



تقييم كفاءة المؤشرات النباتية (NDVI-SAVI-EVI-WDVI)
في رصد الغطاء النباتي بالمناطق الجافة وشبه الجافة
حوض وادي منصور دراسة حالة

<https://doi.org/10.5281/zenodo.22738828>

تقييم كفاءة المؤشرات النباتية (NDVI-SAVI-EVI-WDVI) في رصد الغطاء النباتي بالمناطق الجافة وشبه الجافة - حوض وادي منصور دراسة حالة

الحسين محمد المختار الشرع

طالب دراسات عليا / الأكاديمية الليبية لدراسات العليا - فرع بني وليد

Hasamg245@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3289-7540>

تاريخ الاستلام 2026/07/12 تاريخ القبول 2026/07/24 تاريخ النشر 2026/10/01

الوصول مفتوح

مقالة بحثية

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة أربعة مؤشرات نباتية طيفية (EVI، SAVI، NDVI، WDVI) في رصد الغطاء النباتي في حوض وادي منصور، أحد الأحواض الجافة الواقعة في الجزء الشمالي الغربي من ليبيا، تحديداً في منطقة بني وليد. اعتمدت الدراسة على استخدام مرئية فضائية للقمم الصناعي Landsat-8 لشهر مارس 2025. كما استندت المنهجية إلى تصنيف الغطاء النباتي إلى ثلاث فئات رئيسية، مع تقييم دقة النتائج باستخدام 30 عينة مرجعية جمعت وفق أسلوب التوزيع العشوائي الطبقي. أظهرت النتائج تفوق مؤشر SAVI بوصفه أكثر المؤشرات كفاءة في رصد الغطاء النباتي، حيث بلغت الدقة الكلية (Overall Accuracy) نحو 93.3%، ومعامل كابا (Kappa Coefficient) 0.85، وذلك بفضل قدرته العالية على تقليل تأثير خلفية التربة. في المقابل، كشفت مصفوفات الخطأ عن ميل مؤشر NDVI إلى المبالغة في تقدير الكثافة النباتية، في حين أظهر مؤشر EVI تحفظاً في رصد الغطاء النباتي المشتت، بينما اتسم مؤشر WDVI بحساسية مرتفعة لخط التربة، مما أثر في دقته في بعض الفئات. وتخلص الدراسة إلى أهمية استخدام المؤشرات النباتية المعدلة للتربة عند دراسة البيئات الجافة وشبه الجافة، لما لها من دور في تحسين دقة التمثيل المكاني للغطاء النباتي، وتعزيز موثوقية نتائج. الكلمات المفتاحية: المربيات الفضائية، حوض وادي منصور، الغطاء النباتي، الاستشعار عن بعد.



حقوق النشر محفوظة للمؤلف (المؤلفين) 2026. يُوزع هذا المقال بموجب بنود ترخيص المشاع الإبداعي نسب المصنف 4.0 الدولي (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)، والذي يسمح بالاستخدام والتوزيع وإعادة الإنتاج غير المقيّد في أي وسيط، شريطة الإشارة إلى المؤلف (المؤلفين) الأصلي (الأصليين) والمصدر، وتوفير رابط لترخيص المشاع الإبداعي، وتوضيح ما إذا تم إجراء أي تغييرات.

Evaluating the Efficiency of Vegetation Indices (NDVI, SAVI, EVI, WdVI) in Monitoring Vegetation Cover in Arid and Semi-Arid Regions: A Case Study of the Wadi Mansour Basin

Al-Hussein Mohamed Al-Mukhtar Al-Sharaa

Postgraduate Student / Libyan Academy for

Postgraduate Studies – Bani Walid Branch

Hasamg245@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3289-7540>

Received: 12/07/2026

Accepted: 24/07/2026

Published 01/10/2026

Research Article

open Access

Abstract:

This study aims to evaluate the efficiency of four spectral vegetation indices (NDVI, SAVI, EVI, and WdVI) in monitoring vegetation cover within the Wadi Mansour Basin, an arid basin located in northwestern Libya, specifically in the Bani Walid region.

The methodology relied on Landsat-8 satellite imagery acquired in March 2025. The study classified vegetation cover into three primary categories, assessing the accuracy of the results using 30 reference points collected via stratified random sampling.

The results demonstrated the superiority of the SAVI index as the most efficient tool for monitoring vegetation, achieving an Overall Accuracy of approximately 93.3% and a Kappa Coefficient of 0.85. This performance is attributed to its high capability in minimizing soil background interference. Conversely, error matrices revealed a tendency in the NDVI index to overestimate vegetation density. The EVI index showed conservative results in detecting sparse vegetation, while the WdVI index exhibited high sensitivity to the soil line, which affected its accuracy across certain categories.

The study concludes the significance of utilizing soil-adjusted vegetation indices when studying arid and semi-arid environments, given their role in enhancing the accuracy of spatial representation for vegetation and increasing the reliability of the findings.

Keywords: Satellite Imagery. Wadi Mansour Basin. Vegetation Cover Remote Sensing



The Author(s) 2026. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) , which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, pro-vided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and Indi-cate if changes were made.



المقدمة .

إن تفاوت مظهر اللاند سكيب الطبيعي قد يكشف عن العديد من المشكلات المرتبطة بتطبيق المؤشرات النباتية في البيئات الجافة وشبه الجافة، وذلك نتيجة للانعكاسية المرتفعة للتربة الجافة في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، الأمر الذي يقلل من كفاءة هذه المؤشرات بوصفها أداة تحليلية فعالة في مثل هذه البيئات. لذلك، تم تطوير العديد من المؤشرات النباتية في محاولة لتحسين دقتها والتغلب على أوجه القصور التي قد تحد من فاعليتها في تقدير أو رصد الغطاء النباتي. (الرحيلي، 2014، ص26)

ومن هنا برزت الحاجة إلى تقييم كفاءة المؤشرات النباتية (NDVI، SAVI، EVI، WDVI) والتعرف على مدى قدرتها على رصد الغطاء النباتي في حوض وادي منصور، الذي يُعد نموذجاً للأحواض الجافة في ليبيا. إذ يتميز بغطاء نباتي طبيعي متنوع يضم النباتات الموسمية والأشجار والشجيرات المعمرة، التي تتسم بتباعد توزيعها وتحللها مساحات واسعة من التربة المكشوفة. يؤدي ذلك إلى تداخل البصمة الطيفية للنبات مع الانعكاسية المرتفعة للتربة، مما قد يؤثر في دقة تمثيل الغطاء النباتي باستخدام المؤشرات النباتية المستخرجة من المرئيات الفضائية. وبناءً عليه، تمثل خصائص الغطاء النباتي والتربة في حوض وادي منصور تحدياً أمام الرصد الدقيق للغطاء النباتي باستخدام المؤشرات الطيفية المستمدة من المرئيات الفضائية.

مشكلة الدراسة :

تواجه البيئات الجافة وشبه الجافة تحديات متعلقة برصد الغطاء النباتي ومتابعة تغيراته باستخدام المؤشرات النباتية، ويعزى ذلك أساساً إلى انعكاس التربة العالي، وانخفاض كثافة الغطاء النباتي وتشتت توزيعه المكاني، ويبرز حوض وادي منصور كنموذج لهذه البيئات، إذ يتسم الغطاء النباتي فيه بالتباعد وتحلل مساحات واسعة من التربة المكشوفة، مما يؤدي إلى تداخل البصمة الطيفية للنبات مع الانعكاسية المرتفعة للتربة مما ينتج عنه ضجيج طيفي يحد من دقة المؤشرات النباتية التقليدية في تمثيل الحالة الواقعية للغطاء النباتي.

- وانطلاقاً من ذلك تكمن مشكلة الدراسة في محاولة الإجابة عن التساؤلات الآتية:
- 1 . إلى أي مدى تتأثر دقة قيم المؤشرات النباتية بخلفية الأرض وتنوع الغطاء النباتي المحيط بها؟
 - 2 . ما هو المؤشر النباتي الأكثر حساسية وكفاءة في الفصل بين الغطاء النباتي المشتت والخلفية الترابية، والذي يحقق أعلى دقة إحصائية مقارنة بالواقع الميداني؟
 - 3 . إلى أي مدى تختلف نتائج المؤشرات النباتية (WDVI ، EVI ، SAVI ، NDVI) في رصد الغطاء النباتي في منطقة الدراسة؟

الفرضيات :

- 1 - تؤثر الخصائص الطيفية لخلفية الأرض وكثافة التنوع النباتي على دقة قيم المؤشرات النباتية المختارة .
- 2 - مؤشرات الغطاء النباتي المعدلة للتربة مثل (SAVI) و (WDVI) أكثر كفاءة من غيره في، دقة رصد النباتات المتناثرة، في منطقة الدراسة.
- 3 - توجد فروق جوهرية بين المؤشرات النباتية (WDVI ، EVI ، SAVI ، NDVI) في رصد الغطاء النباتي في منطقة الدراسة.

