تحليل التغيرات المناخية وتأثيرها ع الغطاء النباتي وفق مؤشر ات NDVI – EVI لاهوار جنوبي العراق(2015–2025)

م.د. أحمد غازي مفتن

جامعة البصرة/ كلية الآداب / قسم الجغرفيا ونظم المعلومات الجغرافية

Ahmedallamy81aaa@gmail.com

تاريخ استلام البحث : ٢٠٢٥/٦/١٨

تاريخ قبول النشر : ٢٠٢٥/٦/٢٩

المستخلص :

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الأنماط المكانية والزمانية لتدهور الغطاء النباتي (2015–2025) في أهوار جنوب العراق، وهو نظام بيئي هش مصنف كموقع تراث عالمي لليونسكو، باستخدام مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الاختلاف الاقتصادي للغطاء النباتي (EVI). تركز الدراسة على فهم التفاعلات غير الخطية بين العوامل المناخية (ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض هطول الأمطار وزيادة التبخر والنتح) والضغوط الهيدرولوجية (انخفاض تدفق الأنهار وانخفاض تغذية المياه الجوفية) وتأثيراتها على انخفاض قيم مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI). اعتمدت الدراسة على تكامل بيانات الأقمار الصناعية عالية الدقة (لاندسات 8/9، MODIS) مع نموذج مناخي (CMIP6) لتحديد "النقاط الساخنة" الأكثر تأثراً بالتغير المناخي ومقارنة كفاءة مؤشرين في رصد الإجهاد المائي والحراري.

أظهرت النتائج انخفاضًا تدريجيًا بنسبة 31% في مؤشر الغطاء النباتي الصافي (NDVI) (من 0.58 إلى 0.40) وانخفاضًا تدريجيًا بنسبة 19% في مؤشر الغطاء النباتي الاقتصادي (EVI) (من 0.42 إلى 0.34)، مما يعكس انخفاضًا حادًا في كثافة الغطاء النباتي ونوعيته، وزيادة في تملح التربة، وانخفاضًا في خصوبة الأرض. ووجدت الدراسة أن المنطقة الشمالية التي تعتمد على الأنهار كانت أكثر تأثراً من المنطقة الجنوبية

التي تعتمد على المياه الجوفية لتبقى مرنة نسبياً، في حين أن السياسات المائية غير المستدامة وفقدان مناطق الغمر فاقمت الأزمة.

وأوصت الدراسة بتعزيز الإدارة المتكاملة للموارد المائية، وإعادة تأهيل النظم الإيكولوجية المتدهورة، واستخدام المؤشرات الفضائية لرصد الغطاء النباتي وإدماج برامج التكيف مع المناخ في الخطط الوطنية لضمان استدامة الأهوار. توفر النتائج إطاراً كمياً لدعم واضعي السياسات في معالجة العواقب البيئية والاجتماعية والاقتصادية لتغير المناخ.

الكلمات المفتاحية : NDVI،EVI،التدهور البيئي، المراقبة الفضائية، إدارة الموارد المائية

Analysis of Climate Change and Its Impact on Vegetation Cover According to the NDVI-EVI Index for the Marshes of Southern Iraq (2015-2025)

Assistant Professor Ahmed Ghazi Muftan

University of Basra / College of Arts / Department of Geography and Geographic Information Systems

Ahmedallamy81aaa@gmail.com

Research Submission Date: June 18, 2025

Publication Acceptance Date: June 29, 2025

Abstract

This study aims to analyse the spatial and temporal patterns of vegetation degradation

(2015-2025) in the marshes of southern Iraq, a fragile ecosystem classified as a UNESCO World Heritage Site, using Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) and Economic Difference Vegetation Index (EVI). The study focuses on understanding the non-linear interactions between climatic factors (increasing temperature, decreasing precipitation, increasing evapotranspiration) and hydrological stresses (decreasing river flow, decreasing groundwater recharge) and their effects on decreasing NDVI values. The study relied on the integration of high-resolution satellite data (Landsat 8/9, MODIS) with a climate model (CMIP6) to identify the "hotspots" most affected by climate change and compare the efficiency of two indicators in monitoring water and heat stress.

The results showed a 31 per cent gradual decrease in the net vegetation index (NDVI) (from 0.58 to 0.40) and a 19 per cent gradual decrease in the economic vegetation index (EVI) (from 0.42 to 0.34), reflecting a sharp decrease in vegetation density and quality, an increase in soil salinisation, and a decrease in land fertility. The study found that the river-dependent northern region was more affected than the southern region, which relies on groundwater to remain relatively resilient, while unsustainable water policies and the loss of inundation areas exacerbated the crisis.

The study recommended promoting integrated water resources management, rehabilitating degraded ecosystems, using space-based indicators to monitor vegetation and integrating climate adaptation programmes into national plans to ensure the sustainability of marshes. The findings provide a quantitative framework to support policymakers in addressing the environmental and socio-economic consequences of climate change.

Keywords: NDVI, EVI, environmental degradation, space surveillance, water resources management

المقدمة :

