



(٤٨٨) (٥١٤)

العدد السادس

والثلاثون

تحليل المؤشرات الهيدرولوجية في هور الحمار باستخدام معطيات القمر الصناعي

(Sentinel-2)

م.د. مجيب رزوقي فريح

مركز المستنصرية للدراسات العربية والدولية - الجامعة المستنصرية

mujebfreh@uomustansiriyah.edu.iq

المستخلص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل التغيرات الهيدرولوجية في هور الحمار بالاعتماد على معطيات القمر الصناعي (Sentinel-2)، من أجل تحديد تذبذب المساحات المغمورة بالمياه وتغير خصائصها البيئية، وتقييم كفاءة المؤشرات الهيدرولوجية في تمييز المياه عن التربة الرطبة والغطاء النباتي، وتتمثل مشكلة البحث في تعرض هور الحمار لتقلبات هيدرولوجية ناتجة عن التغيرات المناخية وتراجع الإطلاقات المائية، مما أدى إلى تباين المساحات المغمورة بالمياه، فضلا عن محدودية استثمار بيانات الاستشعار عن بعد الحديثة في تحليل هذه التغيرات، اعتمدت الدراسة على مجموعة من المؤشرات الطيفية شملت (NDWI و MNDWI) لرصد المسطحات المائية، و (NDMI) لتقييم الحالة الرطوبية، و (NDVI) لتحليل الغطاء النباتي والمائي، إضافة إلى (NDTI و NDCI) لتقدير عكورة المياه والنشاط الطحلي، وذلك من خلال التحليل الكمي والتمثيل المكاني للخرائط لسنتي (٢٠١٧ و ٢٠٢٥)، وأظهرت النتائج تراجعا نسبيا في الامتداد المائي والرطوبة السطحية، يقابله انخفاض الغطاء النباتي وتغيرات نوعية في المياه، مما يشير إلى اتجاه عام نحو اختلال التوازن البيئي والهيدرولوجي في هور الحمار.

الكلمات المفتاحية: هور الحمار، الاستشعار عن بعد، المؤشرات الطيفية، التغيرات الهيدرولوجية، المياه.



Hydrological Indicators Analysis of Al-Hammar Marsh Using Satellite Data (Sentinel-2)

Asst. Prof. Majeed Rzouqi Freih

Al-Mustansiriyah Center for Arab and International Studies – Al-Mustansiriyah University

mujebfreh@uomustansiriyah.edu.iq

Abstract

This study aims to analyze hydrological changes in Hawr Al-Hammar using Sentinel-2 satellite data in order to identify fluctuations in inundated areas and changes in their environmental characteristics, as well as to evaluate the efficiency of hydrological indices in distinguishing water bodies from wet soils and vegetation cover. The research problem arises from the exposure of Hawr Al-Hammar to hydrological fluctuations driven by climate change and reduced water releases, which have led to variations in inundated areas, in addition to the limited utilization of modern remote sensing data in analyzing these changes. The study employed a set of spectral indices, including NDWI and MNDWI for mapping water bodies, NDMI for assessing surface moisture conditions, NDVI for analyzing vegetation and water-related cover, as well as NDTI and NDCI for estimating water turbidity and algal activity. The analysis was based on quantitative assessment and spatial mapping for the period 2017–2025. The results indicate a relative decline in open water extent and surface moisture, accompanied by a reduction in vegetation cover and qualitative changes in water properties, suggesting a general trend toward environmental and hydrological imbalance in Hawr Al-Hammar.

Keywords: Hawr Al-Hammar, Remote Sensing, Spectral Indices, Hydrological Changes, Water

المقدمة:

يصنف العراق خامساً بين أكثر الدول هشاشة في العالم تجاه التغيرات المناخية ويواجه تحديات متعددة ومتفاقمة ناجمة عن هذه التغيرات التي تتمثل بارتفاع درجات الحرارة، وانخفاض معدلات الأمطار، وزيادة شدة الظواهر الجوية المتطرفة مثل الجفاف، وقد تجلت آثارها بشكل خاص على أهواره لاسيما هور الحمار الذي يعد من أهم النظم البيئية الرطبة لما يحتويه من تنوع بيولوجي



فريد، وتراث ثقافي عريق، وأهمية اقتصادية واجتماعية كبيرة لسكان المنطقة، ويمثل خزاناً مائياً طبيعياً ذات أهمية هيدرولوجية بالغة فهو يؤدي دوراً رئيساً في تنظيم الجريان السطحي وتخزين المياه وتغذية المياه فضلاً عن كونه بيئة طبيعية متنوعة لأنواع النباتات والحيوانية، و في هذا الصدد تم تحليل المؤشرات الهيدرولوجية كونها أدوات كمية تهدف الى تقييم الحالة البيئية للمساحات الرطبة، وتشمل هذه المؤشرات (متغيرات مثل درجة الرطوبة السطحية، ومعامل الانعكاس الطيفي للمياه والنباتات، ومؤشر الغطاء المائي، ومؤشر الغطاء النباتي الطبيعي (NDVI)، ومؤشر التغير الطيفي للمياه (NDWI) وغيرها من المعاملات التي تساعد في تحليل ديناميكية المياه والغطاء الأرضي عبر الزمن.

ولتحقيق ذلك، اعتمد على معطيات القمر الصناعي (Sentinel-2) التابع لبرنامج (Copernicus) الأوروبي، الذي يوفر صوراً متعددة الأطياف بدقة مكانية وزمانية عالية، مما يتيح إمكان مراقبة التحولات الهيدرولوجية لهور الحمار بدقة عالية.

مشكلة البحث:

يعاني هور الحمار من تذبذب في خصائصه الهيدرولوجية نتيجة التغيرات المناخية وتراجع الإطلاقات المائية، مما أدى إلى تباين مساحاته المغمورة بالماء، وعلى الرغم من توفر معطيات الأقمار الصناعية الحديثة مثل (Sentinel-2)، إلا أن الاستفادة منها في تحليل المؤشرات الهيدرولوجية لم تستثمر بالشكل الكافي، لذلك تسعى الدراسة إلى معالجة هذا القصور عبر التحليل الطيفي المكاني مما يمكن من رصد التغيرات الهيدرولوجية ومتابعة التحولات البيئية في هور الحمار بدقة أكبر.

مجلة العلوم الأساسية
للعلم التربوي والنفسي وطرائق التدريس للعلوم الأساسية

فرضية البحث:

إن استخدام معطيات القمر الصناعي (Sentinel-2) في تحليل المؤشرات الهيدرولوجية المشتقة منه يتيح تقديراً دقيقاً للتغيرات المائية الزمانية والمكانية في هور الحمار، ويمكن أن يعكس بصورة موثوقة العلاقة بين مساحة الغمر ونتائج تحليل المؤشرات الهيدرولوجية، مما يكون أساساً علمياً لتقييم الحالة البيئية والهيدرولوجية للهور دون الاعتماد الكامل على القياسات الميدانية.

هدف البحث:



يهدف البحث إلى تحليل التغيرات الهيدرولوجية في هور الحمار باستخدام معطيات القمر الصناعي (Sentinel-2)، من أجل تحديد مستوى تذبذب المساحات المغمورة بالمياه وتغير خصائصها البيئية، كما يسعى إلى اشتقاق وتقييم كفاءة المؤشرات الهيدرولوجية المختلفة في تمييز الماء عن التربة الرطبة والغطاء النباتي.

منهج البحث:

اعتمدت الدراسة المنهج التحليلي لتحليل المؤشرات الهيدرولوجية لهور الحمار من خلال جمع البيانات الفضائية من القمر الصناعي (Sentinel-2) لسنتي (٢٠١٧ و ٢٠٢٥)، مع اختيار المشاهد الخالية من الغيوم وإجراء التصحيح الإشعاعي والجوي لتحويل القيم الرقمية إلى انعكاسات سطحية حقيقية، ومن ثم اشتقاق المؤشرات الهيدرولوجية لرسم صورة كمية ودقيقة عن الحالة الهيدرولوجية لهور الحمار، ومن ثم تحليل وتفسير العلاقة بين التغيرات المائية والعوامل البيئية المؤثرة فيها.

