Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences

مجلة جامعة وادي الشاطئ للعلوم البحتة والتطبيقية

Volume 4, No. 2, July-Decemer 2026 Online ISSN: 3006-0877 المجلد 4، الاصدار 2، يونيو- ديسمبر 2026

RESEARCH ARTICLE **REMOTE SENSING**

Analysis of Wheat Crop Growth Using Sentinel-2 Satellite Data and NDVI in Al-Dafnia, Misurata, Libya during the 2022-2023 Agricultural Season

Jamila Mohamed Elmbrouk[1,*], Samira Sultan Dhafer Almuzoghi[1], Shaban Mnsur[1], Abdurhman Ben Gama[1]

[1]Department for Remote Sensing, Libyan Centre for Remote Sensing and Space Science, Tripoli, Libya

ARTICLE HISTORY

Received 26 May 2026
Revised 10 August 2026
Accepted 18 August 2026
Online 22 August 2026

KEYWORDS

Wheat;
Sentinel-2;
Normalized difference vegetation Index (NDVI);
GIS.

ABSTRACT

This study aims to monitor the growth dynamics of wheat crops in Al-Dafnia region, Misurata Libya, during the 2022-2023 agricultural season using Sentinel-2 satellite data. Remote sensing technologies, specifically NDVI (Normalized Difference vegetation Index), were used to evaluate the vegetation status across different growth stages from planting to harvesting. Images from Sentinel-2 were processed using ArcGIS. With a custom Model Builder workflow to automate NDVI calculation and extract temporal data. The results revealed a gradual increase in NDVI values during the vegetative stages, peaking during elongation, followed by noticeable decline during the maturity stage. This reflects the potential of NDVI in estimating crop health and development. The study emphasizes the efficiency of combining satellite data with GIS tools to achieve, timely crop monitoring and recommends expanding the methodology to include other crop types and environmental variables for improved decision – making in agriculture.

تحليل نمو محصول القمح باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 ومؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI)، في منطقة الدافنية، مصراتة، ليبيا خلال الموسم الزراعي 2022-2023م

جميلة محمد المبروك[1,*]، سميرة سلطان ظافر المزوغي[1]، شعبان عبد الصمد منصور[1]، عبد الرحمن بن جامع[1]

الكلمات المفتاحية

القمح
Sentinel-2
مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي
مؤشر NDVI
نظم المعلومات الجغرافية

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى مراقبة ديناميكية نمو محصول القمح في منطقة الدافنية بمدينة مصراتة، ليبيا، خلال الموسم الزراعي2022-2023 باستخدام بيانات الأقمار الصناعية Sentinel-2، وقد تم استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، وبشكل خاص مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI)، لتقييم حالة الغطاء النباتي عبر مختلف مراحل النمو،من الزراعة حتى الحصاد. حيث تمت معالجة صور Sentinel-2 باستخدام برنامج ArcGIS، مع تصميم سير عمل مخصص باستخدام Model Builderلحساب المؤشر واستخراج البيانات الزمنية. أظهرت النتائج زيادة تدريجية في قيم المؤشر خلال مرحلة النمو الخضري، وبلغت ذروتها خلال مرحلة الاستطالة، تلاها انخفاضات واضحة خلال مرحلة النضج. وتعكس هذه النتائج قدرة مؤشر(NDVI) ، على تقدير صحة وتطور المحاصيل. كما تبرز الدراسة كفاءة دمج بيانات الأقمار الصناعية مع أدوات نظم المعلومات الجغرافية في تحقيق مراقبة فعالة وفي الوقت المناسب للمحاصيل، وتوصي الدراسة بتوسيع هذه المنهجية لتشمل محاصيل أخرى ومتغيرات بيئية إضافية، بما يسهم في تحسين اتخاذ القرار في المجال الزراعي.