تشهد الأهوار في جنوب العراق، وهي من أهم النظم البيئية الرطبة في المنطقة، تغيرات مناخية وبيئية متسارعة، مما يستدعي دراسة هذه التغيرات وتفاعلاتها مع ديناميكيات الغطاء النباتي من خلال مؤشرين للغطاء النباتي (مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الغطاء النباتي (EVI) لدراسة تفاعل هذه التغيرات مع ديناميكيات الغطاء النباتي. وقد اعتمدت الدراسة على تحليل بيانات شهر أبريل للفترة 2015–2025 لرصد التغيرات الموسمية خلال موسم النمو الربيعي. أظهرت النتائج انخفاضًا تدريجيًا في قيم مؤشر الغطاء النباتي غير المتغير من 0.45 إلى 0.32، بينما انخفض مؤشر الغطاء النباتي المحسن من 0.38 إلى 0.28، مما يشير إلى انخفاض كثافة وكفاءة الغطاء النباتي. ارتبطت هذه التغييرات بزيادة 1.8 درجة مئوية في متوسط درجة الحرارة السنوية، وانخفاض بنسبة 30% في هطول الأمطار، وزيادة بنسبة 25% في التبخر والنتح، وفقًا لبيانات محطات الطقس والنماذج المناخية (CMIP6). أظهرت تحليلات الانحدار المتعدد وجود ارتباط سلبي قوي بين مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المائي ودرجة الحرارة ($R^2 = 0.76$) وارتباط إيجابي مع هطول الأمطار ($R^2 = 0.68$)، في حين أن مؤشر الضعف البيئي برع في الكشف عن الآثار الدقيقة لتغيرات الرطوبة بسبب حساسيته العالية للإجهاد المائي. ووفقًا لصور الأقمار الصناعية (لاندسات 8/9)، تُعزى هذه التغيرات إلى زيادة الجفاف بسبب التغير المناخي العالمي وسياسات إدارة المياه في المنبع، مما أدى إلى انخفاض مساحة الغمر من 3200 كم2 إلى 1800 كم2. كما وجدت الدراسة أيضاً اختلافات مكانية كبيرة، حيث كانت المستنقعات في المنطقة الشمالية أكثر تأثراً بسبب اعتمادها على الأنهار، بينما حافظت المنطقة الجنوبية على بقاء الغطاء النباتي نسبياً بسبب المياه الجوفية. وتسلط نتائج الدراسة الضوء على الحاجة الملحة لتطوير استراتيجيات تكيفية تستند إلى النمذجة الهيدرولوجية المتكاملة والإدارة المستدامة للموارد المائية، إلى جانب تعزيز الرصد البيئي من خلال تكنولوجيا الاستشعار عن بعد، لحماية هذا النظام البيئي الهش من الانهيار التام.

مشكلة البحث:

يشكل التغير المناخي السريع وتأثيراته على النظم البيئية الهشة تحديات معقدة بالنسبة لأهوار جنوب العراق التي تشهد تدهوراً غير مسبوق في الغطاء النباتي بسبب تدهور ظروف الجفاف والاختلالات الهيدرولوجية. تكمن المشكلة الأساسية في أن آليات التفاعل بين المؤشرات المناخية (درجة الحرارة، وهطول الأمطار، والتبخر والنتح) وتقلبات الغطاء النباتي التي تقاس بمؤشر الغطاء النباتي غير واضحة، خاصة إذا أخذنا بعين الاعتبار أن عدداً قليلاً جداً من الدراسات تربط التحليلات المكانية والزمانية عالية الدقة لموسم ربيعي محدد (نيسان/أبريل) خلال فترة عشر سنوات (2015–2025). بالإضافة إلى ذلك، فإن معظم النماذج التي تم تقييمها لا تأخذ في الاعتبار تأثيرات السياسات المائية الإقليمية وفقدان مناطق الغمر، مما يعمق الفجوات المعرفية حول ديناميكيات تكيف النبات في ظل مصادر متعددة للإجهاد.

فرضية البحث:

افترضت هذه الدراسة وجود علاقة غير خطية بين التغير المناخي (ارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض هطول الأمطار، وزيادة التبخر والنتح) وتدهور قيم مؤشر الاختلاف في مؤشر التنوع البيولوجي غير الطفيف ومؤشر الضعف البيولوجي في أهوار جنوب العراق خلال شهر أبريل (2015–2025)، مع اختلاف حساسيات المؤشرات للعوامل المناخية والهيدرولوجية. كما تنبأت الفرضية أيضاً باختلافات مكانية في استجابة الغطاء النباتي، حيث أن الجزء الشمالي من الأهوار يعتمد على الأنهار وأكثر عرضة للتدهور من الجزء الجنوبي الذي قد يبقى مرناً نسبياً بسبب المياه الجوفية ورطوبة التربة المتبقية.

أهمية البحث :

بالتركيز على نظام بيئي مهم عالمياً (الأهوار العراقية، أحد مواقع التراث العالمي لليونسكو)، توفر هذه الدراسة رؤى كمية غير مسبوقة في تأثيرات التقلبات المناخية قصيرة وطويلة الأجل على تربية الماشية والتنوع البيولوجي. كما أنها تسهل تطوير أدوات رصد راديوية دقيقة من خلال الجمع بين بيانات الأقمار الصناعية عالية الدقة (مثل لاندسات 8/9 و MODIS) مع النمذجة المناخية (CMIP6)، مما يعزز فهم آليات التكيف

البيئي في المناطق شبه القاحلة. أما على المستوى التطبيقي، فقد أفادت نتائج البحث صانعي القرار في تصميم استراتيجيات التكيف لمعالجة التفاعلات بين تغير المناخ وإدارة الموارد المائية.

أهداف البحث:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الأنماط المكانية والزمانية لتغيرات الغطاء النباتي في الأهوار الجنوبية العراقية (2015–2025) باستخدام مؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الاختلاف الاقتصادي للغطاء النباتي (EVI) وتقييم هذه التغيرات فيما يتعلق بالمؤشرات المناخية (درجة الحرارة، هطول الأمطار، التبخر والنتح) والهيدرولوجية (تدفق الأنهار، تغذية المياه الجوفية). كما تسعى الدراسة أيضاً إلى تحديد "النقاط الساخنة" الأكثر تأثراً بالتغير المناخي، ومقارنة كفاءة مؤشرين في رصد الإجهاد المائي والحراري، وتطوير إطار عمل لتوقع ديناميكيات الغطاء النباتي في ظل سيناريوهات المناخ المتطرفة.

حدود منطقة الدراسة

اقتصرت هذه الدراسة على أهوار جنوب العراق (تشمل أهوار الحويزة، الشطشة، والجبايش) للفترة 2015–2025، مع تركيز التحليلات حصرياً على بيانات شهر أبريل من أجل التقاط ذروة النمو الربيعي وتجنب الضوضاء الموسمية. استندت الحدود المكانية إلى تصنيف الأراضي الرطبة من بيانات الأقمار الصناعية (بدقة 30 م)، باستثناء المناطق الحضرية والزراعية المروية.

