمن شبكة متبادلة من العلاقات بين الحرارة والرطوبة والمطر من جهة، وبين النبات والتربة والمياه الجارية من جهة أخرى. ومع أن الخرائط العددية قد تبدو في البداية مجرد تمثيلات مكانية، إلا أنها عند تفكيكها تتحول إلى خطاب جغرافي غني، يروي قصة المكان خلال خمسة وعشرين عاماً من التغير المناخي.

**وفي الإجابة عن السؤال:** هل تغير النبات بسبب المناخ أم لتدخل الإنسان؟ تتضح الحقيقة أن المناخ أثر سلبياً (ارتفاع الحرارة، انخفاض الأمطار والرطوبة)، بينما كان الإنسان هو من أبقى النبات حياً حول النهر بالري. فالصحراء لم تتغير لأنها تقتصر إلى الحد الأدنى من شروط الاستجابة، ليعكس المؤشر فلسفة المكان: المناخ يدفع نحو الجفاف، والماء يدفع نحو الحياة، والنبات يقف بينهما مرآةً لحقيقة الواقع. يتضح أن الغطاء النباتي في العبور لا يتبع المناخ بقدر ما يتبع المياه، ولا يمكن فهم وضعه الحالي أو مستقبله دون إدراك مركزية الفرات وطرق الري الحديثة. المناخ بخصائصه الحالية، يميل إلى تقويض استقرار الزراعة، والخرائط المنتجة ليست مجرد بيانات، بل شهادات على أثر الحرارة والرطوبة وقصور الأمطار، وتجسيد لقدرة النبات على المقاومة أو الانكماش، بذلك يصبح هذا البحث قراءة عميقة للعلاقات بين المناخ والنبات، وسجلاً مرئياً للتحويلات المناخية التي شهدتها المنطقة خلال ربع قرن.

#### **ثامناً: الاستنتاجات:**

١. بين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ اتجه مناخ العبور نحو مزيد من الجفاف، إذ ارتفعت درجة الحرارة (+٣م) وانخفضت الرطوبة النسبية بنحو (٥%)، بينما ظلت الأمطار متذبذبة وشحيحة. هذا التغير المناخي الحاد قلل قدرة النبات على الاحتفاظ بالرطوبة، وزاد النتج وارتفاع الإجهاد الحراري في المناطق البعيدة عن النهر، مما يجعل المناخ عاملاً مقيداً للغطاء النباتي.

٢. ظل الغطاء النباتي محكوماً بتوفر المياه، كما تؤكد مؤشرات NDVI، SAVI، EVI، وGNDVI، إذ اقتصر التحسن بين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٥ على المناطق المروية، بينما بقيت الأطراف الصحراوية ضعيفة أو سالبة القيم، مما يعكس "جغرافيا مزدوجة" للنبات: قوي حيث الماء متوفر وضعيف حيث يسود الجفاف.

٣. مؤشرات الرطوبة النباتية NDMI و NDWI أبرزت هشاشة التربة، إذ كشفت القيم السالبة الواسعة أن معظم أجزاء العبور قليلة الاحتفاظ بالماء، والنبات في المناطق غير المروية يعيش حالة عطش دائم، بينما يشكل مجرى الفرات العنصر الرطب الوحيد تقريبًا، مما يبرز دور الماء كالعامل الجغرافي الحاسم.
٤. مؤشر صحة النبات VHI يوضح أن الري هو “درع النبات” الوحيد، فالتحسن في المناطق القريبة من الفرات يعكس مقاومة أعلى للإجهاد، بينما بقيت المناطق البعيدة تحت مستويات إجهاد مرتفعة، مما يؤكد أن مياه الري توازن أثر المناخ السلبي.
٥. تُعد العبور منطقة بيئية شديدة الهشاشة، إذ تشير جميع مؤشرات الغطاء النباتي والرطوبة والصحة النباتية والمناخ إلى أن أي انخفاض إضافي في المياه أو ارتفاع آخر في الحرارة سيؤدي إلى تدهور سريع في الغطاء النباتي، خاصة في المناطق البعلية، التربة الرملية، والمناطق المرتفعة قليلاً عن الفرات، مما يجعل العبور نموذجًا لمناطق “الهشاشة المناخية-النباتية”.