المقدمة

يمثل محصول القمح (Triticum aestivum) أحد الركائز الإستراتيجية للزراعة في ليبيا، نظرًا لأهميته الغذائية والاقتصادية ودوره المحوري في دعم الأمن الغذائي الوطني. وتعد منطقة الدافنية الواقعة في الجزء الغربي من مدينة مصراتة من المناطق الزراعية المهمة المنتجة للقمح، وذلك لملاءمة الظروف المناخية ووفرة الأراضي الزراعية، مما يجعلها من المناطق المهمة في الإنتاج الزراعي على المستوى الوطني. وعلى الرغم من هذه الأهمية تواجه الإدارة التقليدية للمحاصيل الزراعية تحديات كبيرة في مراقبة المحاصيل الزراعية وتقييم حالتها الصحية على نطاقات واسعة، إذ تعتمد هذه الإدارة بشكل رئيسي على الزيارات الحقلية، التي تتطلب وقتاً وجهداً كبيرين، فضلاً عن محدودية قدرتها على توفير تغطية مكانية وزمنية مستمرة [1]. من هنا برزت الحاجة إلى تبني تقنيات حديثة قادرة على توفير بيانات دورية شاملة تُسهم في دعم اتخاذ القرار بكفاءة أعلى. وفي هذا الإطار تمثل تقنيات الاستشعار عن بعد أحد أهم الأدوات الحديثة المستخدمة في مراقبة المحاصيل الزراعية وتحليل أنماط نموها، وذلك من خلال الاستفادة من

*Corresponding author
https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_30
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

بيانات الأقمار الصناعية مثل Sentinel-2 التي توفر دقة مكانية تصل الى 10أمتار إلى جانب دقة زمنية مناسبة، لمتابعة التغيرات الزراعية على نطاق أوسع. كما تساهم في تقليل الحاجة إلى الزيارات الميدانية وتوفر هذه التقنيات تغطية شاملة للمناطق الزراعية [3,2] ويُعد مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) من أكثر المؤشرات استخداماً في تقييم صحة المحاصيل، حيث يعتمد على الفرق بين انعكاس الأشعة تحت الحمراء القريبة والأشعة الحمراء، تتراوح قيمة مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي بين (-1) و(+1) حيث تشير القيم السالبة عادة الى المسطحات المائية أو الاسطح غير النباتية، بينما تعكس القيم القريبة من الصفر وجود الترب العارية أو الغطاء النباتي الضعيف وغالبًا ما ترتبط القيم المرتفعة بوجود غطاء نباتي كثيف وحالة نباتية جيدة، لذلك يستخدم هذا المؤشر على نطاق واسع في مراقبة المحاصيل الزراعية وتقييم حالتها الصحية خلال مراحل النمو المختلفة وهو مؤشر حساس للخصائص الفسيولوجية للنبات [4- 6].

كما أظهرت الدراسات أن NDVI يُعد أداة فعالة في تحليل التغيرات الزمنية للنمو النباتي وربطها بالإنتاجية الزراعية. وأكدت الدراسات الحديثة المعتمدة على بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 قدرة المؤشرات النباتية، وخاصة NDVI، على متابعة التطور الزمني لمحصول القمح وتمييز مراحل النمو المختلفة، مع إمكانية استخدامها في تقييم الحالة النباتية ودعم الإدارة الزراعية الدقيقة [7].

علاوة على ذلك، فإن دمج بيانات الاستشعار مع نظم المعلومات الجغرافية يتيح إمكانات متقدمة لتحليل البيانات بدقة عالية، ويساهم في إنتاج خرائط زراعية دقيقة تدعم تطبيقات الزراعة كما أثبتت السلاسل الزمنية لمؤشر NDVI المستخرجة من صور القمر الصناعي Sentinel-2 قدرتها على تمثيل التغيرات الفسيولوجية للمحاصيل بدقة، حيث تم الاعتماد على الحزمة الرابعة (B4) في النطاق الأحمر والحزمة الثامنة (B8) في نطاق الأشعة تحت الحمراء القريبة لحساب مؤشر التغيرات الفيزيولوجية للمحاصيل مقارنة بالبيانات الحقلية [2].