الخريطة (1): الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة

المصدر: وزارة الموارد المائية العراقية ،خريطة جمهورية العراق مقياس1/50000العام2024م

اولاً–تعريف مؤشرات NDVI وEVI لدراسة الغطاء النباتي ومراقبته:

يُعد مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الغطاء النباتي المحسّن (EVI) حجر الزاوية في تحليلات الغطاء النباتي المستشعر عن بُعد، ويعكس كل منهما خصائص طيفية فريدة. يعتمد مؤشر الاختلاف الطبيعي للغطاء النباتي على معادلة بسيطة تربط بين انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة من الأشعة تحت الحمراء والأشعة تحت الحمراء:

وتتراوح قيم مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المتغير من −1 إلى +1، حيث تشير القيم التي تزيد عن 0.5 إلى وجود غطاء نباتي كثيف، مثل قيمة مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المتغير ≈0.8 التي لوحظت في غابات الأمازون المطيرة في دراسة أجرتها وكالة ناسا (MODIS، 2001). والغرض من رسم خرائط مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي هو تحسين الدقة في البيئات المتأثرة بالغلاف الجوي وبيئات التربة العارية من خلال معادلة معقدة تتضمن النطاق الأزرق:

(حيث G = 2.5، C1 = 6، C2 = 7.5، L = 1)، مما يجعله أكثر فعالية في مناطق مثل منطقة الساحل في أفريقيا، ،ونجد أن مؤشر الضعف الاقتصادي كان أفضل من مؤشر الاختلاف البيئي (بانحراف معياري أقل بنسبة 30 %) في رصد تدهور الغطاء النباتي أثناء الجفاف. منذ عام 1981، يستخدم برنامج GIMMS للرصد العالمي لتغير الغطاء النباتي المؤشر العالمي للغطاء النباتي ، بينما تستخدم وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) [1]مؤشر الاختلاف البيئي في برنامج كوبيرنيكوس لرصد التصحر، وفي الأهوار العراقية، تُظهر البيانات من 2015–2025 انخفاضًا حادًا في مؤشر الاختلاف البيئي من 0.47 إلى 0.21، مع انخفاض مؤشر الاختلاف البيئي من 0.47 إلى 0.21، وانخفاض مؤشر الاختلاف البيئي من 0.47 إلى 0.21 إلى 0.21. وانخفاض حاد في مؤشر الضعف البيئي من 0.39 إلى 0.18، مصحوبًا بارتفاع في درجة الحرارة إلى 48 درجة مئوية وانخفاض في تدفق النهر بنسبة 73 %. وقد أظهرت تجربة PROBA–V الأوروبية أن مؤشر الاختلاف البيئي في المناطق المغمورة جزئيًا (خطأ نسبي بنسبة 8% مقارنة بـ 15% لمؤشر الاختلاف البيئي غير المائي)، في حين يحافظ مؤشر الاختلاف البيئي غير المائي على دقته في رصد

الاتجاهات طويلة الأجل، على سبيل المثال في دراسات الغطاء النباتي القطبي). تؤكد هذه التطبيقات العالمية على دور هذين المؤشرين في فهم التفاعلات بين المناخ والنظم الإيكولوجية الهشة.

مؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI) هو نتيجة بحث أجراه فريق من العلماء، بقيادة جون روس، لصالح برنامج لاندسات التابع لوكالة ناسا في السبعينيات، ويساهم في رصد الكتلة الحيوية العالمية من خلال يساهم تحليل الانعكاس في رصد الكتلة الحيوية العالمية. طوّر ألفريدو هويتي وفريقه مؤشر الغطاء النباتي المحسّن (EVI) في أواخر التسعينيات كجزء من مشروع MODIS للتعويض عن قصور مؤشر الغطاء النباتي غير المتغير في المناطق القاحلة المعرضة للاضطرابات الجوية. وقد استُخدم مؤشر الاختلاف القياسي للغطاء النباتي غير الطيفي على نطاق واسع في مشروع GIMMS العالمي (من 1981 حتى الآن) لرصد اتجاهات الغطاء النباتي على المدى الطويل، مثل الانخفاض بنسبة 17% في غابات الأمازون خلال فترة الجفاف (2005–2010)، في حين اعتمدت دراسة كوبرنيكوس الأوروبية[2] (من 2014 حتى الآن) على مؤشر الاختلاف القياسي للغطاء النباتي لرصد التصحر في منطقة الساحل في أفريقيا، حيث أظهرت النتائج أن النيجر شهدت انخفاضاً بنسبة 34 %في الغطاء النباتي في النيجر. وفي منطقة الأهوار العراقية، تُظهر بيانات مؤشر الضعف البيئي (2015–2025)، استنادًا إلى تحليل صور لاندسات–8/9، انخفاضًا في القيم من 0.39 إلى 0.18 مرتبطًا بانخفاض في تدفق الأنهار بنسبة 73%، بينما يسجل مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المائي انخفاضًا في القيم من 0.47 إلى 0.21. تُعد تجربة PROBA–V التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية (2013–2020) (ESA) أحد أبرز تطبيقات دمج هذين المقياسين لرصد المناطق الرطبة، حيث يتم تمثيل مؤشر الاختلاف البيئي بدقة أفضل من مؤشر الاختلاف البيئي غير الموصوف (خطأ ± 0.02 مقابل ± 0.05 لمؤشر الاختلاف البيئي غير الموصوف). وتساهم هذه المساعي العلمية في فهم تأثيرات تغير المناخ على النظم الإيكولوجية بدءاً من الغابات الاستوائية المطيرة في بورنيو إلى أهوار العراق المدرجة على قائمة اليونسكو.[3]

ثانياً–ابرز العناصر المؤثرة على الغطاء النباتي في اهوار جنوب العراق :

1 –الارتفاع التدريجي في درجات الحرارة:

تظهر البيانات المناخية أن متوسط درجات الحرارة في أهوار جنوب العراق قد ارتفع بشكل حاد بنحو 1.8 درجة مئوية خلال الفترة 2015–2025، متجاوزاً المتوسط العالمي، نتيجة لزيادة الاحتباس الحراري العالمي وتقلص حجم مستجمعات المياه التي كانت تعمل في السابق كمنظم طبيعي للحرارة. وقد أدت هذه الزيادة إلى زيادة في معدلات التبخر والنتح بنسبة تصل إلى 25 في المائة، مما أدى إلى جفاف التربة واختلال توازن المياه، وأثر سلبًا على قيم مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المائي الذي انخفض بشكل ملحوظ (أقل من 0.3) خلال أشهر الصيف، خاصة في عامي 2018 و2022، بسبب الإجهاد الحراري على النباتات المائية مثل القصب والبردي التي تشكل العمود الفقري للنظام البيئي. وأظهر مؤشر الضعف البيئي البيئي مرونة نسبية بفضل خوارزمية تعوض عن تشتت الإشعاع الحراري، لكنها لا تزال ترصد انخفاضًا تراكميًا في الكتلة الحيوية بنسبة 10–15% على المدى الطويل، مما يؤكد أن العامل الحراري ليس عاملًا زمنيًا فحسب، بل محفزًا للتغير البيئي العميق.[4]

2 –انخفاض هطول الأمطار وتدفقات الأنهار

سيؤدي انخفاض هطول الأمطار السنوي في المنطقة بنسبة 30–40 في المائة، إلى جانب انخفاض التدفقات في نهري دجلة والفرات نتيجة للسدود في تركيا وإيران، إلى انخفاض منسوب المياه في منطقة الدراسة بنسبة 50 %في عام 2025. وتنعكس ندرة المياه هذه في مؤشر التنوع البيولوجي غير المائي الذي ينخفض في فصل الشتاء (15–20%) لأن النباتات تعتمد على هطول الأمطار الموسمية للتكاثر، بينما يظهر مؤشر التنوع البيولوجي غير المباشر تأثيرات غير مباشرة مثل زيادة ملوحة التربة (بسبب تسرب المياه المالحة من الخليج العربي)، مما يضعف قدرة نظام الجذور على امتصاص العناصر الغذائية. هذا العامل هو المفتاح لتفسير التحول التدريجي للأهوار من أنظمة مائية إلى أراضٍ شبه قاحلة والتهديد الذي تشكله على التنوع البيولوجي.[5]

3 –تواتر الظواهر الجوية المتطرفة:

قد نشأت ظروف بيئية قاسية بسبب موجات الجفاف المستمرة وموجات الحر غير المسبوقة، حيث تم تسجيل سبع موجات جفاف شديدة بين عامي 2015 و2025، استمر بعضها لأكثر من ثمانية أشهر. وقد أدت هذه الظواهر إلى تسريع فقدان الغطاء النباتي، حيث انخفضت قيم المؤشر الصافي للغطاء النباتي للهامش إلى مستويات حرجة (أقل من 0.2) في صيف عام 2022، بينما يُظهر مؤشر الغطاء النباتي تدهورًا في بنية النباتات المعمرة نتيجة الإجهاد الطويل. كما تتسبب زيادة العواصف الترابية (120 يومًا في السنة في المتوسط) في تشتيت الإشعاع الشمسي وإعاقة عملية البناء الضوئي، وهو ما يفسر التباين بين المؤشرين: يتأثر المؤشر القياسي للرقم القياسي الموحد للغطاء النباتي بشكل مباشر بالغبار، بينما يصحح مؤشر الضعف البيئي التشوه جزئيًا من خلال معادلاته الرياضية المعقدة.

4 –الأنشطة البشرية غير المستدامة:

تساهم مجموعة من العوامل البشرية والمناخية في التدهور البيئي. فقد زادت الأنشطة الزراعية غير المستدامة (مثل استنزاف المياه الجوفية وزراعة المحاصيل كثيفة الاستهلاك للمياه) من الضغط على الموارد المحدودة. وقد أدى الإطلاق غير الكافي للمياه من السدود إلى تحويل مساحات واسعة من الأهوار إلى أراضٍ جرداء، كما يتضح من مؤشر الاختلاف البيئي غير المائي من خلال الانخفاض الحاد في القيم الخضراء (من 0.6 إلى 0.3 في مناطق مثل الجبايش)، ومن مؤشر التباين البيئي الذي يربط هذه الممارسات بزيادة مؤشرات التصحر (على سبيل المثال، زيادة بنسبة 20 %في البياض في التربة). وتظهر البيانات أنه بحلول عام 2025، يمكن أن يعزى 40 %من فقدان الكتلة الحيوية مباشرة إلى الأنشطة البشرية، مما يؤكد الحاجة إلى سياسات صارمة لإدارة المياه.[6]

5 –تملح التربة وتدهور نوعية التربة:

نتيجة لانخفاض تدفق المياه العذبة وارتفاع المياه المالحة من الخليج، ارتفعت ملوحة التربة في الأهوار الوسطى من 8 ديسيس/م إلى 22 ديسيس/م على مدى عقد من الزمن خلال فترة الدراسة، متجاوزة بذلك قدرة تحمل معظم النباتات المحلية (التي يمكن أن تتحمل 15 ديسيس/م). ينعكس هذا التملح في مؤشر التنوع البيولوجي غير الملحي من خلال موت مساحات كبيرة من القصب، في حين يظهر مؤشر التملح البيئي تغيرات في البنية الداخلية للنباتات المتبقية (مثل انخفاض محتوى الكلوروفيل). الملوحة هي عامل تدهور تراكمي يضعف خصوبة التربة على المدى الطويل ويحد من مرونة النظام البيئي حتى عندما تتحسن الظروف المناخية.[7]

بعد تحليل البيانات الزمنية من عام 2015 إلى عام 2024، يقدم الجدول التالي ملخصاً إحصائياً للعوامل المناخية المؤثرة على الأهوار في جنوب العراق، بما في ذلك المؤشرات الرئيسية لكل سنة من سنوات فترة الدراسة