حدود هور الحمار:

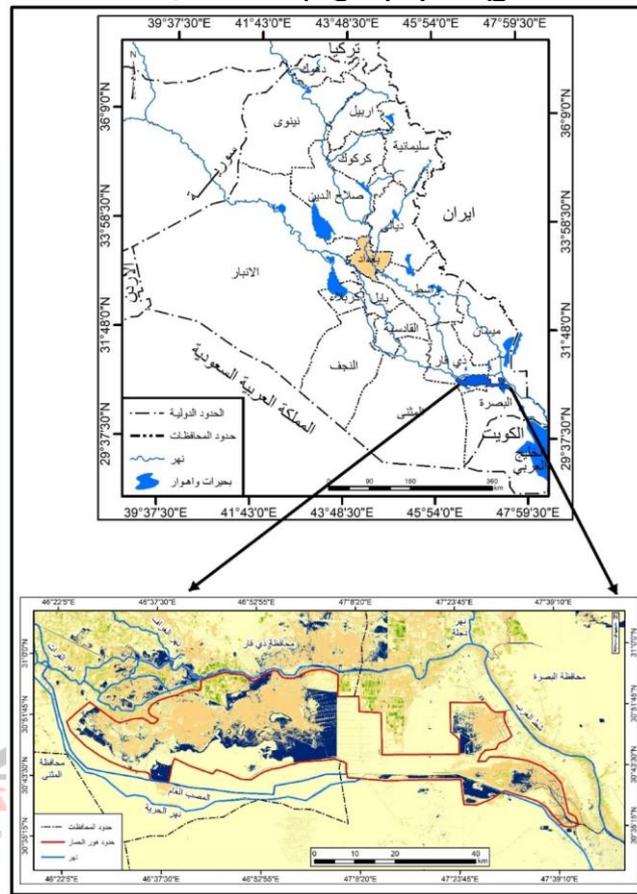
يقع هور الحمار جنوب العراق، ضمن محافظتي ذي قار والبصرة، وتبلغ مساحته الحالية حوالي ١٩٨٧,٥ كم². يحده نهر الفرات من الشمال، وشط العرب من الشرق، والمصب العام من الغرب، أما فلكيا يقع بين خطي طول (46° 22' 50" - 47° 42' 55") شرقاً ودائرة عرض (30° 35' 35" - 30° 57' 15") شمالاً، ينظر الخريطة (١).

المرئيات الفضائية المستخدمة

تم الاعتماد في هذه الدراسة على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) وهي كوكبة أقمار صناعية تابعة لبرنامج (Copernicus) تديرها وكالة الفضاء الأوروبية ومهمتها مراقبة الأرض وتعطي صوراً ضوئية بدقة مكانية عالية، وقد ساهم برنامج (Copernicus) في تعزيز فعالية مراقبة سطح الأرض، تعد أقمار (Sentinel-2) المجموعة الثانية ضمن سلسلة بعثات (Sentinel)، وهي مزودة بمساحات متعددة الأطياف على متنها، ويتمثل الهدف الرئيسي في توفير بيانات فضائية عالية الدقة تستخدم في مراقبة الغطاء واستخدامات الأرض، والتغير المناخي، والكوارث الطبيعية، بالإضافة إلى تكاملها مع المهمات الفضائية الأخرى مثل (Landsat) (Simwanda M. , Nnyandja, Saal, Sakai, & Murayama, 2020, p. 3)، تتألف المهمة الكاملة من قمرين توأمين يدوران في المدار نفسه، لكن مع إزاحة مقدارها 180 درجة، بحيث تحقق تكراراً مرتفعاً لممر القمر فوق

نفس المنطقة كل 5 أيام عند خط الاستواء، سيحمل القمر الصناعي (Sentinel-2) جهازا بصريا يلتقط الصور في 13 نطاقا طيفيا موزعة لـ ٤ نطاقات بدقة مكانية تبلغ 10 أمتار، و ٦ نطاقات بدقة 20 مترا، و ٣ نطاقات بدقة 60 مترا، أما عرض الشريط المداري (Swath Width) يبلغ ٢٩٠ كيلومترا (European Space Agency, 2015, p. 9).

خريطة (١) موقع منطقة البحث



المصدر:

١- اعتمادا على خريطة العراق الإدارية، الهيئة العامة للمساحة، بغداد، ٢٠٢٠، بمقياس رسم ١:١٠٠٠٠٠٠، ومخرجات برامجيات ArcGIS 10.4.

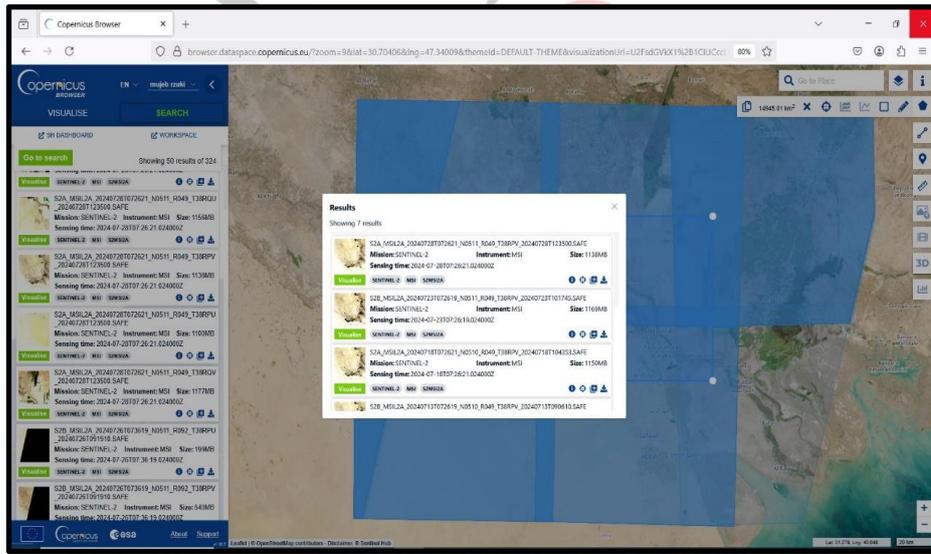
٢- مرئية القمر الصناعي (Sentinel 2) ومؤشر الاختلافات الخضرية الطبيعي (NDVI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

خطوات العمل

أولاً: تحميل المرئيات الفضائية

تم استخدام مرئيتين فضائية لسنتي ٢٠١٧ و ٢٠٢٥ مصححة ومرجعة جغرافياً للقمر الاصطناعي (Sentinel-2) عن طريق المنصة الاوربية الرسمية المسماة (Copernicus Open (Access Hup (<https://scihub.copernicus.eu>) وهي المنصة التي يتم منها تحميل بيانات الأقمار الاصطناعية الثلاثة (Sentinel, 1,2,3) والصورة (١) توضح الواجهة الرسمية للموقع وموضح عليها منطقة الدراسة والمرئيات الفضائية، ولكي تكون المقارنة علمية ودقيقة تم تحميل مرئية فضائية لمنطقة الدراسة لسنة ٢٠١٧ لفصل الشتاء بتاريخ (٢٥/١٢/٢٠١٧) ومرئية أخرى لفصل الشتاء لسنة ٢٠٢٥ بتاريخ (٢٣/٢/٢٠٢٥)، من اجل اظهار التباين الزمكاني.

صورة (١) الواجهة الرسمية للمنصة الاوربية Copernicus



ثانياً: حساب المؤشرات الطيفية الهيدرولوجية

١- مؤشر المياه المعياري (NDWI – Normalized Difference Water Index) خلال العقود الماضية طرحت العديد من المؤشرات الطيفية للمياه ابرزها مؤشر المياه المعياري الذي اقترحه (McFeeters) سنة ١٩٩٦ والذي يعتمد على النطاقيين الأخضر وتحت الأحمر القريب (NIR) استناداً إلى خاصية امتصاص المياه الشديدة وانخفاض إشعاعها في أطوال الموجة المرئية وتحت الحمراء، وقد أظهر المؤشر فعالية في تحسين تمييز المياه، لكنه حساس للمناطق المبنية وغالباً ما يؤدي إلى تقدير مفرط لمساحات المياه (Du, et al., 2016, p. 2)، أما التفسير الرقمي



للقيم الناتجة من المؤشر فتظهر أن قيمه تتراوح ما بين (+1 ، -1) إذ ان القيم القريبة من (0,5) تمثل المياه السطحية، في حين أن القيم الأقل تُشير إلى مناطق غير مائية مثل النباتات أو المناطق العمرانية (Bhangale, More, Shaikh, Patil, & More, p. 2647) ، ويمكن استخراجه عن طريق المعادلة التالية: (Avezov, et al., 2024, p. 3)

$$NDWI = (B3 - B8) / (B3 + B8)$$

اذ ان:

NDWI = مؤشر المياه المعياري.

B3 = الطول الموجي الأخضر.

B8 = الطول الموجي الأشعة تحت الحمراء القريبة.