أهداف الدراسة :

- تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية في تمثيل الغطاء النباتي في حوض وادي منصور، وذلك من خلال تحقيق الأهداف الآتية:
- 1 قياس مدى حساسية المؤشرات النباتية للمتغيرات الطيفية الناتجة عن خلفية الأرض وكثافة التنوع النباتي، لتحديد أكثرها استقراراً في منطقة الدراسة.
 - 2تقييم حساسية وكفاءة المؤشرات النباتية (WDVI ، EVI ، SAVI ، NDVI) في الفصل بين الغطاء النباتي المشتت والخلفية الترابية، وتحديد المؤشر الأكثر دقة مقارنة بالبيانات المرجعية الحقيقة الأرضية.
 - 3إننتاج خرائط موضوعية توضح الفروق بين المؤشرات النباتية في رصد الغطاء النباتي في حوض وادي منصور.



أهمية الدراسة :

تكمن أهمية هذه الدراسة في تقديم مرجعية علمية يمكن توظيفها في الأبحاث والدراسات المستقبلية، لا سيما تلك التي تتناول تقييم الغطاء النباتي في البيئات الجافة وشبه الجافة. كما تساهم في إمكانية تطبيق نتائجها على مناطق وبيئات مشابهة لمنطقة الدراسة، بما يساعد في تجنب الأخطاء أو النتائج المضللة التي قد تنتج عن استخدام مؤشرات نباتية غير ملائمة للظروف البيئية السائدة.

وعلاوة على ذلك، تبرز قيمة هذه الدراسة في قدرتها على تحديد المؤشر الطيفي الأكثر كفاءة، مما ينعكس إيجاباً على دقة التحليلات المكانية، ويفضي في نهاية المطاف إلى تعزيز فاعلية القرارات المتعلقة بتخطيط الموارد الطبيعية وإدارتها بشكل مستدام على المدى الطويل.

منطقة الدراسة :

يقع حوض وادي منصور في الجزء الشمالي الغربي من ليبيا، تحديداً في شمال منطقة بني وليد منحدرًا من جنوب منطقة ترهونة باتجاه الجنوب الشرقي حتي يصل مصبه في وادي المردوم. وفلكياً يقع حوض وادي منصور بين خطي طول. (00° 59' 13) و (00° 15' 14) شرقاً شمالاً. ودائرتي عرض (30° 05' 32) و (30° 49' 31) شمالاً، الخريطة (1) يحده شرقاً وادي ميمون دراق ووادي فرس، وغرباً وادي تماسلة، وشمالاً وادي ترغلات أما جنوباً فيحده وادي المردوم، وتبلغ المساحة الإجمالية للحوض 270 كم² وطوله 35.5 كم. تقريباً. تتخذ هذه الدراسة من سنة 2025 شهر مارس كإطار زمني مرجعي، بهدف تقييم دقة المؤشرات النباتية المختارة في رصد الغطاء النباتي.

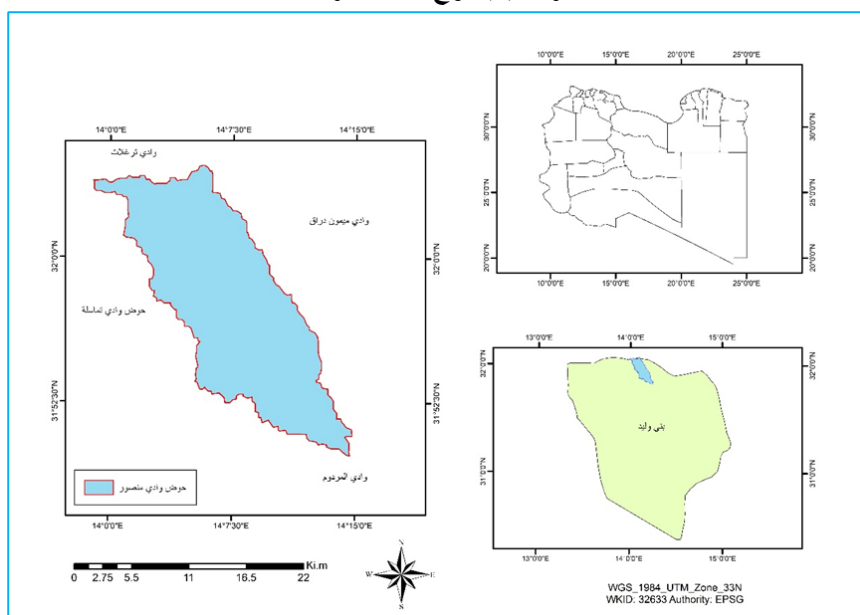
مناهج الدراسة:

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المناهج العلمية المتكاملة التي تخدم أهدافها، وذلك على النحو الآتي:

المنهج الوصفي التحليلي: تم توظيف هذا المنهج في وصف وتحليل الخصائص المكانية والمساحية للغطاء النباتي في منطقة الدراسة، وتفسير العوامل والأسباب الكامنة وراء تباينها، من خلال الاعتماد على الملاحظة المباشرة، وجمع البيانات والمعلومات وتحليلها.

المنهج المقارن: يقوم هذا المنهج على أساس المقارنة بين ظاهرتين أو أكثر، بهدف إبراز أوجه التشابه والاختلاف بينها. وقد استُخدم في هذه الدراسة لمقارنة نتائج المؤشرات النباتية المستخدمة في الدراسة، وذلك لتحديد مدى كفاءتها في تمثيل الغطاء النباتي. المنهج الكمي: اعتمدت الدراسة على هذا المنهج في تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المختلفة، من خلال حساب المؤشرات الكمية، مثل المساحات، إضافة إلى مقياس تقييم الدقة، بما يسهم في تقديم نتائج دقيقة وقابلة للمقارنة.

الخريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: عمل الباحث بالاعتماد ونموذج الارتفاعات الرقمية (SRTM) ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

مصادر البيانات:

أ. المرئيات الفضائية: تم الاعتماد على مرئية فضائية للقمر الصناعي الأمريكي (Landsat 8 OLI) بدقة مكانية تصل إلى (30) متراً، والتي تم استخراجها من الأرشيف الرقمي لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS). تتألف هذه المرئيات من (11) نطاقاً طيفياً، تشمل النطاقات المرئية (Visible)، والأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR)، والأشعة تحت الحمراء القصيرة (SWIR)، بالإضافة إلى النطاقات الحرارية. وقد اعتمدت البيانات بمستوى تصحيح (Level-2) لضمان دقة الانعكاسية السطحية، كما أنها مصححة جغرافياً وفقاً



لنظام الإحداثيات العالمي (WGS 84) بمسقط ميركاتور المستعرض العالمي (UTM) ،
ضمن النطاق الخاص بمنطقة الدراسة. (USGS, 2025) .

الجدول (1) يوضح المواصفات الفنية لمئية (Landsat 8 OLI)

التاريخ	نسبة الغيوم	الدقة المكانية متر	المسار / الصف (P/R)	الحساس	القمر الصناعي
17-03-2025	0.01	30	188/038	OLI-2	Landsat-8

المصدر: من عمل الباحث استنادا على ملفات البيانات المئية.

ب. الدراسة الميدانية: تم إجراء جولات مسحية لمنطقة الدراسة (حوض وادي منصور) لجمع
النقاط المرجعية الأرضية. (Ground Truth Points) اعتمدت الدراسة في هذه المرحلة
على جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS) لتحديد إحداثيات مواقع الغطاء النباتي والأراضي
المكشوفة، وذلك بهدف التحقق من دقة النتائج المستخرجة من المؤشرات الطيفية ومعايرة
كفاءتها في بيئة حوض وادي منصور.