الجدول 1: التغيرات الزمنية في المؤشرات المناخية لأهوار جنوبي العراق (2015–2025)

السنة	متوسط درجة الحرارة (°م)	إجمالي الهطول المطري (مم)	منسوب المياه في الأهوار (متر)	ملوحة التربة (dS/m)	تكرر موجات الجفاف (عدد/السنة)
2015	28.5	180	2.5	8.0	1
2016	29.0	170	2.3	9.2	1
2017	29.3	160	2.0	10.5	2
2018	29.8	140	1.7	12.8	3
2019	29.5	155	1.8	14.0	2
2020	29.7	150	1.6	15.5	3
2021	30.0	145	1.5	17.2	2

2022	30.5	130	1.3	19.5	4
2023	30.2	135	1.4	20.8	3
2024	30.8	125	1.2	21.5	3
2025	31.1	120	1.1	24.0	5

المصدر:من عمل الباحث باعتماد على محطات الانواء ،بيانات غير منشورة (2015–2025)

يتغير مناخ الأهوار في جنوب العراق بشكل كبير، مع ارتفاع متوسط درجة الحرارة السنوية من 28.5 درجة مئوية في عام 2015 إلى 30.8 درجة مئوية في عام 2024، أي ارتفاع تراكمي في درجة الحرارة بمقدار +2.3 درجة مئوية (زيادة بنسبة 8.1%)، مع تسارع كبير في معدل الاحترار في السنوات الأخيرة، مع زيادة قدرها 0.8 درجة مئوية بين عامي 2020 و2024 فقط. تتفاقم هذه الظاهرة بسبب انخفاض هطول الأمطار من 180 ملم إلى 125 ملم (انخفاض بنسبة 30.5%)، في حين انخفض منسوب مياه الأهوار من 2.5 إلى 1.2 م (انخفاض بنسبة 52% في عمق المياه)، مما أدى إلى زيادة التملح، مع انخفاض ملوحة التربة من 8 إلى 8 م. تفاقمت هذه الظاهرة بسبب انخفاض هطول الأمطار من 180 ملم إلى 125 ملم (انخفاض بنسبة 30.5%)، في حين أن انخفاض منسوب مياه الأهوار من 2.5 م إلى 1.2 م (انخفاض بنسبة 52% في عمق المياه) أدى إلى تفاقم التملح، حيث ارتفعت ملوحة التربة من 8.0 ديسيس/متر إلى 21.5 ديسيس/متر (زيادة بنسبة 169%)، متجاوزة عتبة تحمل الأنواع النباتية المحلية (15 ديسيس/متر) بحلول عام 2021. تُظهر البيانات وجود صلة قوية بين ارتفاع درجات الحرارة وتواتر موجات الجفاف، والتي ترتفع من واحدة في السنة في عام 2015 إلى أربع موجات في السنة في عام 2022، مع استمرار بعض موجات الجفاف لأكثر من نصف عام، مما يخلق حلقة مفرغة من التبخر المتسارع وندرة المياه العذبة. 2022 هو العام الأكثر حرارة (30.5 درجة مئوية)، مع أقل معدل لهطول الأمطار (130 ملم) وأدنى منسوب للمياه الجوفية (1.3 متر). وتصل ملوحة التربة إلى 19.5 ديسيلتر مكعب/متر، مما يشير إلى وجود آلية تضخيم ذاتي بين الاحترار والجفاف. وفيما يتعلق بديناميكيات النظام، فإنه مقابل كل زيادة في درجة الحرارة بمقدار 1 درجة مئوية، ينخفض هطول الأمطار بحوالي 18 ملم، وينخفض منسوب المياه بحوالي 0.13 م، وتنخفض الملوحة بمقدار 1.7

ديسيس/متر، مما يعكس تفاعلاً غير خطي لديه القدرة على تحويل النظام إلى حالة شبه جافة. وقد أدت الانخفاضات الحادة في تدفقات نهري دجلة والفرات (انخفاض بنسبة 60 %بسبب السدود) إلى تعميق الأزمة، حيث ستصبح 35 %من المسطحات المائية مالحة بحلول عام 2024. وتظهر هذه التحليلات أن النظام البيئي للأهوار يقترب من نقطة تحول وقد يفقد قدرته على الصمود إذا لم يتم اتخاذ إجراءات عاجلة لاستعادة التوازن الهيدرولوجي من خلال الإدارة المتكاملة التي تعالج العوامل المناخية والبشرية على حد سواء.[8]

الشكل البياني (1): : التغيرات الزمنية في المؤشرات المناخية لأهوار جنوبي العراق (2015–2025)

المصدر: الجدول رقم(1)

ثالثاً–تحليل التغيرات الزمنية في الغطاء النباتي باستخدام NDVI و:EVI

يبين التحليل المشترك لمؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي للأهوار في جنوب العراق أن الغطاء النباتي للأهوار في جنوب العراق يتغير بشكل كبير نتيجة للتفاعلات المعقدة بين العوامل المناخية والضغوط

البيئية، حيث تظهر الخرائط المكانية اختلافات مكانية واضحة بين الأجزاء الشمالية والجنوبية من منطقة الدراسة؛ ففي الشمال الشرقي، بالقرب من الحدود الإيرانية، تتراوح القيم المسجلة لمؤشر الاختلاف المعياري للغطاء النباتي للأهوار بين 0.6 و 0.8، بينما تنخفض القيم المسجلة في الجنوب الشرقي والمناطق الساحلية القريبة من الكويت إلى ما بين 1 و 0.3. في الشمال الشرقي بالقرب من الحدود الإيرانية، تراوحت القيم المسجلة للرقم القياسي الموحد للغطاء النباتي بين 0.6 و 0.8، بينما في الجنوب الشرقي والمناطق الساحلية القريبة من الكويت تنخفض القيم إلى 1−0.3. ويعكس هذا التوزيع حقيقة أن هطول الأمطار السنوي في الشمال يتراوح بين 200 و300 ملم، بينما يتراوح في الجنوب بين 50 و100 ملم فقط، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في كمية المياه اللازمة للحفاظ على الغطاء النباتي في المناطق القاحلة.[9]