٢- المؤشر المعياري المعدل للمياه (MNDWI – Modified Normalized Difference Water Index)

ان القصور الرئيسي في مؤشر (NDWI) الذي تم وصفه سابقا هو أنه لا يكون فعالا في المناطق التي تؤثر فيها الضوضاء الإشعاعية الناتجة عن المناطق المبنية على إشارة المسطحات المائية، استنادا إلى هذه الملاحظة، تم اقتراح مؤشر الماء المعدل (MNDWI) من قبل Xu سنة ٢٠٠٦ بوصفه تطويراً لمؤشر NDWI ، والذي يسمح بتقليل أو حتى إزالة الضوضاء الناتجة عن الأراضي المبنية، وكذلك عن الغطاء النباتي والتربة، وبالتالي يعزز دقة استخلاص المسطحات المائية (Copernicus, 2021, p. 22)، تتراوح قيم المؤشر بين (+1 ، -1) ، حيث تمثل القيم الأقل من (0 - 0,3) إلى المياه الضحلة أو الأراضي الرطبة، وتُعد القيم الأكبر من (0,3) دلالة واضحة على المسطحات المائية المفتوحة (El-Asmar, Jomaa, & Al-Hajj, 2020, p. 9) ، ويمكن اشتقاقه عن طريق المعادلة الآتية (Laonamsai, et al., 2023, p. 9).

$$MNDWI = (B3 - B11) / (B3 + B11)$$

اذ ان:

MNDWI = مؤشر المياه المعياري المعدل.

B3 = الطول الموجي الأخضر.

B11 = الأشعة تحت الحمراء القصيرة.



٣- مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)

تم الاعتماد على مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) لدراسة الغطاء النباتي والمائي، ويستخرج وفق المعادلة الآتية للقمر الصناعي (Sentinel-2) (Strashok, Ziemianska, & Strashok, 2022, p. 213):

$$NDVI = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

اذ ان:

NDVI = مؤشر الغطاء النباتي المعياري

B4 = الطول الموجي الاحمر.

B8 = الطول الموجي الاشعة تحت الحمراء القريبة.

تتراوح قيم مؤشر (NDVI) ما بين (+1 ، -1) وكلما كان الناتج قريب من (+1) يدل على وجود الغطاء النباتي وتزداد كثافته باقترابه منه، وعلى العكس من اقترابه من (-1) يدل على عدم وجود غطاء نباتي او تربة عارية.

٤- مؤشر الرطوبة المعياري (NDMI – Normalized Difference Moisture Index)

ينتمي مؤشر الرطوبة المعياري (NDMI) إلى مجموعة المؤشرات النباتية المستمدة من الاستشعار عن بعد، والتي تعد من أقل المؤشرات دراسة حتى الآن، ويعد دليلاً على محتوى الرطوبة في الغطاء النباتي للنباتات، وبالتالي فإن مجاله الرئيس للتطبيق هو تحديد مستويات الإجهاد المائي (Lykhovyd و Sharii، ٢٠٢٤، صفحة ٢١)، تتراوح قيم المؤشر ما بين (+1 ، -1) فاذا كانت القيم اكبر من (٠) تدل على ان المنطقة رطبة اما اذا كانت القيم تساوي (٠) او اقل فتدل على ان المنطقة جافة ولا تعد من الأراضي الرطبة (Al-Maliki, 2022, p. 8)، ويمكن اشتقاق هذا المؤشر عن طريق المعادلة التالية (Kookiireadek, Gumieri, & Bonakdari, 2025, p. 5).

$$NDMI = (B8 - B11) / (B8 + B11)$$

اذ ان:

NDMI = مؤشر المياه المعياري المعدل.

B8 = الطول الموجي الاشعة تحت الحمراء القريبة.



B11 = الأشعة تحت الحمراء القصيرة.

٥- مؤشر عكورة المياه (NDTI – Normalized Difference Turbidity Index)

تعد العكارة (Turbidity) من الخصائص البصرية المهمة للمياه، إذ تقلل من الطاقة المطلوبة للنمو المائي، وترتد مع زيادة كمية الامطار اذ ان كمية صغيرة من الامطار يمكن أن تجلب رواسب كبيرة وتحديث تغيراً فورياً في العكارة وقد ثبت جيداً أن الاستشعار عن بعد يمكنه توفير تقديرات نوعية أولية للعكارة (Garg, Aggarwal, & Chauhan, 2020, p. 1192)، كما يستخدم هذا المؤشر لتقييم مدى تأثير الأنشطة البشرية على جودة المياه ولتوفير دعم علمي لتطوير استراتيجيات إدارة بيئية فعالة تهدف الى تحسين استدامة النظم المائية الساحلية، وبحسب وكالة حماية البيئة الأميركية تعد العكارة مؤشراً حرجاً لجودة المياه وتعرف بانها انخفاض في شفافية المياه نتيجة وجود جزيئات عالقة غير ذائبة، يتراوح نطاق مؤشر العكارة ما بين (+1 ، -1) اذ تشير القيم ما بين (0 - +1) الى مياه عكرة بينما تشير القيم ما بين (-1 - 0) الى مياه أكثر صفاء (Ardayan, 2025, p. 104)، ويمكن استخراجه عن طريق المعادلة الاتية (Amaro, 2024, p. 31).

$$NDTI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

اذ ان:

NDTI = مؤشر عكورة المياه.

B3 = الطول الموجي الأخضر.

B4 = الطول الموجي الاحمر.

٦- مؤشر الكلوروفيل (NDCI – Normalized Difference Chlorophyll Index)

يستخدم تركيز الكلوروفيل غالباً كمؤشر بديل لكتلة العوالق النباتية، ويعد مؤشراً على الإثراء الغذائي، يمكن أن تكون المراقبة الميدانية باهظة التكلفة وتستغرق وقتاً طويلاً، كما أنها قد لا تمثل بشكل كاف الامتداد الجغرافي الكامل لجسم الماء أو التغيرات الزمنية فيه، لذلك تعد بيانات الأقمار الصناعية وسيلة غير مكلفة لتقييم النطاقات المكانية والزمنية للتغير في المياه ومع ذلك توجد بعض القيود المعروفة للمراقبة عن بعد، مثل اقتصار الاسترجاع على الطبقات السطحية للمياه، والتأثر بتغطية الغيوم (Smith, 2025, p. 181)، تقدم بيانات الاستشعار عن بعد للقمر الصناعي (Sentinel-2) نطاقات طيفية فريدة تم وضعها لقياس الكلوروفيل وهو مؤشر لجودة المياه والحالة الغذائية للنظم البيئية المائية، وهو صبغ ضوئي، مؤشراً لكل من الطحالب والبكتيريا الزرقاء، بالإضافة ان بيانات



القمر الصناعي تعطي دقة مكانية عالية تمكن من مراقبة المسطحات المائية الصغيرة، ويمكن استخراجها عن طريق المعادلة التالية (Salls, 2024, p. 9):

$$NDCI = (B5 - B4) / (B5 + B4)$$

اذ ان:

NDCI = مؤشر الكلوروفيل.

B4 = الطول الموجي الاحمر.

B5 = نطاق الحافة الحمراء.

تتراوح قيم مؤشر الكلوروفيل ما بين (+1، -1) اذ تشير القيم ما بين (-1، 0) الى مياه ذات تركيز منخفض الكلوروفيل، والقيم التي تقع ما بين (0، 1) مياه ذات تركيز متوسط الكلوروفيل بينما تشير القيم التي تكون اكبر من (0، 4) الى مياه ذات تركيز عالي للكلوروفيل (Manuel, 2023, p. 218).