الدراسات السابقة:

تناولت دراسة هويدي (2025) تأثير العوامل المحيطة بالغطاء النباتي على قيم مؤشر
NDVI باستخدام صور الأقمار الصناعية (Landsat) في منطقة الجبل الأخضر، حيث
هدفت إلى تقييم كفاءة هذا المؤشر ومقارنته بمؤشري SAVI و EVI في رصد الغطاء النباتي
تحت ظروف بيئية متنوعة. واعتمدت الدراسة على المنهجين التحليلي والمقارن مدعومين
بأساليب كمية، وخلصت نتائجها إلى وجود تباين في قيم المؤشرات تبعاً للعوامل البيئية المحيطة،
مؤكدَةً على ضرورة الجمع بين عدة مؤشرات عند تقييم الحالة النباتية وعدم الاكتفاء بمؤشر
NDVI لوحده لضمان دقة التقييم.

استهدفت دراسة محمود وآخرين (2025) تقييم القدرة التنبؤية لمؤشري NDVI و
MSAVI لخصائص التربة في مراعي جنوب الجبل الأخضر بليبيا، وتحديد المؤشر الأكثر
ملاءمة لظروف المنطقة. وقد اعتمدت الدراسة منهجاً ميدانياً وتحليلياً من خلال جمع (224)
عينة تربة من (28) موقعاً بنظام العينات العشوائية المنتظمة وإخضاعها للتحليل المختبري.
وكشفت النتائج عن وجود علاقة طردية بين الخصائص الطيفية للتربة والمؤشرات المدروسة، مع

تسجيل تفوق ملحوظ لمؤشر MSAVI في التنبؤ بمعظم خصائص التربة مقارنة بمؤشر NDVI، مما يجعله الأكثر دقة في رصد خصائص تربة المناطق الرعوية شبه الجافة. بحثت دراسة الرحيلي (2014) في كفاءة المؤشرات النباتية لتقدير المحاصيل الزراعية في منطقة الهدا باستخدام مرئيات القمر الصناعي (SPOT-5)، حيث وظفت برنامج (ERDAS IMAGINE 9.1) لمعالجة البيانات الطيفية بهدف اختيار أفضل المؤشرات قدرةً على عزل تأثيرات التربة والتمييز بينها وبين الغطاء المحصولي. وتوصلت الدراسة إلى وجود تفاوت ملحوظ في كفاءة المؤشرات تبعاً للتغيرات الموسمية؛ إذ انخفضت كفاءة مؤشرات NDVI و IPVI و WDRVI خلال الفترة الجافة، بينما سجلت مؤشرات OSAVI و TSAVI2 انخفاضاً في كفاءتها خلال الفترة الرطبة، مما يشير إلى تأثر دقة المؤشرات الطيفية بمستوى الرطوبة السائد في بيئة المحاصيل.

استعرضت دراسة الغريب (2024) التغيرات الموسمية للغطاء النباتي في منطقة بني وليد بين فصلي الشتاء والصيف، حيث غطت الدراسة مساحة شاسعة بلغت (19.710 كم²). واعتمدت المنهجية على استخدام مرئيات القمر الصناعي (MODIS) متوسطة الدقة التمييزية (250 مترًا) لضمان التغطية الشاملة للمنطقة، مع توظيف مؤشر الغطاء النباتي المعياري (NDVI) لاستخلاص القيم النباتية والمقارنة بين الموسمين. وخلصت الدراسة إلى وجود تباينات واضحة وملحوظة في مساحات الغطاء النباتي وتوزيعها الجغرافي نتيجة التعاقب الموسمي، مما يعكس حساسية البيئة النباتية في المنطقة للمتغيرات المناخية السنوية. تنفق الدراسة الحالية مع دراسي هويدي، 2025 ومحمود وآخرون، 2025 في التركيز على تقييم كفاءة المؤشرات النباتية الطيفية لتمييز الغطاء النباتي باستخدام مرئيات القمر الصناعي (Landsat)، إلا أنها تتميز بتبني توصية دراسة هويدي في استخدام مؤشرات متعددة وعدم الاكتفاء بمؤشر واحد، لتجاوز قصور دراسة محمود التي اقتصر على مؤشر (NDVI) و (MSAVI) فقط.

من جانب آخر، تبرز دراسة الرحيلي، 2014 كإضافة نوعية من حيث استخدام مرئيات (SPOT-5) عالية الدقة المكانية وبرمجيات متقدمة مثل (ERDAS IMAGINE)، ولكن تختلف عنها الدراسة الحالية في شمولية التقييم، حيث ركزت دراسة



الرحيلي على المحاصيل الزراعية فقط، بينما تسعى الدراسة الحالية لتقييم الغطاء النباتي بأنواعه كافة في بيئة وادي منصور، مما يمنحها شمولية أوسع في التحليل. أما فيما يخص دراسة الغرب، 2024، فعلى الرغم من قدرتها على تغطية مساحات شاسعة باستخدام مستشعر (MODIS)، إلا أن الدراسة الحالية تتفوق عليها من حيث الدقة، فاستخدام مرئيات متوسطة الدقة (250 مترًا) في دراسة الغرب قد يؤدي إلى نتائج غير دقيقة في رصد التغيرات المحدودة. كما يُؤخذ على تلك الدراسة اعتمادها الكلي على مؤشر (NDVI)، وهو ما تلافته الدراسة الحالية باختيار مؤشرات أكثر ملاءمة لطبيعة المناطق الجافة وشبه الجافة، لضمان تقليل تأثير الخلفية المكانية للتربة والحصول على نتائج أكثر واقعية.

المؤشرات الطيفية المستخدمة في الدراسة:

تُعد المؤشرات النباتية الطيفية (Spectral Vegetation Indices) من أهم تقنيات الاستخلاص المعلوماتي من المرئيات الفضائية، إذ تعتمد على معادلات رياضية مصممة لرصد الغطاء الأرضية عبر تحليل سلوكها الانعكاسي في نطاقات طيفية محددة. وتكمن القيمة العلمية لهذه المؤشرات في قدرتها على تحويل البيانات الطيفية الخام إلى تفسيرات بيئية كمية، تتيح بدقة تحديد خصائص الأجسام على سطح الأرض وقياسها.

ومع ذلك، وبالرغم من التطور التاريخي المتلاحق لهذه المؤشرات منذ انطلاق الأقمار الصناعية المدنية، إلا أن بعض القضايا الجوهرية المتعلقة بتطبيقها لا تزال تفتقر إلى البحث المتعمق، لاسيما مسألة قابلية المقارن (Comparability)، وهو ما قد يفضي إلى نتائج متضاربة أو غير دقيقة عند تحليل البيانات (Gao, Anderson, & Kustas, 2026, p114).

وفي هذه الدراسة تم اختيار مجموعة من المؤشرات النباتية المختارة، وهي:

- مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI)
- المؤشر النباتي المعدل حسب التربة (SAVI)
- مؤشر الغطاء النباتي المرجح (WDVI)
- المؤشر النباتي المحسن (EVI)

تم اختيار هذه المؤشرات النباتية نظرًا لسهولة تطبيقها وعدم تعقيدها نسبيًا، فضلًا عن كفاءة بعضها في الحد من تأثير التربة، مثل مؤشري SAVI و WDVI، اللذين يتميزان بقدرتهما

العالية على تقليل ما يُعرف بـ"ضجيج" خلفية التربة (Soil Background Noise) في المساحات البينية غير المغطاة بالنباتات، وهو أمر بالغ الأهمية في البيئات التي تتسم بتشتت الغطاء النباتي. كما تم استخدام مؤشر EVI لقدرته المتقدمة على التقليل من تأثيرات الغلاف الجوي، لا سيما تشتت الإشارة الناتج عن الغبار والعوالق الجوية، متجاوزًا بذلك بعض أوجه القصور المرتبطة بمؤشر NDVI، على الرغم من كونه الأكثر شيوعًا واستخدامًا في الدراسات البيئية.

الجدول (2) المؤشرات المستخدمة في الدراسة

المؤشرات	المعدلة	resource
NDVI	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	Rouse et al. 1973
	مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي	
SAVI	$[(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] * (1 + L)$	Huete. 1988
	مؤشر الغطاء النباتي المعدل حسب للتربة	
WDVI	$NIR - (1.5 * Red)$	Clevers. 1989
	مؤشر الغطاء النباتي ذو الفرق المرجح	
EVI	$2.5 * ((NIR - Red) / (NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1))$	Huete. 1994
	مؤشر الغطاء النباتي المحسن	

من ثم تقييم كفاءة كل مؤشر في رصد الغطاء النباتي ضمن الظروف البيئية السائدة في حوض وادي منصور. تتسم هذه المنطقة بضعف الكثافة النباتية وارتفاع الانعكاس الطيفي للتربة (Soil Background Interference)، مما يستوجب اختبار مدى قدرة هذه المؤشرات على عزل إشارات الأسطح غير النباتية، وصولاً إلى تحديد المؤشر الأكثر دقة في التمييز الطيفي للكتلة الحيوية في المنطقة.