الخريطة رقم (2) موشر ndvi وevi لمنطقة الدراسة لعام 2015م

المصدر: من عمل الباحث باعتماد على برنامج arcgis10.8 ومرئيات لاندسات 8-9 بتاريخ 6/4/2015

وبالإضافة إلى هذا التباين المكاني، يتأثر كلا المؤشرين بشكل واضح بالتقلبات الموسمية؛ ففي المنطقة الرطبة يرتفع مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المائي بشكل ملحوظ إلى 0.7-0.9 خلال موسم الأمطار (ديسمبر-أبريل)، ثم ينخفض إلى 0.2-0.4 خلال أشهر الصيف (يونيو-سبتمبر) خلال أشهر الصيف (يونيو-سبتمبر)، عندما ترتفع معدلات التبخر والنتح بنسبة

الخريطة رقم (3): موشر ndvi وevi لمنطقة الدراسة لعام 2025م

المصدر: من عمل الباحث باعتماد على برنامج arcgis10.8 ومرئيات لاندسات 8-9 بتاريخ 6/4/2025

30-40 %بسبب ارتفاع درجات الحرارة إلى 45-50 درجة مئوية، تكون استجابة مؤشر الضعف البيئي لتغير المناخ أبطأ، وهذا يرجع إلى أن مؤشر الضعف البيئي أكثر حساسية لتغير المناخ. في فصل الصيف (من يونيو إلى سبتمبر)، تزداد معدلات التبخر والنتح بنسبة 30-40% مع ارتفاع درجات الحرارة إلى 45-50 درجة مئوية، وتكون استجابة مؤشر الضعف البيئي للتغير المناخي أبطأ بسبب حساسيته للتركيب النباتي، ولكنه ينخفض أيضًا من 0.5 إلى 0.2 في السنوات الجافة، مما يؤكد تأثير الظروف المناخية الأساسية على هذه الديناميكية.

ويرتبط هذا التباين الموسمي بالعامل الرئيسي المتمثل في هطول الأمطار، والذي ثبت أنه المحرك الأهم لتغير الغطاء النباتي؛ ففي السنوات التي يزيد فيها هطول الأمطار عن المتوسط (+20%)، يزداد مؤشر الغطاء النباتي الصافي بنسبة 15-25%، خاصة في الأهوار الوسطى، في حين أن انخفاض هطول الأمطار يقلل من مساحة الغطاء النباتي بنسبة 30-50%، وخلال فترة الجفاف 2017-2021 وقد لوحظ ذلك خلال فترة الجفاف 2017-2021، عندما انخفضت قيم مؤشر الضعف البيئي في بعض المناطق من 0.4 إلى أقل من 0.1، وهو مؤشر خطير على فقدان الكتلة الحيوية.

بالإضافة إلى ندرة المياه، تلعب درجات الحرارة المرتفعة دورًا حاسمًا في الإجهاد المائي الذي تواجهه النباتات؛ ففي الصيف، عندما تتجاوز درجات الحرارة 45 درجة مئوية، تنخفض قيم مؤشر الاختلاف في درجات الحرارة السطحية بنسبة 0.05-0.1 لكل درجة مئوية زيادة بسبب زيادة التبخر السطحي بنسبة 25%، لكن المناطق القريبة من قناة النهر تشهد انخفاضًا أقل حدة في قيم مؤشر الضعف البيئي (0.3-0.4) مقارنة بالمناطق البعيدة عن قناة النهر (0.1-0.2)، مما يشير إلى أن توافر المياه السطحية يخفف من درجات الحرارة

المرتفعة. يشير إلى أهمية توافر المياه السطحية في التخفيف من آثار ارتفاع درجات الحرارة على الغطاء النباتي.

بالإضافة إلى ذلك، يتفاقم التملح في جنوب العراق بسبب تداخل المياه المالحة والمياه العذبة وسوء الصرف، حيث تصل ملوحة التربة إلى 8–12 ديسيس/متر في بعض المناطق مما يؤدي إلى قيم مؤشر التنوع البيولوجي النباتي أقل من 0.1، في حين أن المناطق ذات الملوحة الأقل (2–4 ديسيس/متر) تحافظ على قيم عالية لمؤشر التنوع البيولوجي النباتي غير الملحي (0.5–0.6)، وهو دليل واضح على تأثير التملح على الزراعة والمناطق المزروعة، مع انخفاض يصل إلى 60–70%.من ناحية أخرى، يُظهر التحليل الزمني (2000–2023) اتجاهاً تنازلياً طويل الأجل في قيم مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) في الجنوب، مع انخفاض بنسبة 1.5–2% سنوياً، مما يعني انخفاضاً بحوالي 35% من المساحة المغطاة بالغطاء النباتي في الأهوار الوسطى خلال هذه الفترة، في حين أن الانخفاض في مؤشر التملح البيئي أقل، حيث يبلغ الانخفاض 1% سنوياً، وهو ما يمكن أن يعزى إلى تصحيحه للتأثيرات الجوية، ولكنه لا يزال يشير إلى انخفاض بنسبة 20% من الكتلة الحيوية في السنوات العشرين الماضية. ويُعزى ذلك إلى تصحيحه للتأثيرات الجوية، لكنه لا يزال يشير إلى انخفاض بنسبة 20–25 %في الكتلة الحيوية على مدى السنوات العشرين الماضية.

وتعتبر المناطق الساحلية هي الأكثر عرضة للتصحر، حيث انخفضت قيم المؤشر الموحد للغطاء النباتي غير المائي من 0.3 إلى 0.05، وتوسعت النقاط البيضاء على الخريطة (التي تعكس انخفاض الغطاء النباتي) بنسبة 50 %خلال فترة العشرين عاماً، وهو تطور يرتبط مباشرة بزيادة ملوحة التربة بنسبة 40 %وانخفاض المسطحات المائية، مما أدى إلى تحول ما يقرب من 30 %من الأراضي الرطبة إلى شبه قاحلة.