ثالثاً: التحليل المكاني والزمني للمؤشرات الهيدرولوجية في هور الحمار لسنتي (٢٠١٧ و ٢٠٢٥)

تعد المؤشرات الطيفية من الأدوات الأساسية في دراسات الاستشعار عن بعد لما توفره من قدرة عالية على رصد وتحليل الخصائص البيئية والهيدرولوجية لهور الحمار بالاعتماد على القيم الانعكاسية للنطاقات الطيفية المختلفة، وقد تم تطبيق جميع المؤشرات الطيفية الهيدرولوجية لسنتي (٢٠١٧ و ٢٠٢٥) خلال فصل الشتاء واستخراج مساحاتهم ونسبهم المئوية، كما تم الاعتماد على طريقة التغير النسبي لمعرفة نسبة ومقدار التغير وتحديد اتجاهات المؤشرات الهيدرولوجية على وفق الصيغة الآتية (Andersen, 2019, p. 25):

$$\times \text{التغير النسبي} = \frac{\text{القيمة الجديدة} - \text{القيمة القديمة}}{\text{القيمة القديمة}} \times 100$$

وقد أظهرت نتائج مؤشر المياه المعياري (NDWI) تباينا واضحا، فقد سجلت المياه انخفاضا في مساحتها من ٤٦٢ كم² وبنسبة ٢٣,٢% سنة ٢٠١٧ إلى ٤٢٩,٣ كم² وبنسبة ٢١,٦% عام ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت -٧,١%، ويعزى هذا التراجع إلى انحسار الامتداد المائي المفتوح نتيجة ضعف التغذية المائية خلال السنوات الأخيرة والتغيرات المناخية إلى جانب ارتفاع معدلات التبخر مقارنة بفترات سابقة، في المقابل، شهدت السطوح غير المائية زيادة في المساحة من

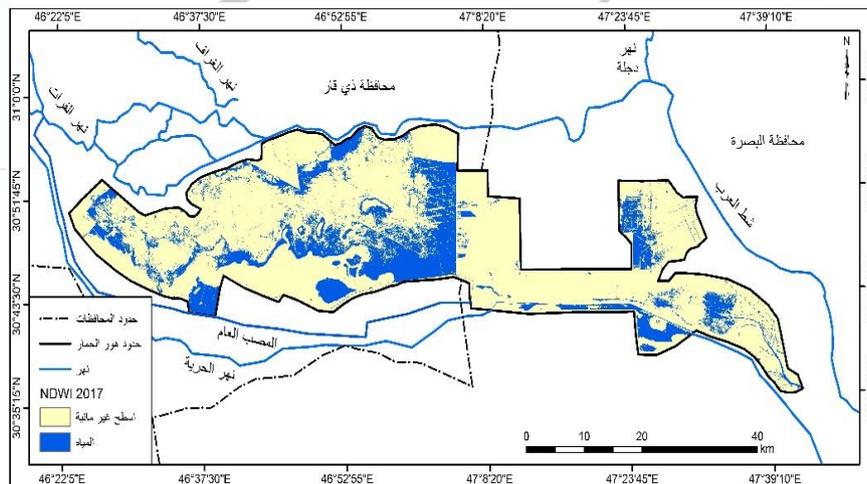
١٥٢٥,٥ كم² وبنسبة ٧٦,٨% سنة ٢٠١٧ إلى ١٥٥٨,٢ كم² وبنسبة ٧٨,٤% عام ٢٠٢٥، وبنسبة تغير موجبة بلغت ٢,١%، ويفسر هذا الارتفاع باتساع المناطق المكشوفة الناتجة عن تراجع الغمر المائي، إضافة إلى ازدياد مساحات الأراضي الرطبة الضحلة والسبخات التي تصنف طيفيا ضمن السطوح غير المائية، وتظهر خريطة (NDWI) لعام ٢٠٢٥ هذا الامتداد بشكل أوضح داخل أجزاء واسعة من هور الحمار مقارنة بسنة ٢٠١٧، هذه النتائج تشير إلى أن التغيرات المرصودة لا تعكس مجرد تذبذب موسمي، بل تمثل اتجاها عاما نحو تقلص المياه المفتوحة واتساع السطوح غير المائية في هور الحمار، ينظر الى الخريطة (٢) و(٣) والجدول (١).

جدول (١) مساحة مؤشر المياه المعياري (NDWI) خلال فصل الشتاء

نسبة التغير	2025		2017		الصف
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
-7.1	21.6	429.3	23.2	462	المياه
2.1	78.4	1558.2	76.8	1525.5	سطوح غير مائية
	100	1987.5	100	1987.5	المجموع

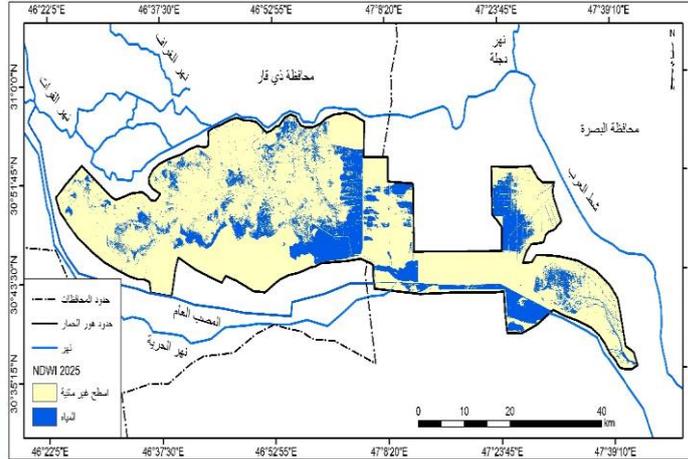
المصدر: اعتماداً على مؤشر (NDWI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4)

خريطة (٢) التوزيع المكاني لمؤشر (NDWI) لسنة ٢٠١٧



المعياري (NDWI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

خريطة (٣) التوزيع المكاني لمؤشر (NDWI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-٢٠٢٥/٢ ومؤشر المياه

المعياري

(NDWI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

اما بالنسبة لمؤشر المعاياري المعدل للمياه (MNDWI) فيبين الجدول (٢) تغيرات واضحة في مساحات المياه المفتوحة والأراضي الرطبة والسطوح غير المائية، وهو ما يعكس تحولات في حالة الغمر والضحالة المائية، فقد سجلت المياه انخفاضا ملحوظا في مساحتها من ٩٠,٤ كم² بنسبة ٤,٥% سنة ٢٠١٧ إلى ٧٤,٩ كم² بنسبة ٣,٨% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت - ١٧,١%، ما يشير إلى تقلص الامتداد المائي المفتوح، ويُفسر ذلك بتراجع مناسيب الغمر وتحول أجزاء من المياه الضحلة إلى حالات رطبة غير مغمورة بالكامل، في المقابل أظهرت الأراضي الرطبة استقرارا نسبيا مع ميل طفيف للزيادة، إذ ارتفعت مساحتها من ٦١٦,٨ كم² إلى ٦٢٢,٩ كم²، وهو ما يعكس انتقالا جزئيا للمناطق المغمورة سابقا نحو حالة رطوبة سطحية دون غمر دائم، أما السطوح غير المائية فقد سجلت زيادة محدودة من ١٢٨٠,٣ كم² إلى ١٢٨٩,٧ كم²، بما يدل على اتساع بطيء للمناطق المكشوفة الناتجة عن انحسار الغمر في الأطراف، وتوضح الخرائط (٤) و(٥) هذه النتائج، اذ تظهر سنة ٢٠٢٥ بتوزيع أقل تماسكا للمياه المفتوحة مقارنة بسنة ٢٠١٧، مع توسع ملحوظ للأراضي الرطبة في المناطق الانتقالية بين الماء واليابسة، وتشير هذه النتائج إلى أن التغير المسجل في مؤشر (MNDWI) يعكس تحولا في حالة السطح المائي من الغمر إلى الضحالة والرطوبة.

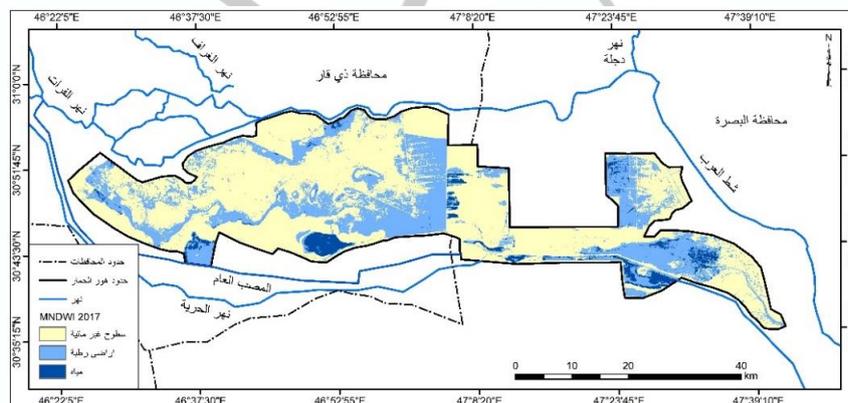
جدول (٢) مساحة المؤشر المعاياري المعدل للمياه (MNDWI) خلال فصل الشتاء



نسبة التغير	2025		2017		الصف
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
0.7	64.9	1289.7	64.4	1280.3	سطوح غير مائية
1.0	31.3	622.9	31	616.8	أراضي رطبة
-17.1	3.8	74.9	4.5	90.4	المياه
	100	1987.5	100	1987.5	المجموع

المصدر: اعتماداً على مؤشر (MNDWI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4)