تصنيف قيم المؤشرات النباتية المستخدمة في الدراسة.

بهدف إجراء مقارنة منهجية دقيقة بين كفاءة المؤشرات الطيفية المستخدمة، اعتمدت الدراسة بروتوكولاً موحدًا لتصنيف المخرجات الرقمية، بما يضمن اتساق المقارنة المكانية والمساحية داخل حوض وادي منصور. وقد تم تحديد ثلاث فئات رئيسية للغطاء الأرضي، روعي في اختيارها تقليل التداخل الطيفي (Spectral Overlap) الناتج عن خصائص التربة في منطقة الدراسة، وذلك على النحو الآتي (Chen et al, 2025,p329).



تقييم كفاءة المؤشرات النباتية (NDVI-SAVI-EVI-WDVI)
في رصد الغطاء النباتي بالمناطق الجافة وشبه الجافة
حوض وادي منصور دراسة حالة

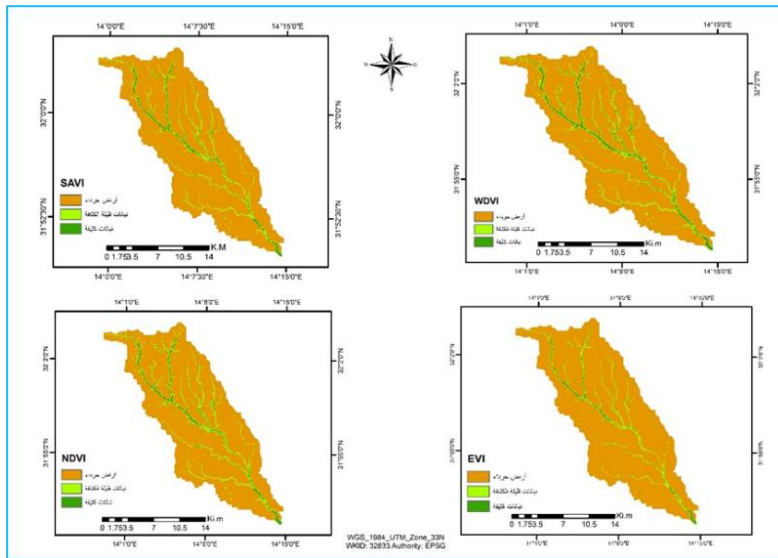
<https://doi.org/10.5281/zenodo.22738828>

فئة الأراضي الجرداء (Barren Land) وتشمل الأراضي الخالية من الغطاء النباتي، تتمثل أساسا في التربة العارية والتكوينات الصخرية.

فئة النباتات قليلة الكثافة (Sparse Vegetation) وتمثل في بعض الأشجار والشجيرات المعمرة بالإضافة التجمعات من النباتات المعمرة الموسمية التي تمتاز بتغطية جزئية للتربة.

فئة النباتات الكثيفة (Dense Vegetation) وتشمل تجمعات من النباتات الموسمية بالإضافة إلى بعض الأشجار والشجيرات القريبة من بعضها.

الخريطة (2) نتائج تصنيف المؤشرات في منطقة الدراسة لسنة 2025



المصدر: من عمل الباحث باستخدام برنامج Arc map 10.8

الجدول (3) حدود القيم الرقمية لأصناف الغطاء النباتي لكل مؤشر

حدود EVI	حدود NDVI	حدود WDI	حدود SAVI	صنف الغطاء النباتي
0.0 - 0.10	0.0 - 0.15	0.0 - 0.08	0.0-0.15	تربة جرداء
0.10 - 0.30	0.15 - 0.40	0.8 - 035	0.12-0.35	نبات خفيف
> 0.30	> 0.40	> 0.35	> 0.35	نبات كثيف

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد مخرجات المرئية وباستخدام برنامج Arc map 10.8.

وعلى الرغم من توحيد المسميات للفئات في كل المؤشرات، فقد التزمت الدراسة بضبط العتبات الرقمية (Thresholds) لكل مؤشر على حدة، نظراً لاختلاف النطاق الديناميكي والحساسية الطيفية بين المؤشرات مثل الاختلاف البنيوي بين NDVI و SAVI في التعامل

مع تأثير خلفية التربة. وقد استندت عملية تحديد هذه العتبات إلى مواءمة ما ورد في الأدبيات العلمية مع نتائج التحقق الميداني، إلى جانب قيم الانعكاس الطيفي المسجلة في منطقة الدراسة، وذلك بهدف تحقيق أعلى مستويات الدقة في رصد الغطاء النباتي .

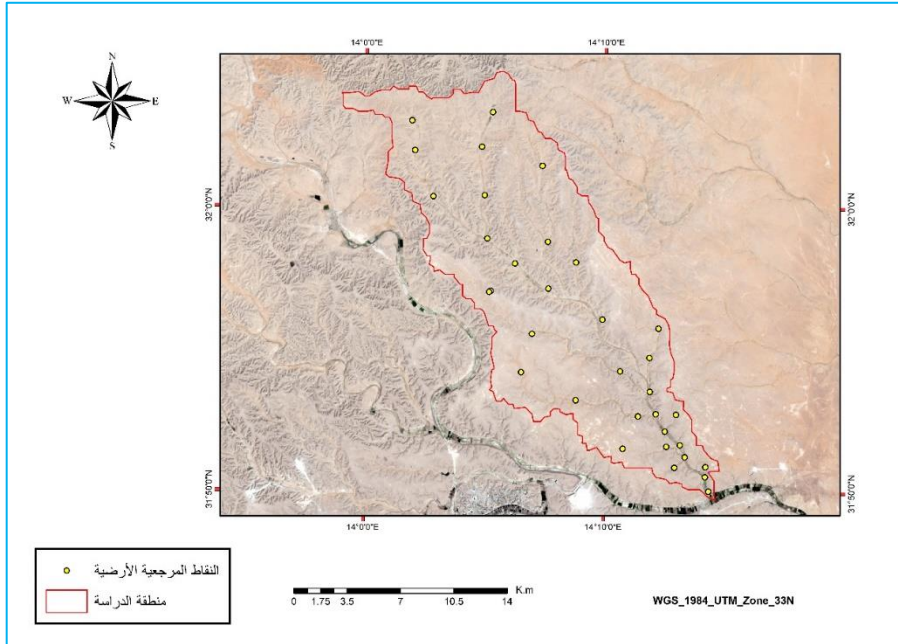
مرحلة التحقق الميداني (Ground Truth)

تُعد مرحلة التحقق الميداني من المراحل الأساسية في دراسات الاستشعار عن بُعد ونظم المعلومات الجغرافية، حيث تهدف إلى التأكد من مدى توافق البيانات المستخرجة من المرئيات الفضائية مع الواقع الفعلي على سطح الأرض، مما يساهم في تعزيز دقة النتائج وموثوقيتها. وتضمنت هذه المرحلة جمع بيانات ميدانية من خلال تسجيل الإحداثيات الجغرافية (X, Y) لنقاط العينة باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي (GPS)، إلى جانب توثيق الملاحظات الحقلية المتعلقة بخصائص الغطاء النباتي.

وقد تم جمع عدد (30) نقطة ميدانية كعينات للتحقق الأرضي، حيث اعتمدت الدراسة على منهجية التوزيع العشوائي الطبقي النسبي Stratified Random Sampling في توزيع هذه النقاط على الفئات المصنفة. وقد روعي في هذا التوزيع الثقل المساحي لكل فئة داخل حوض وادي منصور، لضمان تمثيل الأنماط السائدة مكانياً بشكل دقيق، مع الحفاظ على توزيع مكاني متوازن يغطي مختلف أجزاء الحوض. وشملت البيانات الميدانية توصيف نوع الغطاء النباتي وتقدير كثافته وفق التصنيف المعتمد في الدراسة (أراضٍ جرداء، نباتات قليلة الكثافة، نباتات كثيفة).