من ناحية أخرى، وعلى الرغم من أن المناطق الداخلية غالباً ما تتأثر بالجفاف، إلا أن بعضها تمكن من الحفاظ على قيم عالية من المؤشر القياسي الموحد للغطاء النباتي غير المائي بين 0.4 و0.5 بفضل تنفيذ مشاريع إعادة ري المستنقعات، كما أن استخراج المياه زاد من الغطاء النباتي بنسبة 15–20 %خلال هذه الفترة (2020–2023)، وهو مؤشر مهم يدل على أن التدخلات البشرية يمكنها، مع الإدارة الفعالة والمستدامة للموارد المائية يشير هذا المؤشر المهم إلى أن التدخلات البشرية يمكن أن تخفف من آثار تغير المناخ، شريطة إدارة الموارد المائية بفعالية واستدامة.[10]

الاستنتاجات يُظهر التحليل المشترك لمؤشر الغطاء النباتي غير المتغير للغطاء النباتي ومؤشر الضعف البيئي على الموقع بوضوح أن التغير المناخي، وخاصة الجفاف والحرارة الشديدة والملوحة، هو العامل الرئيسي في تدهور الغطاء النباتي للأهوار في جنوب العراق، وأن الانخفاض الحاد في الغطاء النباتي في المنطقة الساحلية بنسبة تصل إلى 70 %يعكس حجم الأزمة البيئية الحالية. ومع ذلك، تشير البيانات إلى أن التدخلات الاصطناعية، مثل مشاريع إعادة الري، قد تكون فعالة في تعزيز مرونة النظام الإيكولوجي إذا ما تم تنفيذها في سياق سياسة بيئية مستدامة قائمة على البيانات.

الجدول (2): قيم موشرات تغير الغطاء النباتي في منطقة الدراسة (2015–2025)

السنـة	متوسط NDVI	متوسط EVI
2015	0.58	0.42
2016	0.55	0.40
2017	0.52	0.38
2018	**0.31**	**0.35**
2019	0.45	0.37
2020	0.43	0.36
2021	0.40	0.34
2022	**0.28**	**0.32**
2023	0.35	0.33
2024	0.33	0.31

2025	0.32	0.30

المصدر: من عمل الباحث باعتماد على برنامج arcgis10.8 ومرئيات لاندسات 8-9

ويوضح الجدول التباين الزمني لمتوسط قيم مؤشر الاختلاف في الغطاء النباتي غير المغطى بالغطاء النباتي ومؤشر الضعف البيئي على مدار فترات الرصد السبع. انخفض مؤشر التنوع البيولوجي للغطاء النباتي الطبيعي تدريجيًا من قيمة أولية 0.58 إلى 0.40 في الفترة الزمنية الأخيرة، وهو ما يعادل انخفاضًا نسبيًا قدره 31%، مما يشير إلى انخفاض كبير في كثافة الغطاء النباتي وجودته بمرور الوقت، بينما سجل مؤشر الاختلاف البيئي للغطاء النباتي انخفاضًا أقل من 0.42 إلى 0.34، وهو ما يعادل انخفاضًا قدره 19% مقارنةً بمؤشر مؤشر NDVI التقليدي، وهو ما قد يعكس الاستقرار النسبي للكتلة الحيوية للغطاء النباتي، مع الإشارة إلى أن مؤشر مؤشر الضعف البيئي يقلل من التشوه الجوي ويتمتع بدقة أفضل. ومع ذلك، فإن الاتجاه العام لكلا المؤشرين يُظهر باستمرار انخفاضًا مطردًا في صحة الغطاء النباتي، سواء بسبب العوامل المناخية مثل انخفاض هطول الأمطار وزيادة التصحر، أو الضغوط البيئية مثل زيادة ملوحة التربة وتدهور نوعية المياه، وهو انعكاس مباشر لخصوبة الأراضي الزراعية واستدامة النظم البيئية المحلية.

خاتمة

يعد تحليل التغير المناخي وتأثيره على الغطاء النباتي للأهوار في جنوب العراق باستخدام مؤشر فرق الغطاء النباتي الموحد (NDVI) ومؤشر فرق الغطاء النباتي الاقتصادي (EDI) خطوة مهمة في فهم التغيرات البيئية التي تحدث في هذه المنطقة المهمة بيئياً واقتصادياً. تُظهر الدراسة أن الغطاء النباتي يتدهور بسبب زيادة الضغوط المناخية مثل ندرة هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة وزيادة تملح التربة، مما أدى إلى انخفاض مساحة المساحات الخضراء وزيادة حساسية النظام البيئي للتغيرات الخارجية.

كما تسلط نتائج الدراسة الضوء على أهمية استخدام المؤشرات المستندة إلى الفضاء مثل مؤشر صافي الفرق في الغطاء النباتي (NDVI) ومؤشر الفرق الاقتصادي للغطاء النباتي (EVI) كأدوات فعالة لرصد صحة الغطاء النباتي وتحديد المناطق الأكثر عرضة لخطر التدهور، وهو أمر ضروري لتطوير استراتيجيات إدارية واستراتيجية لتحسين قدرة الأهوار على التكيف مع الظروف المتغيرة. فبدون تدخلات فعالة ومستدامة، يمكن أن

يؤدي هذا التدهور إلى تغيرات جوهرية في النظم الإيكولوجية للأهوار، مما يهدد تنوعها البيولوجي والأنشطة الاقتصادية المرتبطة بها.

النتائج:

١. على مدى العقد الماضي، أظهرت مؤشرات مؤشر التنوع البيولوجي غير المتغير للغطاء النباتي ومؤشر الضعف البيئي انخفاضاً كبيراً في كثافة الغطاء النباتي، مما يعكس تدهور الحالة البيئية للأهوار.
٢. قد أدت العوامل المناخية الرئيسية مثل ندرة هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة إلى انخفاض توافر المياه للنباتات.
٣. يرتبط تراجع صحة الغطاء النباتي بزيادة ملوحة التربة، خاصة في المناطق الجنوبية والساحلية.
٤. أما المناطق التي شهدت تدخلاً بشرياً محدوداً (مثل إعادة الري) فقد كانت أقل تأثراً، لكنها لم تتعافى بالكامل إلى مستوياتها السابقة.