تهدف هذه الدراسة الى ابراز فاعلية تقنيات الاستشعار عن بعد المدعومة بمؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي، في مراقبة المحاصيل الزراعية ودعم الزراعة المستدامة، من خلال توفير معلومات دقيقة يمكن الاعتماد عليها في متابعة تطور المحاصيل خلال مراحل نموها المختلفة، وتحسين إدارة الموارد الطبيعية.

المواد وطرق العمل

تم الاعتماد على سلسلة زمنية من صور القمر الصناعي Sentinel-2A/B التابعة لبرنامج Copernicus، والتي تم الحصول عليها من منصة Copernicus Open Access Hub، واستُخدم منتج Level-2A الذي يوفر بيانات الانعكاس السط (Surface Reflectance) الجاهزة للتحليل. وقد غطت البيانات الفترة الممتدة من نوفمبر 2022 إلى مايو 2023، مع اختيار المرئيات ذات الغطاء السحابي المنخفض لضمان جودة نتائج حساب مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي(NDVI).

يتميز القمر الصناعي Sentinel-2 بمستشعر متعدد الأطياف (**MSI**) يوفر دقة مكانية تبلغ 10أمتار، للحزمتين الرابعة (**B4**) والثامنة (**B8**) المستخدمتين في حساب مؤشر **NDVI**، إضافة إلى دقة زمنية تصل إلى خمسة أيام، مما يجعله مناسبًا لمتابعة التغيرات الموسمية في نمو المحاصيل الزراعية.

كما تم توثيق المراحل الفسيولوجية لمحصول القمح ميدانيًا خلال الموسم الزراعي 2022–2023، وشملت: الزراعة (23 نوفمبر 2022)، والإنبات (4 ديسمبر 2022)، واكتمال الإنبات (17 ديسمبر 2022)، والتفرع (7 يناير 2023)، والاستطالة (21 فبراير 2023)، وبداية النضج (أبريل 2023)، والحصاد (مايو 2023). وقد استُخدمت هذه البيانات الميدانية في تفسير التغيرات الزمنية لقيم مؤشر(NDVI) وربطها بمراحل نمو المحصول.

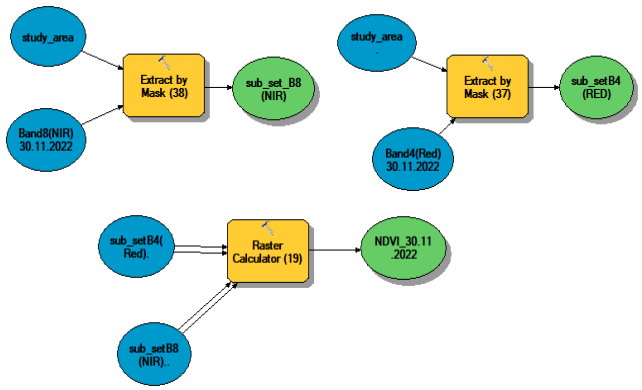
أثبتت نظم المعلومات الجغرافية (GIS) قدرتها على توفير البيانات؛ وقد وظّفها الباحثون في دراسات عديدة شملت مجالات متنوعة، منها الهندسة، والتعليم، والبيئة، والزراعة، وعلوم الجغرافيا المكانية، والاستشعار عن بُعد، وغيرها [8-24].