تاسعًا: التوصيات: استنادًا إلى التحليل العلمي والبيانات العددية والمؤشرات المتقدمة، نوصي

١. تعزيز مشاريع الري الحديثة في المناطق ذات الكفاءة النباتية العالية، إذ أثبتت مؤشرات NDVI و SAVI و NDMI و VHI أن الري يحسن صحة الغطاء النباتي ويقلل الإجهاد الحراري، مما يجعله أداة رئيسية لمواجهة الجفاف المناخي.
٢. إنشاء نظام رصد بيئي-مناخي مستمر لتحديث بيانات الغطاء النباتي، وحرارة السطح، والرطوبة، والأمطار بشكل شهري، وربطها بنظم إنذار مبكر للكشف عن موجات الجفاف قبل تفاقمها.
٣. توجيه التوسع الزراعي نحو مناطق التحسن الطبيعي، أي تلك التي أظهرت نتائج إيجابية في الغطاء النباتي، وارتفاع الرطوبة، وانخفاض الإجهاد، إذ يمكن أن تستجيب بسرعة لأي دعم مائي أو زراعي.
٤. منع التوسع الزراعي في المناطق عالية الهشاشة، إذ تشير مؤشرات NDMI المنخفضة جدًا، و SAVI الباهتة، و NDVI السالب، و VHI المرتفع إلى تعرض هذه المناطق للفشل الزراعي، مما يجعل زراعتها غير مستدامة.
٥. استخدام تحليلات الذكاء الاصطناعي (GeoAI) لتوقع أماكن التدهور المستقبلي وتوزيع الغطاء النباتي خلال ١٠-٢٠ سنة، مع إمكانية استصلاح الترب الهامشية بناءً على الخرائط التاريخية (٢٠٠٠-٢٠٢٥).
٦. دمج المجتمع المحلي في برامج التكيف المناخي عبر نشر الوعي الزراعي وإدارة المياه وحماية التربة، وتبني أساليب الزراعة الذكية مناخيًا لضمان استدامة الموارد والغطاء النباتي

## References:

1. Al-Ansari, N. (2020). *Environmental challenges in Iraq: Water resources and soil degradation*. Journal of Environmental Hydrology, 28(1), 1–12.
2. Zhang, X., Friedl, M. A., & Schaaf, C. (2019). *Vegetation sensitivity to climate variability*. Remote Sensing of Environment, 221, 100–111
٣. اللقاني، عبد اللطيف حسن، والبيلي، محمد عبد العظيم. (٢٠١٠). الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في الدراسات البيئية. القاهرة: دار الفكر العربي.

٤. حماد، محمد عبد السلام، وعبد الواحد، سيد محمد. (٢٠١٥). الاستشعار عن بعد: الأسس والتطبيقات في الجغرافيا. عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع.
٥. فرحان، أمير فخر، و خضير، أحمد عبادة، استخدام مؤشر *VCI* و *NDWI* في تقييم الغطاء الأرضي في ناحية اليوسفية، مجلة مداد الآداب، العدد ٤٠، ٢٠٢٣، ص. 2208.
٦. الكوّاز، منى عبد الكريم حمد (٢٠٢٣). توظيف المؤشرات الطيفية (*NDWI-NDVI*) لمراقبة التغيرات في الغطاء الأرضي في أهوار شرقي الحمار للمدة (١٩٩١-٢٠٢٢)، مجلة الخليج العربي، المجلد (٣٥)، العدد (٣)، ص ٩٧٤.
7. Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295
٨. الأمين، رقية أحمد محمد وآخرون، الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية: تطبيقات عملية في التحليل المكاني. دار العصماء للطباعة والنشر، بغداد، ٢٠٢٥.
٩. شنيشل، بلسم شاكر، و عبود، نهرين حسن (٢٠١٩). التذبذب المناخي وأثره في التغير البيئي لأهوار الفرات الأوسط باستخدام تقنيات التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية، مجلة مداد الآداب، الجامعة العراقية، عدد خاص بالمؤتمر، ص (٣١٦).
١٠. قدس أسامة قوام (٢٠٢٣) استعمال نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في الكشف عن جفاف التربة في ناحية يثرب بدلالة مؤشر رطوبة التربة *NDMI* والغطاء النباتي (*NDVI*)، مجلة الآداب/ملحق ١٤٦، جامعة بغداد، ص (٣).
11. Eslamian, S., & Eslamian, F. A. (2017). *Handbook of Drought and Water Scarcity: Environmental Impacts and Analysis of Drought and Water Scarcity*. CRC Press, New York, p. (137).
12. Kogan, F. N. (1995). "Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection." *Advances in Space Research*, 15(11), pp. (91-100).