الخريطة (3) مواقع النقاط العينات في منطقة الدراسة لسنة 2025

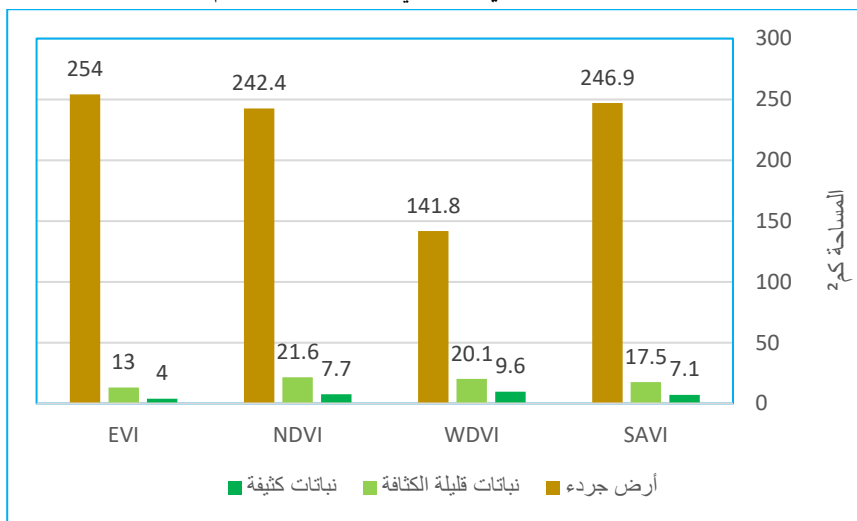


المصدر: من عمل الباحث باستخدام برنامج Arc map اعتمادا على الدراسة الميدانية 2025

كما روعي العامل الزمني بدقة عند جمع البيانات، حيث تم اختيار توقيت يتوافق مع تاريخ التقاط المرئية الفضائية (مارس 2025)؛ بهدف تقليل الفجوة الزمنية وضمان تطابق الحالة الفينولوجية للنباتات بين الميدان والمرئية. وبالإضافة إلى العمل الحقل، تم الاستعانة ببرنامج Google Earth Pro لإجراء عملية التحقق البصري (Visual Validation) ودعم دقة إسقاط النقاط وإحداثياتها، مما يعزز من موثوقية مصفوفة الخطأ وتقييم كفاءة المؤشرات الطيفية المستهدفة.

وصف فئات الغطاء النباتي والأرض الجرداء في منطقة الدراسة

الشكل (1) مساحات الغطاء النباتي والأراضي الجرداء لكل مؤشر كم² لسنة 2025



المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج التصنيف للمريئة Landsat-8 وباستخدام برنامج Arc map10.8

يتضح من خلال الشكل (1)، وجود تباين منطقي في قيم المؤشرات الطيفية المستخدمة، وهو تباين يعكس الخصائص الفيزيائية لكل مؤشر، خاصة في بيئة معقدة مثل حوض وادي منصور. إذ يتميز الغطاء النباتي في هذا الحوض بطبيعته المتنوعة، حيث يضم مزيجاً من النباتات المعمرة، كالأشجار والشجيرات، إلى جانب النباتات الموسمية التي تنمو لفترات قصيرة لإكمال دورة حياتها.

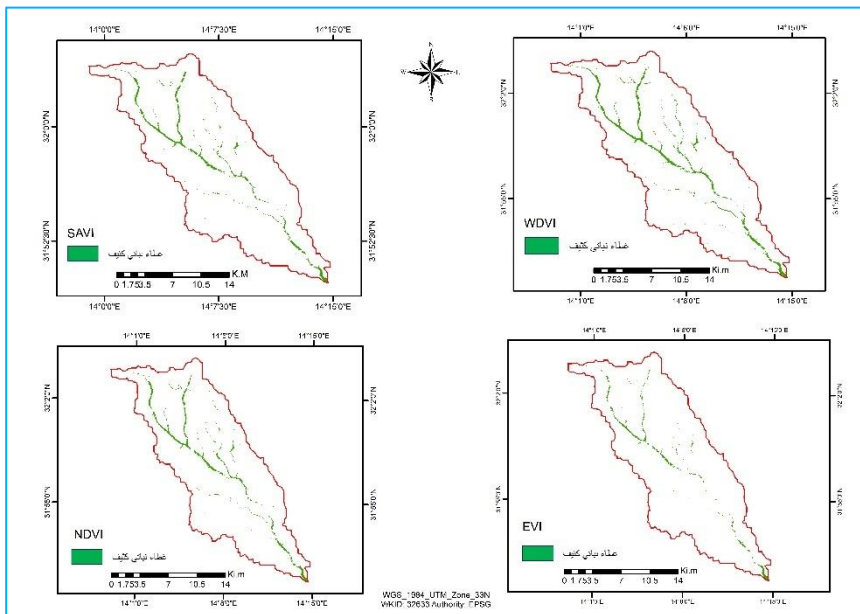
كما تتسم النباتات في المنطقة بخصائص بيئية ومورفولوجية مرتبطة بالبيئات الجافة، من أبرزها تشتت المكاني والتباعد بين تجمعاتها، وتخللها مساحات واسعة من التربة العارية، فضلاً عن صغر حجم الأوراق وانخفاض الكثافة النباتية. وتسهم هذه الخصائص مجتمعة في تعقيد عملية التمييز الطيفي بين الغطاء النباتي وخلفية التربة، مما يحد من كفاءة رصد الغطاء النباتي باستخدام المرئيات الفضائية.



فئة الغطاء النباتي الكثيف .

يُظهر تحليل فئة الغطاء النباتي الكثيف تباينًا مكانيًا واضحًا بين المؤشرات الأربعة، حيث سجل مؤشر WDI المساحة الأعلى 9.6 كم² نتيجة اعتماده على مسافة البكسل من "خط التربة"، مما قد يؤدي إلى خلط بعض خصائص التربة الرطبة أو الظلال بالغطاء النباتي. ويليه مؤشر NDVI بمساحة 7.7 كم² وهو ما يُفسَّر بحساسيته العالية لليخضور وميله المعتاد لتضخم القيم في المناطق ذات الغطاء النباتي المجمع قبل وصوله لمرحلة الإنباع. في المقابل، قدم مؤشر SAVI تقديرًا أكثر توازنًا وواقعية بمساحة 7.1 كم²، بفضل قدرته على معالجة "ضجيج" خلفية التربة وتقليل أثر الانعكاسات الأرضية في المناطق الجافة. بينما انفرد مؤشر EVI بتسجيل المساحة الأقل 4 كم² نظرًا لآلية عمله الصارمة في تصحيح المؤثرات الجوية والتربة، مما يجعله لا يستجيب إلا للنباتات الحية والنشطة حيويًا، مستبعدًا بذلك النباتات المجهدّة أو المبعثرة التي قد تظهر في البيئات الصحراوية.

الخريطة (4) الغطاء النباتي الكثيف لسنة 2025

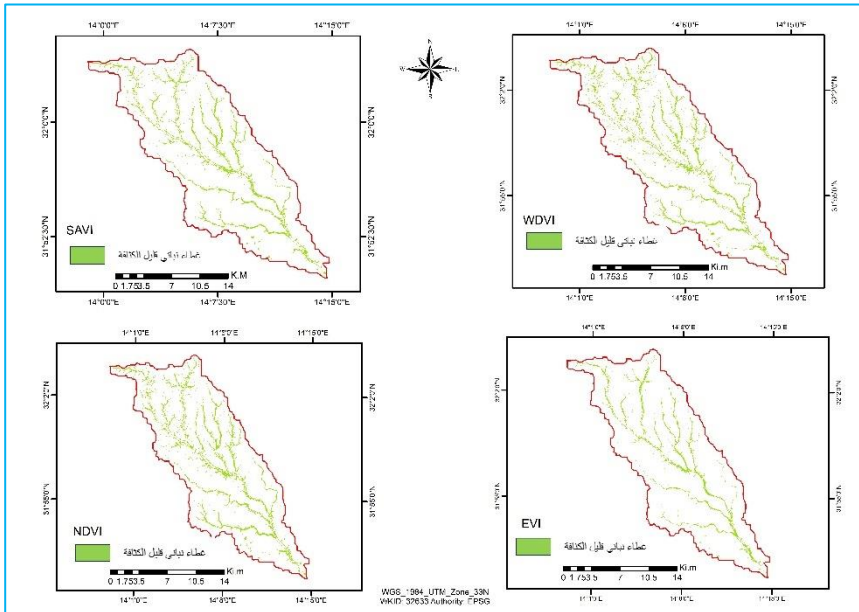


المصدر: من عمل الباحث باستخدام Arc map 10.8.