في هذا البحث تم تنفيذ عمليات المعالجة والتحليل المكاني باستخدام برنامج ArcMap ضمن حزمة ArcGIS Desktop 10.8 (Esri, USA) حيث استُخدمت أدوات التحليل المكاني وأداة Model Builder لإنشاء سير عمل آلي لمعالجة الصور الفضائية وحساب مؤشر NDVI. وشملت خطوات المعالجة قص المرئيات الفضائية وفق حدود منطقة الدراسة، وحساب مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي باستخدام المعادلة الآتية:

$$NDVI = \frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)} \quad (1)$$

حيث (B8) تمثل قيمة الانعكاس في النطاق القريب من الأشعة تحت الحمراء (Near Infrared). (B4) قيمة الانعكاس في النطاق الأحمر (Red)

نُفذت جميع العمليات الحسابية بصورة آلية باستخدام نموذج Model Builder الشكل (1)، مع حفظ نتائج كل مرئية ضمن سلسلة زمنية قابلة للتحليل. كما استُخرجت القيم الإحصائية للمؤشر، والتي شملت القيم الدنيا، العليا والمتوسط داخل حدود منطقة الدراسة لكل تاريخ، بهدف تحليل التغيرات الزمنية في نمو محصول القمح خلال الموسم الزراعي. وقد ساهم استخدام نموذج المعالجة الآلية في تقليل الوقت والجهد، وتوحيد خطوات التحليل وإتاحة إمكانية إعادة تطبيق المنهجية في دراسات مستقبلية.



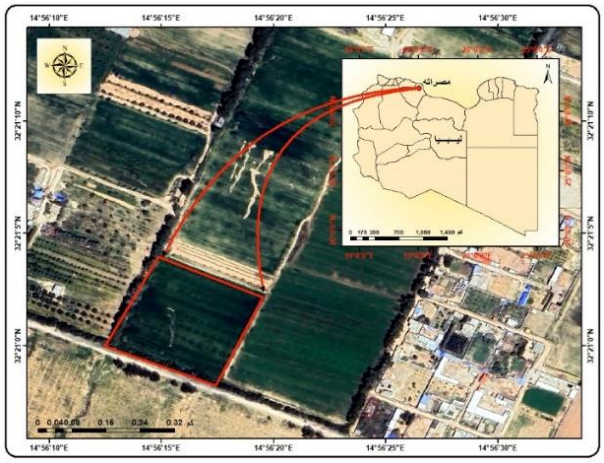
الشكل1 : النموذج المستخدم لحساب NDVI

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في الدافنية غرب مدينة مصراتة، الواقعة في شمال غرب ليبيا، بين دائرتي عرض ″30 ′20 °32 و ″30 ′21 °32 شمالًا وخطي طول ″00 ′56 °14 و ″30 ′56 °14 شرقًا وتبلغ مساحة الحقل المدروس حوالي 1.5 هكتار، وتُعد منطقة الدافنية من المناطق الزراعية المهمة في سهل مصراتة، إذ تتميز بانتشار الأراضي الزراعية، وتنوع الأنشطة الزراعية، واعتمادها على

المياه الجوفية في الري، مما يجعلها منطقة ذات أهمية كبيرة للدراسات الزراعية والبيئية. كما تتميز بملاءمة ظروفها البيئية لإنتاج محاصيل الحبوب، ولا سيما محصول القمح. وتتميز المنطقة بمناخ متوسطي شبه جاف، يتسم بشتاء معتدل وماطر وصيف حار وجاف. تُزرع مساحات واسعة من القمح سنوياً، اعتماداً على الري التكميلي، والأمطار الموسمية.

تشمل منطقة الدراسة مجموعة من الحقول الزراعية المزروعة بالقمح خلال الموسم وقد تم اختيار هذه المنطقة نظراً لتوفر بيانات ميدانية عنها، وإمكانية متابعتها خلال مختلف مراحل النمو يوضح الشكل (2) موقع منطقة الدراسة وحدود الحقل الزراعي ضمن منطقة الدراسة.



الشكل 2: منطقة الدراسة

باستخدام برنامج ArcGIS Desktop10.8 كما هو موضح بالشكل (3)، حيث أوضحت هذه الخرائط التغير المكاني في كثافة وحيوية الغطاء النباتي، مع تحديد القيم الدنيا والعليا للمؤشر خلال الموسم الزراعي. كما هو في الجدول (1).