خريطة (٤) التوزيع المكاني لمؤشر (MNDWI) لسنة ٢٠١٧

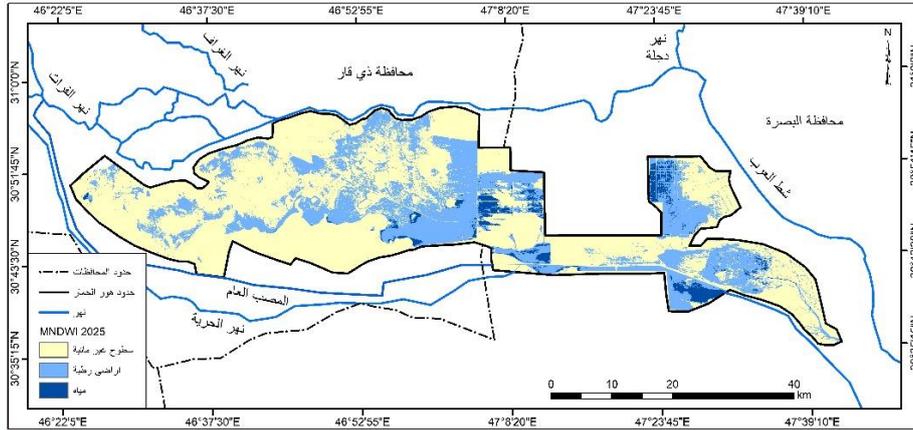


المصدر: اعتماداً على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٥-١٢-٢٠١٧ ومؤشر

المعياري

المعدل للمياه (MNDWI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

خريطة (5) التوزيع المكاني لمؤشر (MNDWI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-٢٠٢٥/٢

ومؤشر المعياري المعدل

للمياه (MNDWI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

اما مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) فهو يعكس الحالة الحيوية للغطاء النباتي، وتظهر تحليل نتائج (NDVI) خلال فصل الشتاء لسنتي (٢٠١٧ و ٢٠٢٥) وجود تحولات واضحة في توزيع فئات الغطاء الأرضي لهور الحمار، سواء من حيث المساحة أو الانتشار المكاني، اذ تشير نتائج الجدول (٣) إلى تراجع ملحوظ في مساحة فئة الغطاء النباتي، إذ انخفضت من ٦١٩,٣ كم² بنسبة ٣١,٢% سنة ٢٠١٧ إلى ٤٨٦ كم² بنسبة ٢٤,٥% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت - ٢١,٥%. ويعكس هذا الانخفاض تراجع الكتلة الخضراء والنشاط الحيوي للنباتات، وهو ما يفسر بتأثير الإجهاد المائي الناتج عن تقلص الموارد المائية السطحية وضعف الرطوبة الأرضية، فضلا عن تراجع الغمر الموسمي الذي يعد عاملا أساسيا في استدامة الغطاء النباتي في البيئات الرطبة، اما فئة الأراضي الجرداء فقد سجلت زيادة كبيرة في المساحة من ٩١٣ كم² بنسبة ٤٥,٩% سنة ٢٠١٧ إلى ١١١٩,٧ كم² بنسبة ٥٦,٣% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير موجبة بلغت ٢٢,٦%، ويرتبط هذا التوسع إلى انحسار الغطاء النباتي وتحول مساحات كانت مغطاة بنباتات موسمية أو شبه مغمورة إلى أراض مكشوفة، إضافة إلى تأثير الجفاف النسبي وتراجع الترطيب المستمر للتربة، أما فئة الغطاء المائي فقد شهدت هي الأخرى انخفاضا في المساحة من ٤٥٥,٢ كم² بنسبة ٢٢,٩%



سنة ٢٠١٧ إلى ٣٨١,٨ كم² بنسبة ١٩,٢% عام ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت -١٦,١%، ويعكس هذا التراجع تقلص المسطحات المائية في هور الحمار التي تسهم عادة في رفع قيم (NDVI) في المناطق المحيطة بها من خلال تعزيز الرطوبة والغطاء النباتي المصاحب، مما يؤدي الى تدهور البيئة النباتية المجاورة، وتؤكد خرائط التوزيع المكاني لمؤشر (NDVI) هذا التفسير، إذ تظهر الخريطة (٦) لسنة ٢٠١٧ انتشاراً أوسع وأكثر تماسكا للغطاء النباتي، ولا سيما في الأجزاء الوسطى من المنطقة، في حين تبين الخريطة (٧) لسنة ٢٠٢٥ تراجع مساحة الغطاء النباتي وتجزؤه مقابل اتساع نطاق الأراضي الجرداء، مع تراجع واضح في المساحات الخضراء المرتبطة بالمناطق المغمورة أو شبه المغمورة، ويشير هذا التغير في التوزيع المكاني إلى تحول تدريجي في النظام البيئي من حالة تدعم الغطاء النباتي إلى حالة يغلب عليها الانكشاف السطحي وضعف النشاط الحيوي للنبات، وبناء على ذلك، فإن نتائج مؤشر الغطاء النباتي المعياري يعكس اتجاهًا عامًا نحو تدهور الغطاء النباتي في هور الحمار، مرتبطًا بشكل وثيق بالتغيرات الهيدرولوجية وانخفاض الرطوبة السطحية الناتجة بسبب تداعيات التغيرات المناخية التي تحدث في منطقة الدراسة.

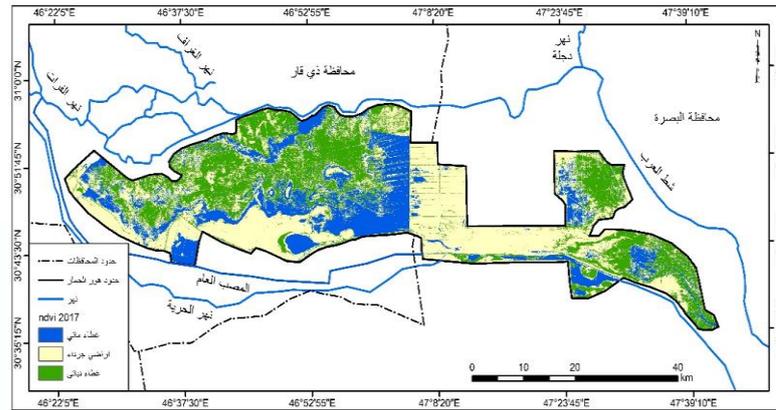
جدول (3) مساحة مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) خلال فصل الشتاء

النسبة التغير	2025		2017		الصف
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
-16.1	19.2	381.8	22.9	455.2	غطاء مائي
22.6	56.3	1119.7	45.9	913	أراضي جرداء
-21.5	24.5	486	31.2	619.3	غطاء نباتي
	100	1987.5	100	1987.5	المجموع

المصدر: اعتماداً على مؤشر (NDVI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج (Arc Gis)

(10.4)

خريطة (٦) التوزيع المكاني لمؤشر (NDVI) لسنة ٢٠١٧

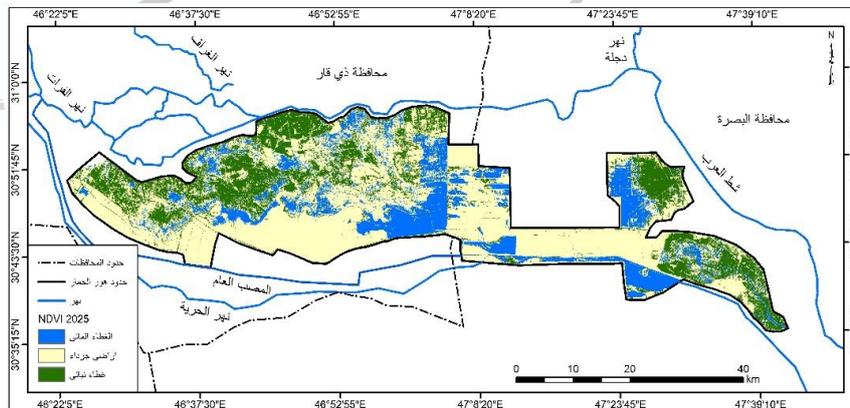


المصدر: اعتماداً على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٥-١٢-٢٠١٧

ومؤشر الغطاء النباتي

المعياري (NDVI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

خريطة (٧) التوزيع المكاني لمؤشر (NDVI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-٢/٢٠٢٥