فئة الغطاء النباتي قليل الكثافة

سجلت فئة الغطاء النباتي قليل الكثافة تذبذباً إحصائياً يعكس مدى حساسية كل مؤشر لتداخلات التربة، حيث سجل مؤشر NDVI أعلى مساحة لهذه الفئة بلغت 21.6 كم² ويُعزى ذلك إلى افتقاره لمعاملات تصحيح التربة، مما يجعله يدمج بكسالات التربة ذات الانعكاسية العالية مع النباتات المبعثرة ويصنفها كغطاء نباتي قليل الكثافة. وفي المقابل، أظهر مؤشر WdVI تقديراً متقارباً بمساحة 20.1 كم² نتيجة حساسيته للفروقات البسيطة في خط التربة، بينما قدم مؤشر SAVI القيمة الأكثر وتوازناً 17.5 كم² نظراً لاستخدامه معامل التعديل (L=0.5) الذي نجح في عزل أثر لمعان التربة عن النباتات الرعوية في بيئة حوض وادي منصور. أما مؤشر EVI، فقد سجل أدنى مساحة لهذه الفئة 13 كم² وهو سلوك متوقع لهذا المؤشر في البيئات الجافة، حيث يتسم بـ "التحفظ الطيفي" ولا يستجيب إلا للأنسجة النباتية التي تمتلك بصمة يخضور واضحة، مستبعداً بذلك النباتات الصحراوية ذات الأوراق الصغيرة أو النباتات الموسمية المجهددة طيفياً وتصنيفها كأراضٍ جرداء.

الخريطة (5) الغطاء النباتي قليل الكثافة لسنة 2025



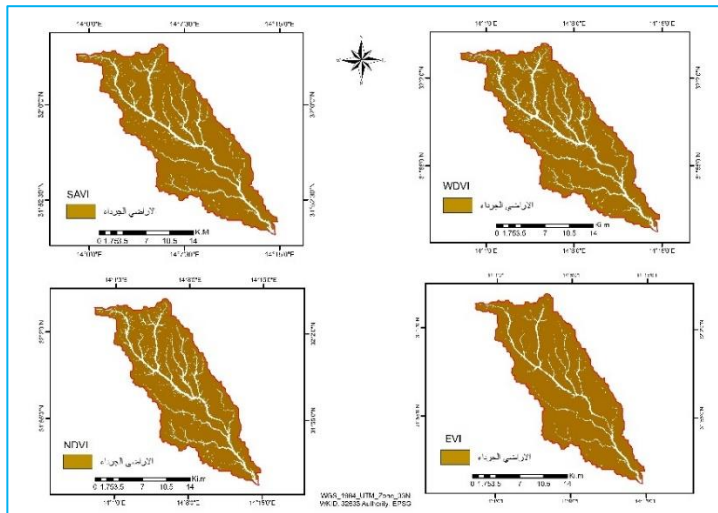
المصدر: من عمل الباحث باستخدام Arc map 10.8.



فئة الأراضي الجرداء

تُظهر النتائج تبايناً جوهرياً في رصد مساحات الأراضي الجرداء، حيث سجل مؤشر EVI المساحة الأكبر 254 كم² ويعود ذلك إلى قدرته العالية على تمييز الضجيج الطيفي الناتج عن النباتات الجافة أو المجففة، مما يجعله يصنف المساحات ذات النشاط الحيوي الضعيف كأراضي جرداء. وفي المقابل، سجل مؤشر SAVI مساحة مقارنة بلغت 246.9 كم² وهي القيمة التي تُعد الأكثر تعبيراً عن الغطاء النباتي في حوض وادي منصور، وذلك بفضل قدرة هذا المؤشر على الفصل الدقيق بين الانعكاس الطيفي للتربة والنباتات المتناثرة. أما مؤشر NDVI، فقد سجل مساحة 242.4 كم²، حيث أدى غياب معامل تصحيح التربة فيه إلى استقطاع جزء من مساحة الأراضي الجرداء وضمها للفئات النباتية نتيجة تأثره بلمعان التربة. وبفارق شاسع عن بقية المؤشرات، سجل WDVI أدنى مساحة للأراضي الجرداء (141.8 كم²) وهو ما يشير إلى انحياز إحصائي كبير (Overestimation) لصالح الغطاء النباتي، حيث تسببت حساسية المؤشر لخط التربة في تصنيف مساحات واسعة من الأراضي العارية خاصة الداكنة أو الرطبة منها ضمن فئات الغطاء النباتي، مما أدى إلى تقليص مساحة الأراضي الجرداء بشكل غير واقعي.

الخريطة (6) الأراضي الجرداء لسنة 2025



المصدر: من عمل الباحث باستخدام Arc map 10.8.

تقييم دقة نتائج المؤشرات الطيفية المستخدمة في الدراسة.

تم استخدام مصفوفة الخطأ (Confusion Matrix) كأداة لتقييم دقة التصنيف في هذه الدراسة، حيث تُعد من الأساليب الفعالة في دراسات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد، وذلك من خلال مقارنة الفئات المصنفة آلياً مع البيانات المرجعية الأرضية (Ground Truth).

وتتمثل مصفوفة الخطأ في جدول ثنائي المدخلات يُبين عدد القيم المصنفة فعلياً ضمن كل فئة مقابل القيم المرجعية الحقيقية لتلك الفئة، الأمر الذي يتيح إجراء تحليل تفصيلي لأداء نموذج التصنيف، وقياس مدى توافق نتائجه مع الواقع الفعلي. (IBM, n.d).

كما تُستخدم مصفوفة الخطأ في اشتقاق عدد من مؤشرات الدقة الإحصائية المهمة، من أبرزها: الدقة الكلية (Overall Accuracy) معامل كبا (Kappa Coefficient) دقة المستخدم (User's Accuracy) دقة المنتج (Producer's Accuracy) وتُعد هذه المؤشرات أدوات أساسية لتقييم كفاءة مؤشرات الغطاء النباتي، في تمثيل الواقع الفعلي للغطاء النباتي ضمن منطقة الدراسة.

تقييم نتائج مؤشر SAVI

يمتاز حوض وادي منصور بمساحة صغيرة نسبياً تبلغ نحو 270 كم²، وتشغل الأراضي الجرداء الجزء الأكبر منها، حيث تسود التكوينات الصخرية والتربة المكشوفة، باستثناء مجاري الأودية الفرعية والمجرى الرئيس للوادي، والتي تتميز بوجود الغطاء النباتي الطبيعي بدرجات كثافة متفاوتة تبعاً للمواضع الطبوغرافية داخل الحوض.

ويتضح من خلال الجدول (4)، الخاص بمصفوفة الخطأ (Confusion Matrix)، تفوق مؤشر SAVI في تمثيل واقع الغطاء النباتي والأراضي المحيطة، حيث بلغت الدقة الكلية (Overall Accuracy) نحو 93.3%، وهي نسبة تُصنف ضمن فئة الدقة الممتازة، إذ نجح المؤشر في مطابقة 28 نقطة من أصل 30 نقطة تحقق ميداني.



الجدول (4) مصفوفة خطأ مؤشر SAVI لسنة 2025

الواقع الميداني	أراض جرداء	نباتات قليلة الكثافة	نباتات كثيفة	المجموع	دقة المستخدم %	فئات التصنيف
						أراض جرداء
	15	0	0	15	100	
	1	9	0	10	90	
	0	1	4	5	80	
	16	10	4	30		
	93.7	90	100			
	93.3		معامل كابا	0.88		

من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الدراسة الميدانية ومخرجات المؤشرات النباتية.

كما بلغت قيمة معامل كابا (Kappa Coefficient) نحو 0.88، وهي قيمة مرتفعة تدل على أن درجة التوافق بين نتائج التصنيف والواقع الميداني ليست عشوائية، بل تعكس كفاءة المؤشر في الحد من تأثير خلفية التربة (Soil Background Noise) ويُعد تجاوز معامل كابا لعتبة 0.80 في البيئات الجافة مؤشراً قوياً على جودة التصنيف. وعلى مستوى الفئات، أظهرت فئة الأراضي الجرداء دقة مستخدم (User's) Accuracy بلغت 93.7%، ما يدل على أن معظم الخلايا المصنفة ضمن هذه الفئة تتطابق مع الواقع الميداني بدرجة عالية. ويعزى ذلك إلى قدرة مؤشر SAVI، بفضل معامل تعديل التربة (L) ($= 0.5$)، على تقليل تأثير الانعكاسية المرتفعة للتربة والصخور.