الجدول 1: قيم NDVI خلال مراحل نمو القمح خلال الموسم الزراعي 2022-2023

التاريخ	القيم الدنيا	القيم العليا	المتوسط	المرحلة
2022-11-30	0.0925	0.1912	0.1090	بداية الإنبات
2022-12-05	0.1053	0.2006	0.1249	الإنبات
2022-12-15	0.1372	0.2576	0.1979	اكتمال الإنبات
2022-12-25	0.1401	0.4159	0.2503	اكتمال الإنبات
2023-01-24	0.3171	0.5841	0.5055	التفرع
2023-01-29	0.3427	0.6560	0.5529	التفرع
2023-02-23	0.3630	0.6016	0.5657	الاستطالة
2023-02-28	0.3996	0.5657	0.5204	الاستطالة
2023-03-05	0.5227	0.7011	0.6448	الاستطالة
2023-03-10	0.3403	0.6982	0.6298	الاستطالة
2023-03-15	0.3141	0.6822	0.6203	الاستطالة
2023-03-25	0.4226	0.6544	0.6012	الاستطالة
2023-03-30	0.3697	0.5707	0.5268	الاستطالة
2023-04-04	0.2981	0.5581	0.4940	بداية النضج
2023-04-09	0.3496	0.5839	0.5137	بداية النضج
2023-04-19	0.1842	0.3858	0.3062	بداية النضج
2023-04-24	0.2313	0.2834	0.2313	بداية النضج
2023-04-29	0.1256	0.2313	0.1929	بداية النضج
2023-05-04	0.1489	0.2345	0.1792	الحصاد
2023-05-24	0.1329	0.1768	0.1485	الحصاد

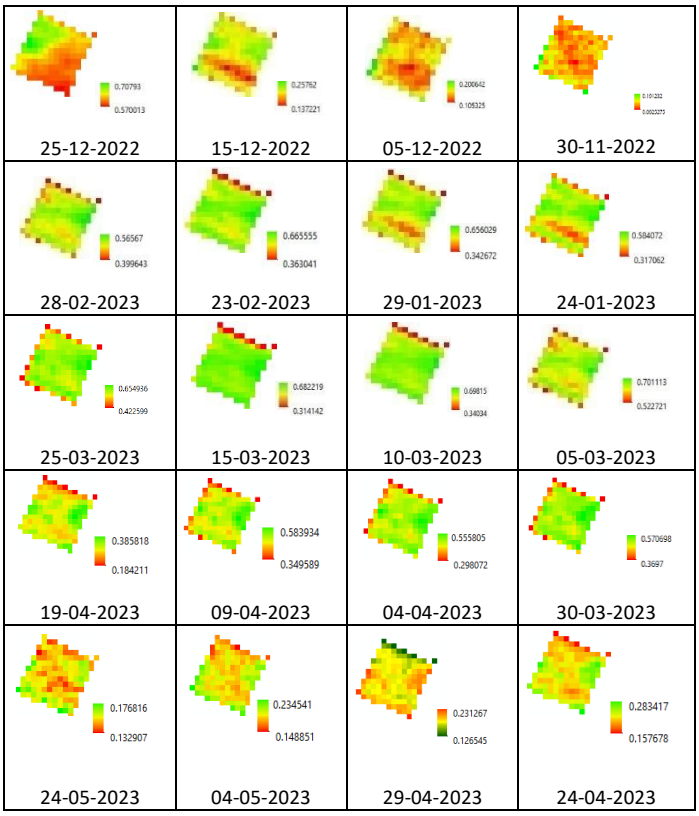
التحليل الزمني والتباين لمؤشر (NDVI)