ومؤشر الغطاء النباتي

المعياري (NDVI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

اما بالنسبة لمؤشر الرطوبة المعياري (NDMI) فهو يعكس التغيرات في المحتوى الرطوبي للتربة والغطاء الأرضي ، وبذلك يعد مؤشرا حساس لحالات الجفاف والرطوبة السطحية، وتظهر نتائج (NDMI) لهور الحمار تغيرا في الحالة الرطوبة من حيث الامتداد والمساحة والتوزيع المكاني، وتشير نتائج الجدول (٤) إلى توسع في مساحة فئة الأراضي الجافة، إذ ارتفعت من ١٦٧٥,٢ كم² بنسبة ٨٤,٣% سنة ٢٠١٧ إلى ١٧٢٠,٥ كم² بنسبة ٨٦,٦% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير موجبة بلغت ٢,٧%، مما يعكس اتساع نطاقات الإجهاد الرطوبي وضعف المحتوى المائي في التربة بسبب تراجع الغمر المائي، وانخفاض الرطوبة المتبقية في التربة نتيجة تقلص المسطحات المائية وزيادة فقد الرطوبة بالتبخر، في المقابل سجلت الأراضي الرطبة انخفاضا في المساحة من ٣١٢,٣ كم² بنسبة ١٥,٧% عام ٢٠١٧ إلى ٢٦٧ كم² بنسبة ١٣,٤% عام ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت -١٤,٥%، ويشير هذا التراجع إلى تقلص المناطق ذات الرطوبة السطحية العالية، وهو ما يعكس انتقال أجزاء واسعة من الأراضي الرطبة إلى حالة جفاف نسبي، نتيجة انخفاض مناسيب المياه وتحول المناطق شبه المغمورة إلى أسطح أكثر جفافا، وتدعم الخرائط المكانية للمؤشر هذه النتائج، إذ توضح الخريطة (٨) لسنة ٢٠١٧ انتشارا أوسع نسبيا للأراضي الرطبة، خاصة في الأجزاء المتصلة بالمجاري المائية والمناطق المنخفضة داخل الهور، بينما توضح الخريطة (٩) لسنة ٢٠٢٥ تقلص هذه البقع الرطبة مقابل زيادة مساحة الأراضي الجافة، وعليه هذه النتائج تبين تدهور الحالة الرطوبة للتربة لهور الحمار وهو اتجاه يرتبط بشكل مباشر بالتغيرات الهيدرولوجية المسجلة في المؤشرات المائية الأخرى.

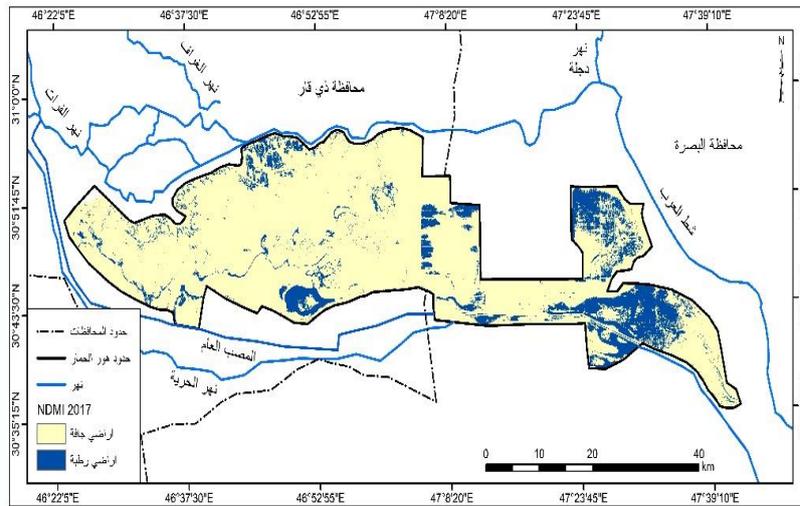
جدول (٤) مساحة مؤشر الرطوبة المعياري (NDMI) خلال فصل الشتاء

الصفة	2025		2017		الصفة
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
نسبة التغير					
أراضي جافة	86.6	1720.5	84.3	1675.2	2.7
أراضي رطبة	13.4	267	15.7	312.3	-14.5
المجموع	100	1987.5	100	1987.5	

المصدر: اعتماداً على مؤشر (NDMI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج (Arc Gis)

(10.4)

خريطة (٨) التوزيع المكاني لمؤشر (NDMI) لسنة ٢٠١٧

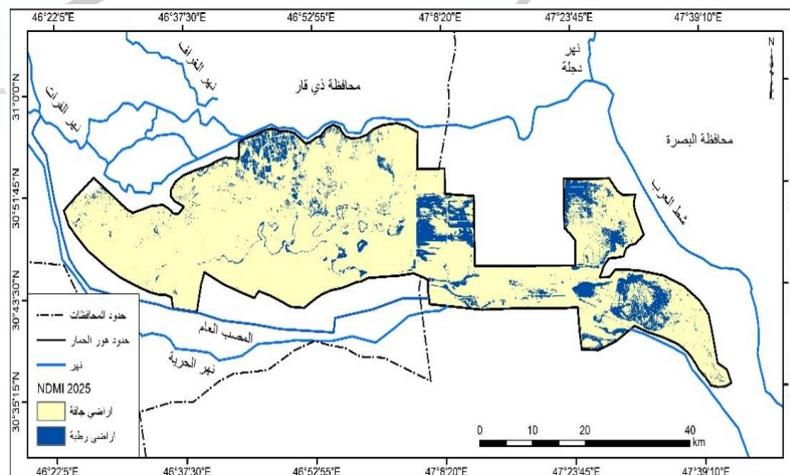


المصدر: اعتماداً على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٥-١٢/٢٠١٧ ومؤشر

الرطوبة المعياري

(NDMI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4)

خريطة (٩) التوزيع المكاني لمؤشر (NDMI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-٢٠٢٥/٢٠٢٥
ومؤشر الرطوبة المعياري
(NDMI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

اما مؤشر عكورة المياه (NDTI) فهو يعكس درجة تركيز المواد العالقة في المياه، وهو مؤشر مهم لتقييم الخصائص الفيزيائية لمياه هور الحمار، وتظهر نتائج مؤشر (NDTI) تغيرات واضحة في مستويات صفاء المياه، اذ يوضح الجدول (٥) إلى تناقص مساحة المياه الصافية من ٣٠٩,٥ كم² بنسبة ١٥,٦% سنة ٢٠١٧ إلى ٢٨٠ كم² بنسبة ١٤,١% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت - ٩,٥% مما يفسر زيادة تركيز المواد العالقة نتيجة انخفاض عمق المياه وضعف الجريان ما يقلل من صفاء المياه حتى خلال فصل الشتاء، بينما سجلت فئة المياه المنخفضة العكورة زيادة ملحوظة في المساحة من ٢٤٩ كم² بنسبة ١٢,٥% سنة ٢٠١٧ إلى ٣٠٦,٣ كم² بنسبة ١٥,٤% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير موجبة بلغت ٢٣%، ويشير هذا الارتفاع إلى انتقال مساحات من المياه الصافية نحو حالة عكورة خفيفة، نتيجة ارتفاع تركيز العوالق الدقيقة دون الوصول إلى مستويات عكورة عالية غالبا ما ترتبط بضحالة المياه، أما فئة المياه المتوسطة العكورة فقد شهدت انخفاضا طفيفا في المساحة من ١٤٢٩ كم² بنسبة ٧١,٩% سنة ٢٠١٧ إلى ١٤٠١,٢ كم² بنسبة ٧٠,٥% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت -١,٩%، وتوضح الخريطة (١٠) لسنة ٢٠١٧ انتشارا أوسع للمياه المتوسطة العكورة مع وجود مناطق محدودة من المياه الصافية، بينما تبين الخريطة (١١) لسنة ٢٠٢٥ تناقص مساحات المياه الصافية وازدياد مساحة المياه المنخفضة العكورة في مناطق واسعة من الهور، لا سيما في الأجزاء الضحلة والمناطق الانتقالية بين الماء واليابسة، وبناء على ذلك فإن نتائج مؤشر (NDTI) تشير إلى اتجاه عام نحو انخفاض صفاء المياه وزيادة انتشار العكورة المنخفضة في هور الحمار، وهو ما يُعد انعكاسا للتغيرات في العمق المائي وديناميكية الرواسب.