أما فئة الغطاء النباتي قليل الكثافة، فقد بلغت دقة المستخدم فيها 90%، حيث سُجلت حالة تداخل واحدة فقط، تم فيها تصنيف نقطة ضمن هذه الفئة بينما كانت في الواقع ضمن فئة النباتات الكثيفة. ويمكن تفسير هذا التداخل بوجود تشابه طيفي نسبي بين الفئتين في بعض الحالات الانتقالية، خاصة في البيئات الجافة التي تتسم بتدرج الكثافة النباتية.

وفيما يتعلق بفئة الغطاء النباتي الكثيف، فقد بلغت دقة المستخدم 80%، حيث سُجلت حالة تداخل واحدة تم فيها تصنيف نقطة على أنها نباتات كثيفة بينما كانت في الواقع نباتات قليلة الكثافة. ويُعزى ذلك غالباً إلى تأثير الحواف (Edge Effect)، حيث يحدث تداخل طيفي داخل البكسل الواحد نتيجة اختلاط انعكاسات النبات الكثيف مع العناصر المحيطة، مما يؤدي إلى إعطاء قيم طيفية أعلى توحى بكثافة نباتية أكبر من الواقع.

تقييم نتائج مؤشر Wdvi .

تُظهر مصفوفة الخطأ لمؤشر Wdvi نتائج تعكس طبيعة عمل هذا المؤشر القائم على مفهوم خط التربة (Soil Line). إذ تشير المؤشرات الإحصائية إلى تحقيق دقة كلية (Overall Accuracy) بلغت 80%، ومعامل كبا (Kappa Coefficient) بقيمة 0.69، وهي قيم تدل على مستوى دقة جيد واتفاق متوسط إلى قوي بين نتائج التصنيف والواقع الميداني. ويُعزى انخفاض الدقة مقارنة بمستوى 90% إلى حدوث تداخل طيفي بين فئتي الأراضي الجرداء والنباتات قليلة الكثافة.

الجدول (5) مصفوفة خطأ مؤشر Wdvi لسنة 2025

الواقع الميداني فئات التصنيف	أراض جرداء	نباتات قليلة الكثافة	نباتات كثيفة	المجموع	دقة المستخدم %
أراض جرداء	10	5	0	15	66.6
نباتات قليلة الكثافة	0	9	1	10	90
نباتات كثيفة	0	0	5	5	100
المجموع	10	14	6	30	
دقة المنتج %	100	64.2	83.3		
الدقة الكلية %	80		معامل كبا		0.69

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الدراسة الميدانية ومخرجات المؤشرات النباتية

وعلى مستوى الفئات، يتضح أن فئة الأراضي الجرداء حققت دقة منتج (Producer's Accuracy) بلغت 100%، ما يعني أن جميع النقاط التي تمثل هذه الفئة في الواقع الميداني قد تم التعرف عليها بنجاح من قبل المؤشر. في المقابل، بلغت دقة المستخدم (User's Accuracy) لهذه الفئة نحو 66.7%، حيث قام المؤشر بتصنيف 15 نقطة كأراضٍ جرداء، في حين أن 10 نقاط فقط كانت كذلك فعليًا، بينما تعود 5 نقاط إلى فئة النباتات قليلة الكثافة. ويعكس هذا التداخل ميل المؤشر إلى تصنيف بعض النباتات المشتتة على أنها أراضٍ جرداء، نتيجة تقارب البصمة الطيفية بين التربة الجافة والنباتات الذابلة أو ضعيفة الغطاء، وهو ما يتوافق مع خصائص الغطاء النباتي في حوض وادي منصور، حيث تعاني النباتات من إجهاد مائي يؤدي إلى انخفاض المحتوى الكلوروفيلي.



أما فئة النباتات قليلة الكثافة، فقد بلغت دقة المستخدم فيها 90%، وهي نسبة مرتفعة تعكس موثوقية التصنيف عند إسناد هذه الفئة. في حين سجلت دقة المنتج 64.2%، وهي قيمة منخفضة نسبياً، ويُعزى ذلك إلى فقدان 5 نقاط من هذه الفئة لصالح فئة الأراضي الجرداء. ويؤكد هذا أن مؤشر WDVI يميل في البيئات الجافة إلى تقليل تمثيل الغطاء النباتي منخفض الكثافة ودمجه ضمن فئة التربة، خاصة عندما يكون الغطاء النباتي ضعيف الخضرة. وفيما يتعلق بفئة النباتات الكثيفة، فقد بلغت دقة المستخدم 100%، ما يدل على عدم وجود أخطاء في تصنيف هذه الفئة من حيث الاستخدام. ويعكس ذلك كفاءة مؤشر WDVI في التمييز الدقيق للغطاء النباتي الكثيف، حيث تبتعد البصمة الطيفية للنباتات بشكل واضح عن خط التربة، مما يسهل عملية الفصل بينها وبين الخلفية الترابية.

تقييم نتائج مؤشر NDVI

يُعد مؤشر NDVI من أكثر المؤشرات النباتية انتشاراً، نظراً لسهولة حسابه واعتماده الواسع في دراسات الغطاء النباتي. ومن خلال الجدول (6)، الخاص بمصفوفة الخطأ (Confusion Matrix)، يتضح أن الدقة الكلية (Overall Accuracy) بلغت نحو 83.3%، حيث نجح المؤشر في مطابقة 25 نقطة من أصل 30 نقطة مع الواقع الميداني. كما بلغ معامل كابا (Kappa Coefficient) نحو 0.77، وهي قيمة تشير إلى مستوى اتفاق جيد. ويُعزى انخفاض هذه القيمة مقارنة بالمؤشرات الأعلى كفاءة إلى وجود تداخل طيفي (Spectral Noise)، وهو أمر شائع في مؤشر NDVI عند التعامل مع البيئات ذات التربة المكشوفة.

وعلى مستوى الفئات، أظهرت فئة الأراضي الجرداء دقة مستخدم (User's Accuracy) بلغت 86.6%، حيث قام المؤشر بتصنيف 15 نقطة ضمن هذه الفئة، في حين أن نقطتين منها كانت في الواقع ضمن فئة النباتات قليلة الكثافة. ويُعد هذا النوع من الأخطاء بمثابة إغفال للنباتات (Omission Error)، إذ فشل المؤشر في التمييز بين الغطاء النباتي المشتت والتربة العارية، نتيجة ضعف الإشارة الكلوروفيل مقارنة بالانعكاسية المرتفعة للتربة.

الجدول (6) مصفوفة خطأ مؤشر NDVI لسنة 2025

الواقع الميداني فئات التصنيف	أراض جرداء	نباتات قليلة الكثافة	نباتات كثيفة	المجموع	دقة المستخدم %
أراض جرداء	13	2	0	15	86.6
نباتات قليلة الكثافة	1	8	1	10	80
نباتات كثيفة	0	1	4	5	80
المجموع	14	11	5	30	
دقة المنتج %	92.8	72.7	80		
الدقة الكلية %	83.3			معامل كبا	0.77

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الدراسة الميدانية ومخرجات المؤشرات النباتية.

أما فئة الغطاء النباتي قليل الكثافة، والتي تمثل النمط السائد في الأودية الجافة بالمنطقة، فقد بلغت دقة المنتج (Producer's Accuracy) نحو 72.7%، وهي قيمة منخفضة نسبياً. وقد سُجلت حالة تداخل تم فيها تصنيف نقطة واحدة من الأراضي الجرداء على أنها غطاء نباتي منخفض الكثافة. ويعكس ذلك أحد أوجه القصور المعروفة لمؤشر NDVI في البيئات الجافة، حيث يؤدي سطوع التربة (Soil Brightness) إلى رفع قيم المؤشر، مما يوحي بوجود غطاء نباتي في مناطق تكون في الواقع جرداء.

وفيما يتعلق بفئة الغطاء النباتي الكثيف، والتي يغلب عليها الطابع الموسمي، فقد بلغت دقة المستخدم 80%، حيث صنف المؤشر 5 نقاط ضمن هذه الفئة، بينما كانت 4 نقاط فقط كذلك في الواقع، في حين تعود نقطة واحدة إلى فئة النباتات قليلة الكثافة. ويعكس ذلك ميل مؤشر NDVI إلى المبالغة في تقدير الكثافة النباتية، إذ قد تظهر المناطق متوسطة الكثافة على أنها كثيفة، نتيجة حساسيته العالية للنطاق تحت الأحمر القريب (NIR)، وغياب معامل تصحيح تأثير التربة كما هو الحال في مؤشر SAVI.