1. ارتباط قيم NDVI بمراحل النمو

أظهرت النتائج أن قيم NDVI تتبع نمطاً ديناميكياً متوافقاً مع المراحل الفسيولوجية للقمح للموسم الزراعي 2022-2023. حيث تم استخراج القيم الإحصائية (الدنيا، العليا والمتوسط) لكل مرئية ضمن السلسلة الزمنية المستخدمة. وقد كانت هناك علاقة واضحة بين مراحل النمو الفسيولوجية لمحصول القمح وتغيرات الغطاء النباتي. بدأت قيم NDVI منخفضة خلال مراحل الإنبات حيث تراوحت قيم المتوسط بين (0.1090–0.2503)، وبلغت ذروتها في مرحلة الاستطالة لتصل قيمة المتوسط (0.6448) بتاريخ 05-03-2023، مما يشير إلى وصول النبات إلى مرحلة النشاط الخضري الأعلى، قبل أن تنخفض تدريجياً في مرحلة النضج لتصل (0.1929)، نتيجة تراجع النشاط الفسيولوجي وانخفاض محتوى الكلوروفيل. واستمر الانخفاض خلال مرحلة الحصاد، إذ بلغ متوسط (NDVI) حوالي (0.1485) بتاريخ 24-05-2023، مع تسجيل قيمة دنيا بلغت (0.1329)، مما يعكس انتهاء الدورة الخضرية للمحصول. هذا النمط يدعم ما تشير إليه الدراسات السابقة حول فعالية NDVI في تمثيل الكتلة الحيوية والتغيرات الفسيولوجية للنباتات، ويؤكد قدرة المؤشر على تتبع نمو المحصول بدقة عالية [4 -6].

2. دلالة التباين بين القيم الدنيا والعليا

أظهر تحليل التباين أن النطاق بين القيم الدنيا والعليا اتسع خلال مراحل النمو النشط (التفرع والإستطالة)، والذي يشير إلى تباين مكاني في نمو النباتات داخل الحقل. بينما تقلص التباين في مرحلة النضج والحصاد يدل على تجانس حالة المحصول عند اكتمال النضج، هذه الملاحظات مهمة لإدارة



الشكل 3: خرائط مكانية لمؤشر NDVI

النتائج

تم إنتاج خرائط مكانية لمؤشر (NDVI) خلال مراحل النمو المختلفة

الموارد الزراعية، حيث يمكن استخدام بيانات (NDVI) لتحديد المناطق التي تحتاج إلى ري أو تسميد إضافي.

3. استخدام أدوات التحليل المكاني والزمني

ساعد استخدام نموذج Model Builder داخل بيئة ArcGIS في تسريع العمليات الحسابية وتوحيد خطوات التحليل، حيث تم انشاء نموذج قابل للتكرار لمتابعة البيانات الزمنية في الدراسات المستقبلية.

ورغم كفاءة المنهج المستخدم، نلاحظ بعض الفجوات الناتجة عن غياب البيانات في بعض الفترات بسبب الغيوم، وهو تحدٍ معروف في استخدام بيانات Sentinel-2، ويُقترح لاحقاً دمجها مع مصادر أخرى مثل Landsat أو بيانات الرادار لتغطية هذه الفجوات وتعزيز دقة الرصد الزمني.

4. ربط نتائج NDVI بمراحل النمو

تمت خلال الموسم الزراعي 2022-2023 عدة زيارات ميدانية لمراقبة نمو محصول القمح في الحقل المدروس وتوثيق حالة المحصول بما يشمل كثافة الغطاء النباتي، لون الأوراق، أظهرت الملاحظات الميدانية توافقاً واضحاً مع قيم (NDVI) المسجلة.

- **نوفمبر – ديسمبر (الإنبات):** تراوحت القيم المتوسطة لـ NDVI خلال شهري نوفمبر وديسمبر ما بين (0.1090–0.2503)، مما يعكس بداية تكوين الغطاء النباتي وضعف الكتلة الخضراء نتيجة عدم اكتمال نمو النباتات الشكل (4).

الشكل 4: صورة حقلية تظهر مرحلة الانبات

- **يناير (مرحلة التفرع):** ارتفعت القيم المتوسطة خلال يناير إلى حدود (0.5055–0.5529) نتيجة زيادة عدد الأوراق وتوسع الغطاء النباتي بشكل فعال الشكل (5).