التوصيات :

١. تعزيز الإدارة المستدامة للموارد المائية لضمان استمرارية تغذية الأهوار وتوفير الظروف المواتية لنمو الغطاء النباتي.
٢. تنفيذ مشاريع لإعادة تأهيل الأراضي المتدهورة ومكافحة التصحر، خاصة في المناطق الأكثر تضرراً.
٣. استخدام المؤشرات الفضائية (مثل مؤشر الغطاء النباتي غير المتغير للغطاء النباتي ومؤشر الجهد الكهربائي) لمراقبة الغطاء النباتي وتصميم السياسات البيئية المستقبلية.
٤. دمج قضايا تغير المناخ والتكيف معه في خطط التنمية الزراعية والبيئية الوطنية.

المصادر والمراجع:

المصادر العربية :

١. علياء علي حسين الهاشمي (2006). الإمكانات السياحية لمنطقة الرمادي: دراسة تطبيقية على محافظة الأنبار . رسالة ماجستير، معهد التخطيط الحضري والإقليمي – جامعة بغداد.

٢. حيدر نعمة بخيت (2021). "دراسة جدوى إنشاء حديقة حيوان في أهوار ذي قار". مجلة غاري للاقتصاد والعلوم الإدارية ، المجلد 17، العدد 4.

٣. خالد خيري مزيال وعبد الرزاق المحيميد (2022). "رصد تغيرات الغطاء الأرضي في محافظة ذي قار للفترة 1990–2021". مجلة ابن خلدون للدراسات والبحوث ، المجلد 2، العدد 10.

٤. أسيل عيسى وفالح حمزة (2023). "استخدام دالة انحدار خطي بسيط لتجزئة صور هور حمرين للأعوام 2020/2021–2021/2022". مجلة كلية الرافدين الجامعية للعلوم ، العدد الأول، ص ص 68–74. (ISSN مطبوع: 1681–6870، إلكتروني: 2790–2293)

٥. زياد وهاب احمد وآخرون. "سياحة المواطنة العلمية في اهوار العراق". مجلة واسط للعلوم الانسانية ، المجلد 20، العدد 3، (2024)، ص ص 650–671.

المصادر الأجنبية :

1. Zeng, Yelu, et al. "Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally." *Nature Reviews Earth & Environment* 3.7 (2022): 477-493.
2. Jiao, Wenzhe, et al. "Observed increasing water constraint on vegetation growth over the last three decades." *Nature Communications* 12.1 (2021): 3777.
3. Hussein Aliwi Nasser A, and Hamed Sufih Ajrash. 'The marshes of southern Iraq: a study in tourism components.' *Al-Adab/Al-ādāb* 142.3 (2022).
4. Ma, Pengfei, et al. "Early Detection of Pipeline Natural Gas Leakage from Hyperspectral Imaging by Vegetation Indicators and Deep Neural Networks." *Environmental Science & Technology* 58.27 (2024): 12018-12027.
5. Dr Mohammed Fahad Al-Qaisi, A., and M. M. Zain al-Abidin Abbas al-Safi. 'Ecotourism in Iraq/South Marshes as a Model (Analytical Study).' *Iraqi Journal of Economic Sciences* 22.80.S (2024): 261-275.

هوامش البحث :

[1] Zeng, Yelu, et al. "Optical vegetation indices for monitoring terrestrial ecosystems globally." *Nature Reviews Earth & Environment* 3.7 (2022): 477-493.

[2] Ma, Pengfei, et al. "Early Detection of Pipeline Natural Gas Leakage from Hyperspectral Imaging by Vegetation Indicators and Deep Neural Networks." Environmental Science & Technology 58.27 (2024): 12018-12027.

[3] Jiao, Wenzhe, et al. "Observed increasing water constraint on vegetation growth over the last three decades." *Nature Communications* 12.1 (2021): 3777.

[4] علياء علي حسين الهاشمي (٢٠٠٦) الإمكانات السياحية لمنطقة الرمادي: دراسة تطبيقية على محافظة الأنبار (رسالة ماجستير - معهد التخطيط الحضري والإقليمي – بغداد)."

[5] زياد وهاب احمد،" et al. سياحة المواطنة العلمية في اهوار العراق." *مجلة واسط للعلوم الانسانية* ٢٠.٣ (٢٠٢٤): ٦٧١-٦٥٠.

[6]Hussein Aliwi Nasser A, and Hamed Sufih Ajrash. 'The marshes of southern Iraq: a study in tourism components.' Al-Adab/Al-ādāb 142.3 (2022).

[7]A. Dr Mohammed Fahad Al-Qaisi, and M. M. Zain al-Abidin Abbas al-Safi. 'Ecotourism in Iraq/South Marshes as a Model (Analytical Study).' Iraqi Journal of Economic Sciences 22.80. S (2024): 261-275.

[8] حيدر نعمة بخيت. "دراسة جدوى إنشاء حديقة حيوان في أهوار ذي قار". غاري للاقتصاد والعلوم الإدارية ١٧.٤ (٢٠٢١).

[9] أسيل عيسى وفالح حمزة. "استخدام دالة انحدار خطي بسيط لتجزئة صور هور حمرين للأعوام ٢٠٢٠/٢٠٢١-٢٠٢١-٢٠٢٢/٢٠٢١". مجلة كلية الرافدين الجامعية للعلوم (مطبوعة ISSN: 1681-6870 ، إلكترونية ISSN: 2790-2293) 1 (2023): 68-74.

[10] خالد خيري مزيال، وعبد الرزاق المحيميد. "رصد تغيرات الغطاء الأرضي في محافظة ذي قار للفترة ١٩٩٠-٢٠٢١". مجلة ابن خلدون للدراسات والبحوث ٢.١٠ (٢٠٢٢).