جدول (5) مساحة مؤشر عكورة المياه (NDTI) خلال فصل الشتاء

الصف	2025		2017		النسبة
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
مياه صافية	14.1	280	15.6	309.5	-9.5
مياه منخفضة العكارة	15.4	306.3	12.5	249	23

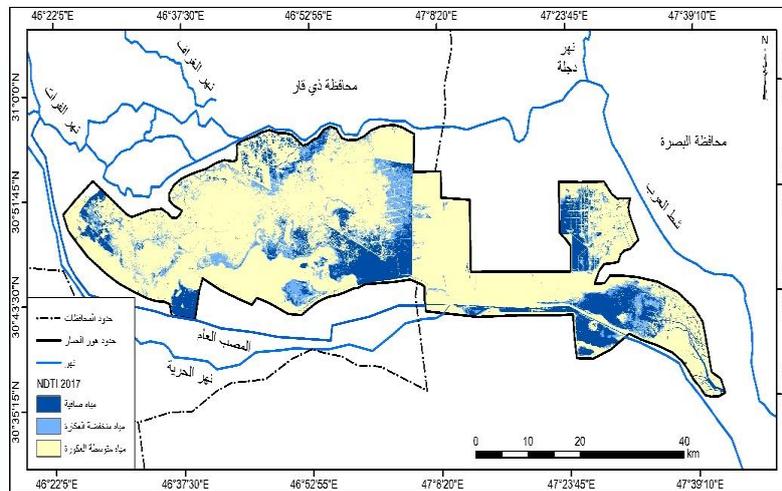


					مياه متوسطة
-1.9	70.5	1401.2	71.9	1429	العكورة
	100	1987.5	100	1987.5	المجموع

المصدر: اعتماداً على مؤشر (NDTI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج

(Arc Gis 10.4)

خريطة (10) التوزيع المكاني لمؤشر (NDTI) لسنة ٢٠١٧

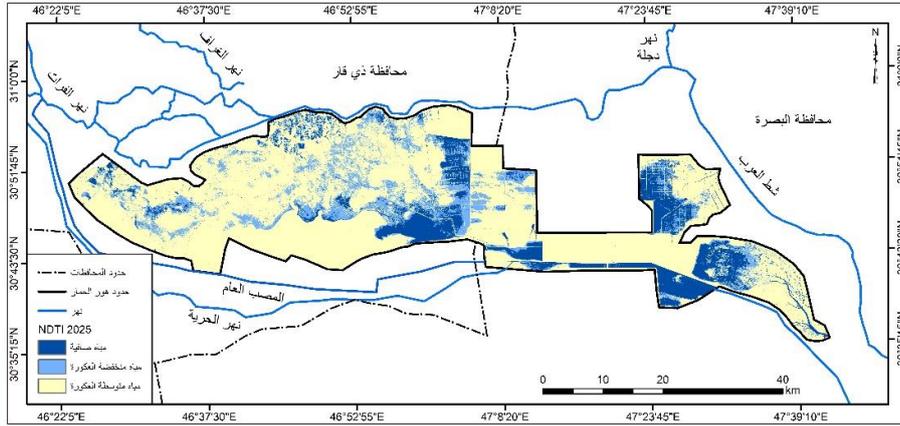


المصدر: اعتماداً على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٥-١٢-٢٠١٧

ومؤشر عكورة المياه

(NDTI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4)

خريطة (١١) التوزيع المكاني لمؤشر (NDTI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-٢٠٢٥/٢ ومؤشر عكورة المياه (NDTI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

(NDTI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

اما بالنسبة لمؤشر الكلوروفيل (NDCI) فهو يدل على مستوى النشاط الحيوي الطحلي والخصائص البيولوجية للمياه، ويظهر تحليل نتائج NDCI تغيرا في توزيع مستويات تركيز الكلوروفيل داخل هور الحمار، اذ تشير نتائج الجدول (٦) إلى انخفاض مساحة فئة تركيز الكلوروفيل المنخفض من ١٧٩٨,٢ كم² بنسبة ٩٠,٥% سنة ٢٠١٧ إلى ١٦٨٢,٤ كم² بنسبة ٨٤,٦% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير سالبة بلغت -٦,٤%، بينما سجلت فئة تركيز الكلوروفيل المتوسط زيادة كبيرة في المساحة من ١٨٩,٣ كم² بنسبة ٩,٥% سنة ٢٠١٧ إلى ٣٠٥,١ كم² بنسبة ١٥,٤% سنة ٢٠٢٥، وبنسبة تغير موجبة بلغت ٦١,٢%، وتشير هذه الزيادة إلى توسع نطاق النشاط الطحلي بسبب طبيعة الظروف المائية التي تتسم بالضحالة النسبية وركود المياه في بعض مناطق هور الحمار، وتوضح الخرائط المكانية لمؤشر الكلوروفيل (NDCI) هذه النتائج، اذ تبين الخريطة (١٢) لسنة ٢٠١٧ سيادة واضحة للكلوروفيل المنخفض مع انتشار محدود للبقع ذات التركيز المتوسط، في حين تظهر الخريطة (١٣) لسنة ٢٠٢٥ اتساع هذه البقع وتزايد تركيزها في أجزاء متعددة من هور الحمار في المناطق الضحلة والمناطق الانتقالية بين الماء واليابسة، وعليه تشير هذه النتائج إلى اتجاه عام نحو

ارتفاع نسبي في النشاط الطحلبي لهور الحمار وهو ما يمثل تحولا نوعيا في الخصائص البيولوجية للمياه، وقد تكون له انعكاسات مستقبلية على نوعية المياه والتوازن البيئي. بينت نتائج المؤشرات الهيدرولوجية الطيفية المستخدمة في هذه الدراسة صورة متكاملة للتحويلات البيئية والهيدرولوجية داخل هور الحمار خلال السنتين (٢٠١٧ و ٢٠٢٥)، فقد عكست مؤشرات المياه (NDWI و MNDWI) تراجع الامتداد المائي وتحول أجزاء واسعة من المسطحات المائية إلى حالات ضحلة أو رطبة، بينما وضح مؤشر الرطوبة (NDMI) اتساع نطاق الإجهاد المائي وتراجع الرطوبة السطحية، كما أظهر مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) انخفاضا في كثافة الغطاء النباتي مقابل توسع الأراضي الجرداء، بالتوازي مع تغيرات نوعية في المياه تمثلت بارتفاع العكورة (NDTI) وزيادة النشاط الطحلبي المعتدل (NDCI)، وتؤكد هذه النتائج وجود اتجاه عام نحو اختلال التوازن البيئي-الهيدرولوجي، مما يبرز أهمية اعتماد هذه المؤشرات كأدوات فعالة في تقييم ورصد التغيرات البيئية ودعم استراتيجيات الإدارة المستدامة للنظم المائية.

جدول (٦) مساحة مؤشر الكلوروفيل (NDCI) خلال فصل الشتاء

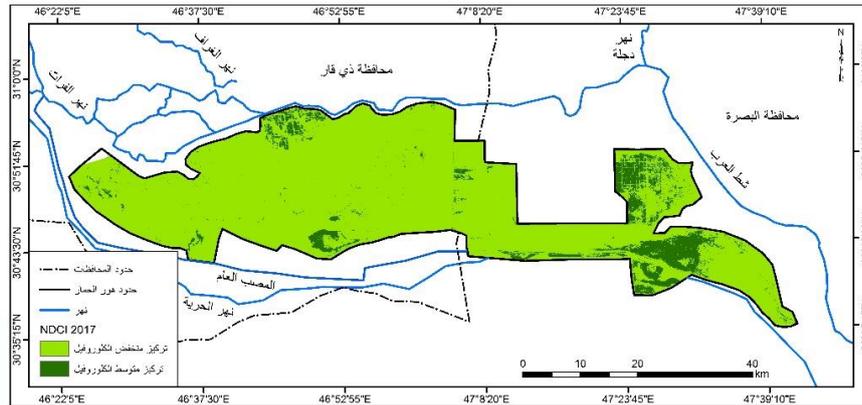
نسبة التغير	2025		2017		الصف
	النسبة	المساحة	النسبة	المساحة	
-6.4	84.6	1682.4	90.5	1798.2	تركيز منخفض الكلوروفيل
61.2	15.4	305.1	9.5	189.3	تركيز متوسط الكلوروفيل
	100	1987.5	100	1987.5	المجموع

المصدر: اعتماداً على مؤشر (NDCI) ومعادلة التغير النسبي ومخرجات برنامج

(Arc Gis 10.4)



خريطة (١٢) التوزيع المكاني لمؤشر (NDCI) لسنة ٢٠١٧

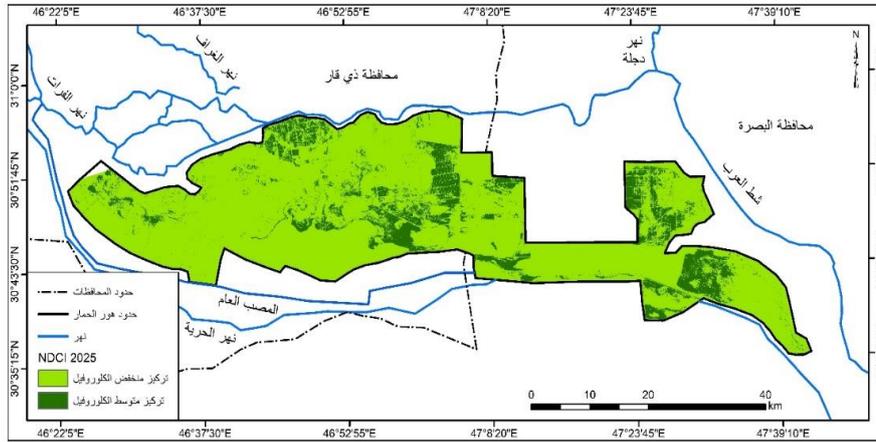


المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٥-

٢٠١٧/١٢ ومؤشر الكلوروفيل

(NDCI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

خريطة (١٣) التوزيع المكاني لمؤشر (NDCI) لسنة ٢٠٢٥



المصدر: اعتمادا على مرئيات القمر الصناعي (Sentinel-2) بتاريخ ٢٣-

٢٠٢٥/٢ ومؤشر الكلوروفيل

(NDCI) ومخرجات برنامج (Arc Gis 10.4).