الشكل 5: صورة حقلية تظهر مرحلة التفرع

- **فبراير – مارس (مرحلة الاستطالة):** بلغت القيم العليا للمؤشر حوالي (0.70)، بينما وصل متوسط NDVI إلى أعلى قيمة له (0.6448) بتاريخ 05-03-2023، مما يعكس ذروة النمو الخضري والنشاط الفسيولوجي. الشكل (6).

الشكل 6: صورة حقلية تظهر مرحلة الاستطالة

- **أبريل (مرحلة النضج):** انخفضت القيم تدريجياً إلى (0.23-0.31) بسبب بداية جفاف الأوراق وتراجع الكتلة الخضراء. يدل هذا الانخفاض على تحول النبات من النمو الخضري إلى النضج حيث تنخفض معدلات البناء الضوئي ويبدأ اصفرار النبات (انظر الشكل7).

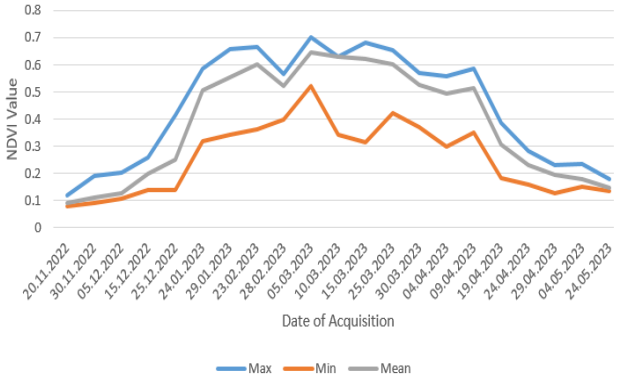
الشكل 7: صورة حقلية تظهر مرحلة النضج

- **مايو (الحصاد):** سجلت مرحلة الحصاد انخفاضًا واضحًا في قيم NDVI، حيث بلغ المتوسط (0.1485)، بينما بلغت القيمة الدنيا (0.1329)، مما يعكس نهاية الدورة الخضرية وجفاف النبات الشكل (8).

الشكل 8: صورة حقلية تظهر مرحلة الحصاد

إن هذا التسلسل الزمني يثبت أن مؤشر NDVI أداة فعالة لتقدير مراحل النمو، ويمكن الاعتماد عليه في تحسين الإدارة الزراعية وتوجيه عمليات الري والتسميد.

ويوضح الشكل (9) التغير الزمني في قيم مؤشر(NDVI) لمراحل نمو القمح خلال الموسم الزراعي 2022 – 2023 حيث يلاحظ التزايد التدريجي للقيم حتى مرحلة الاستطالة، ثم انخفاضها التدريجي مع بداية مرحلة النضج وصولاً إلى الحصاد.



الشكل 9: التغير الزمني في قيم مؤشر NDVI

المناقشة

تعكس قيم مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) التغيرات المرتبطة بالحالة الفسيولوجية للنبات، إلا أن تفسيرها لا يعتمد فقط على مستوى النشاط الخضري، بل يتأثر أيضًا بمجموعة من العوامل البيئية، مثل خصائص التربة والرطوبة والمرحلة الفسيولوجية للمحصول.

لذلك، ينبغي تفسير التغيرات في قيم هذا المؤشر في ضوء مراحل نمو المحصول والظروف البيئية السائدة في منطقة الدراسة.

أظهرت نتائج الدراسة وجود نمط زماني ومكاني واضح في قيم مؤشر (NDVI) خلال مراحل نمو محصول القمح في منطقة الدراسة خلال الموسم الزراعي 2022-2023.