تقييم دقة نتائج EVI

مؤشر الغطاء النباتي المحسّن (EVI) هو نسخة محسنة من مؤشر (NDVI) التقليدي يهدف لتقليل التشويش الناتجة عن الغلاف الجوي وخلفية التربة.

ومن خلال الجدول (7)، الخاص بمصفوفة الخطأ (Confusion Matrix) لمؤشر EVI، يتضح أن المؤشر سجل دقة كلية (Overall Accuracy) بلغت 80%، في حين بلغ معامل كبا (Kappa Coefficient) نحو 0.74، وهي قيمة تُصنف ضمن مستوى الدقة الجيدة، وتشير إلى وجود توافق مقبول بين نتائج التصنيف والواقع الميداني.



الجدول (7) مصفوفة خطأ مؤشر EVI لسنة 2025

الواقع الميداني فئات التصنيف	أراض جرداء	نباتات قليلة الكثافة	نباتات كثيفة	المجموع	دقة المستخدم %
أراض جرداء	15	0	0	15	100
نباتات قليلة الكثافة	4	6	0	10	60
نباتات كثيفة	0	2	3	5	60
المجموع	19	8	3	30	
دقة المنتج %	78.9	75	100		
الدقة الكلية %	80	80	معامل كلابا	0.74	

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نتائج الدراسة الميدانية ومخرجات المؤشرات النباتية.

وعلى مستوى الفئات، حققت فئة الأراضي الجرداء دقة مستخدم (User's Accuracy) بلغت 100%، ما يدل على عدم وجود أخطاء في تصنيف هذه الفئة. ويُعزى ذلك إلى طبيعة مؤشر EVI الذي يتسم بالحذر في إسناد القيم النباتية، إذ لا يعطي استجابة عالية إلا في حالة وجود نشاط كلوروفيلي واضح، الأمر الذي يجعله أكثر دقة في استبعاد الأراضي الجرداء. كما يفسر ذلك تسجيله لمساحة كبيرة نسبياً من هذه الفئة بلغت نحو 254 كم². أما فئة النباتات قليلة الكثافة، فقد بلغت دقة المستخدم فيها 60%، وهي نسبة منخفضة نسبياً، حيث تبين أن من بين 10 نقاط صُنفت ضمن هذه الفئة، كانت 4 نقاط في الواقع تندرج ضمن فئة الأراضي الجرداء. ويعكس ذلك وجود تداخل طيفي بين الفئتين، قد يُعزى إلى تشابه الخصائص الانعكاسية للتربة مع النباتات الضعيفة، أو إلى تأثير معاملات تصحيح الغلاف الجوي في معادلة EVI على القيم الطيفية المنخفضة للنباتات المشتتة. وفيما يتعلق بفئة النباتات الكثيفة، فقد بلغت دقة المنتج (Producer's Accuracy) نحو 60%، ما يعني أن المؤشر لم يتمكن من رصد نحو 40% من الغطاء النباتي الكثيف الموجود فعلياً في الميدان. ويشير ذلك إلى ميل مؤشر EVI إلى التقليل من تقدير الكثافة النباتية في البيئات الجافة، حيث قد يُظهر الغطاء النباتي الكثيف بدرجة أقل من واقعه الفعلي.

النتائج:

1- أظهرت الدراسة أن انخفاض الكثافة النباتية وسيادة خلفية التربة العارية أثراً بشكل مباشر على دقة استخلاص الغطاء النباتي، حيث أدت انعكاسية التربة إلى تداخل طيفي خفض دقة المنتج للنباتات قليلة الكثافة في مؤشري WDI و EVI إلى 64.2% و 75% على التوالي.

2- بينت الدراسة تفوق مؤشر SAVI في تقليل أثر خلفية التربة وحقق أعلى درجات الدقة الكلية (93.3%) ومعامل كبا (0.85)، مما أثبت كفاءته العالية في رصد الغطاء النباتي في حوض وادي منصور في المقابل، لم يحقق مؤشر WDI الكفاءة المرجوة في رصد النباتات المتناثرة (قليلة الكثافة)، حيث سجل انخفاضاً في الدقة وصل إلى 64.2% نتيجة التداخل الطيفي مع التربة العارية.

3- أظهرت الدراسة تبايناً واستجابة طيفية مختلفة لكل مؤشر في تمثيل فئات الغطاء النباتي، إذ تصدر مؤشر SAVI على بقية المؤشرات كالأعلى دقة في التمثيل الشامل للغطاء النباتي في حوض وادي منصور بنسبة دقة كلية بلغت 93.3%، في حين مال مؤشر NDVI نحو تضخيم قيم الكثافة النباتية مسجلاً دقة مستخدم بلغت 80% للنباتات الكثيفة مع وجود تداخل مع الفئات الأخرى، وعلى العكس من ذلك أبدى مؤشر EVI سلوكاً أكثر تحفظاً في رصد الغطاء النباتي حيث أغفل جزءاً من النباتات الكثيفة بمستوى دقة منتج لم يتجاوز 60%، بينما انخفضت دقة مؤشر WDI بشكل ملحوظ عند التعامل مع الكثافات المنخفضة لتصل إلى 64.2%، وهو ما يفسر التباين الجوهرى بين آليات عمل هذه المؤشرات في بيئة حوض وادي منصور.

التوصيات :

- 1- اعتماد مؤشر الغطاء النباتي المعدل للتربة (SAVI) في البيئات المشابهة لمنطقة الدراسة كونه الأكثر دقة وكفاءة في عزل تأثيرات التربة السائدة وتقليل أخطاء التداخل الطيفي .
- 2- ضرورة توخي الحذر عند استخدام مؤشر NDVI في البيئات الجافة وشبه الجافة ذات الغطاء النباتي المشتت، وضرورة معالجة النتائج ميدانياً لتجنب المبالغة في تقدير المساحات الخضراء الناتجة عن انعكاسات التربة.
- 3- توسيع نطاق عينات الحقائق الأرضية (Ground Truth) في الدراسات المستقبلية لتشمل مواسم مختلفة، مما يساعد في فهم التغيرات الموسمية للغطاء النباتي.



4- التأكد على أن اختيار المؤشر النباتي ليس عملية عشوائية، بل يجب أن يخضع لطبيعة المنطقة الجغرافية ونسبة الغطاء النباتي السائدة فيها.

قائمة المراجع:

الدوريات العلمية والنشرات :

1. الغريب، الحسين محمد، (2024) كشف التغيرات الموسمية للغطاء النباتي في منطقة بني وليد باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المحلة الإفريقية للدراسات المتقدمة في العلوم الإنسانية والاجتماعية، المجلد 2، العدد 1، يناير.

2. الرحيلي، بسمة بنت سلامة، (2014)، كفاءة المؤشرات النباتية في تقدير المحاصيل الزراعية من مرئيات القمر الصناعي سبوت -5 في منطقة الهدا، المجلة المصرية للتغير البيئي، العدد المجلد 6 العدد 1، مارس .

3. هويدي، غادة محمد، (2025)، تأثير العوامل المحيطة بالغطاء النباتي في قيمة المؤشر النباتي NDVI لصور القمر الصناعي Landsat في منطقة الجبل الأخضر، مجلة ليبيا للدراسات الجغرافية، المجلد 6، العدد 1، يناير، <https://doi.org/10.37375/jlgs.v6i1.3742>

1. Mahmoud, A., Meftah, A., & Zaid, A. (2025). Evaluating the predictive potential of NDVI and MSAVI for soil properties in the rangeland of Southern Al-Jabal Al-Akhdar, Libya. *Alqalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 8(4), 2408-2416.
2. IBM. (n.d.). What is a confusion matrix? <https://www.ibm.com/sa-ar/think/topics/confusion-matrix>
3. Gao, F., Anderson, M. C., & Kustas, W. P. (2026). Advances in multi-source satellite data fusion for environmental monitoring.

Remote Sensing of Environment,310(1),114-128
.https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.0032

4. Chen, Q., Vaudour, E., Richer-de-Forges, A. C., & Arrouays, D. (2025).
5. Spectral indices in remote sensing of soil: Definition, popularity, and issues: A critical overview.RemoteSensingofEnvironment.329.114918.https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.11491
6. U.S. Geological Survey. (2025). Landsat imagery characteristics. usgs.gov
- . Atlas(n.d.)https://atlas.co/glossary/ground-truth-verification/