الاستنتاجات

١- أظهرت المؤشرات الطيفية وجود تراجع واضح في الامتداد المائي المفتوح خلال مدة الدراسة، وهذا ما اوضحته مؤشرات (NDWI و MNDWI)، اذ تشير إلى انخفاض مناسيب المياه وتحول أجزاء من المسطحات المائية إلى حالات ضحلة أو رطبة.

٢- بينت نتائج مؤشر الرطوبة (NDMI) اتساع نطاق الإجهاد المائي السطحي، اذ تراجعت مساحات الأراضي الرطبة لصالح الأراضي الجافة، وهو ما يعكس ضعف التغذية المائية وتراجع الاحتفاظ بالرطوبة حتى خلال فصل الشتاء.

٣- كشف مؤشر الغطاء النباتي (NDVI) عن حجم التدهور الحاصل في الغطاء النباتي مقابل توسع الأراضي الجرداء، الأمر الذي يدل على تأثر النظام النباتي بشكل مباشر بالتغيرات الهيدرولوجية وانخفاض الرطوبة السطحية بسبب التغيرات المناخية التي تعصف في المنطقة.

٤- اظهرت نتائج مؤشر عكورة المياه (NDTI) انخفاض صفاء المياه وزيادة انتشار العكورة الخفيفة، مما يعكس تغيرا في ديناميكية الرواسب وازدياد إعادة تعليقها نتيجة الضحالة وضعف الجريان المائي.



٥- سجل مؤشر الكلوروفيل (NDCI) ارتفاعا نسبيا في مستويات النشاط الطلبي المعتدل، وهو ما يشير إلى تغيرات في الخصائص البيولوجية للمياه، مرتبطة بظروف الركود المائي والضحالة.
٦- تؤكد النتائج الترابط بين التغيرات الفيزيائية والهيدرولوجية والبيولوجية للنظام المائي، حيث انعكس تراجع المياه والرطوبة على الغطاء النباتي وجودة المياه، مما يدل على اتجاه عام نحو اختلال التوازن البيئي الهيدرولوجي داخل بيئة هور الحمار.

المقترحات

- ١- اعتماد نظام رصد دوري قائم على المؤشرات الطيفية لمتابعة التغيرات في الامتداد المائي والغطاء النباتي وجودة المياه، بما يوفر قاعدة بيانات زمنية داعمة لاتخاذ قرارات مبكرة تتعلق بإدارة الموارد المائية.
- ٢- استخدام نتائج مؤشرات المياه والرطوبة في دعم سياسات توزيع واطلاق المياه خاصة في الفترات الحرجة، من خلال توجيه الإطلاقات المائية نحو المناطق التي تظهر المؤشرات فيها تراجعا حادا في الغمر أو الرطوبة السطحية.
- ٣- ضرورة ادراج مؤشرات الغطاء النباتي ضمن برامج إدارة الأراضي والبيئات الرطبة، بهدف تحديد المناطق الأكثر تعرضا للتدهور النباتي وإعطائها أولوية في إجراءات الاستصلاح أو الحماية البيئية.
- ٤- توصي الدراسة بالاستفادة من مؤشرات العكورة والكلوروفيل في مراقبة نوعية المياه، بما يسهم في دعم قرارات الحد من مصادر التلوث وتحسين جودة المياه.
- ٥- توظيف مخرجات التحليل المكاني للمؤشرات الطيفية ضمن أنظمة دعم القرار الخاصة بأدارة الأهوار والأنظمة المائية، بما يعزز التخطيط القائم على الأدلة ويساعد في تقييم أثر السياسات والإجراءات المتخذة بصورة دورية.

References

- 1- Al-Maliki, S. A., et al. (2022). An approach for monitoring and classifying marshlands using multispectral remote sensing imagery in arid and semi-arid regions. *Water*, 14, 1523.
- 2- Amaro, K. A. N., et al. (2024). Mapping and assessment of the spatial and temporal distribution of turbidity in Lake Buhi from Sentinel-2 images using geographically weighted regression and normalized difference turbidity index. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W9, 31.



- 3- Andersen, M. A. (2019). Calculating and interpreting percentage changes for economic analysis.
- 4- Applied Economics Teaching Resources, 1(1), 25.
- 5- Ardyan, P. A. N. (2025). Water quality analysis using NDTI and TSS parameters based on Sentinel image data in Jakarta Bay waters. *Maritime Technology and Society*, 4(2), 104.
- 6- Avezov, S., Yunusova, D., Yusupjonov, O., Kazakbaeva, M., Gulmurzaeva, R., Saksonov, U., & Ruzikulova, O. (2024). Quantifying water bodies with Sentinel-2 imagery and NDWI: A remote sensing approach. *E3S Web of Conferences*, 590, 02007.
- 7- Bhangale, U., More, S., Shaikh, T., Patil, S., & More, N. (2019). Analysis of surface water resources using Sentinel-2 imagery. *Procedia Computer Science*, 171, 2647
- 8- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., & Li, X. (2016). Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. *Remote Sensing*, 8(4), 2.
- 9- El-Asmar, L., Jomaa, S., & Al-Hajj, M. (2020). Assessment of water indices for surface water mapping using Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(20), 9.
- 10- European Space Agency (ESA). (2015, July 24). Sentinel-2 user handbook (Issue 1, Rev. 2). Paris: European Space Agency.
- 11- Garg, V., Aggarwal, S. P., & Chauhan, P. (2020). Changes in turbidity along Ganga River using Sentinel-2 satellite data during lockdown associated with COVID-19. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1192.
- 12- Kookiireadek, E., Gumieri, S. J., & Bonakdari, H. (2025). NDMI-derived field-scale soil moisture prediction using ERA5 and LSTM for precision agriculture. *Sustainability*, 17(2), 2399.
- 13- Laonamsai, J., Julphunthong, P., Sapathe, T., Kimany, B., Ganchanasurat, T., Chomchewcham, P., & Tonum, N. (2023). Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for estimating erosion and deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology*, 10(3), 80.
- 14- Lykhovyd, P. V., & Sharii, V. O. (2024). Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops. *Agrology*, 7(1), 21.
- 15- Manuel, A. A. (2023). Transformation of the Normalized Difference Chlorophyll Index (NDCI) for chlorophyll-a mapping in Manila Bay. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W6, 218.
- 16- RUS Copernicus. (2021). Drought monitoring with Sentinel-2: Case study of Western Cape Province (2015–2020) (Training Kit – HYDRO3, Version 1.1). Prepared by Serco Italia S.p.A., within the RUS Copernicus project.
- 17- Salls, W. B., et al. (2024). Expanding the application of Sentinel-2 chlorophyll monitoring across United States lakes. *Remote Sensing*, 16(6), 1077.



- 18- Simwanda, M., Nnyandja, V. R., Saal, S., Sakai, S., & Murayama, Y. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 3 .
- 19- Smith, M. E., et al. (2025). Evaluation of Sentinel-2 for water quality monitoring in a eutrophic estuary in South Africa. *Water SA*, 51(3), 181.
- 20- Strashok, O., Ziemianska, M., & Strashok, V. (2022). Evaluation and correlation of Sentinel-2 NDVI and NDMI in Kyiv (2017–2021). *Journal of Ecological Engineering*, 23(9), 213



مجلة العلوم الأساسية
للعلوم التربوية والنفسية وطرائق التدريس للعلوم الأساسية