فقد ارتفعت قيم المؤشر تدريجيًا مع تقدم مراحل النمو وزيادة المساحة الورقية وكثافة الغطاء النباتي، وبلغت أعلى مستوياتها خلال مرحلة الاستطالة. وقد سجل أعلى متوسط للمؤشر قيمة (0.6448) بتاريخ 05-03-2023، بينما بلغت القيم العليا حوالي (0.70)، مما يعكس وصول المحصول إلى مرحلة النشاط الخضري الأعلى خلال الموسم الزراعي.

وتجدر الإشارة إلى أن أعلى متوسط لقيم مؤشر NDVI (0.6448)، هي قيمة تقع في النطاق المتوقع لمحصول القمح وفقاً لما ورد في العديد من الدراسات. ويُعزى عدم وصول المؤشر إلى قيم أعلى إلى عدة عوامل، من أهمها تأثير الخلفية الترابية خلال المراحل التي لم يكتمل فيها الغطاء النباتي بشكل كامل، وطبيعة البيئة شبه الجافة.

وتتفق هذه النتائج مع ماأشار إليه Tucker [25] حول ارتباط NDVI بالكتلة الحيوية والنشاط الفسيولوجي للنبات، ومع ما أوضحه Huete [26] بشأن تأثير خصائص التربة على المؤشرات النباتية، كما تتوافق مع نتائج Uribeetxebarria وآخرين [7] التي أكدت قدرة بيانات Sentinel-2 و NDVI على تتبع مراحل نمو القمح وتمثيل التغيرات الفسيولوجية للمحصول.

وتوضح هذه النتائج قدرة مؤشر NDVI المستخرج من بيانات Sentinel-2 على تمثيل التغيرات الفسيولوجية لمحصول القمح ومتابعة التطور الزمني للحالة النباتية، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه Uribeetxebarria وآخرون (2022) حول فعالية السلاسل الزمنية لمؤشرات الغطاء النباتي في متابعة تطور محصول القمح ودعم تطبيقات الإدارة الزراعية الدقيقة [7].

خلال المراحل المبكرة من نمو محصول القمح، وخاصة مرحلة الإنبات، سجلت قيم NDVI مستويات منخفضة مقارنة بالمراحل اللاحقة، ويرتبط ذلك بشكل أساسي بعدم اكتمال الغطاء النباتي وظهور تأثير الخلفية الترابية في الإشارة الطيفية المسجلة. إذ تمثل القيم الناتجة خلال هذه المرحلة مزيجًا من انعكاس الغطاء النباتي والتربة المكشوفة، مما قد يؤدي إلى تقليل حساسية المؤشر في تقدير الحالة النباتية الفعلية عندما تكون كثافة النباتات منخفضة.

وتتفق هذه الملاحظة مع ما أشار إليه Huete (1988) حول تأثير خصائص التربة على مؤشرات الغطاء النباتي، وأهمية استخدام مؤشرات معدلة للتربة عند الحاجة، مثل SAVI ، خاصة في البيئات الجافة وشبه الجافة [26].

وتتفق نتائج هذه الدراسة مع ما أشارت إليه الدراسات السابقة حول أهمية استخدام مؤشرات الاستشعار عن بعد في تحسين تقييم حالة الغطاء النباتي وتقدير الإنتاج الزراعي، كما توفر هذه المؤشرات قياسات مكانية وزمنية واسعة يصعب الحصول عليها بالطرق الحقلية التقليدية وحدها، كما توفر معلومات مكملة عن خصائص النبات والظروف البيئية المحيطة [27].

كما تتوافق نتائج الدراسة الحالية مع ما أوضحه Tucker (1979) حول العلاقة الوثيقة بين NDVI ومستوى الكتلة الحيوية الخضراء والنشاط الفسيولوجي للنبات، حيث أظهرت زيادة تدريجية في قيم المؤشر منذ مرحلة الإنبات وحتى مرحلة الاستطالة، أعقبها انخفاض واضح خلال مرحلتي النضج والحصاد نتيجة تراجع النشاط الفسيولوجي للنبات وانخفاض المساحة الورقية الفعالة [25].

وأظهرت خرائط (NDVI) الناتجة عن التحليل المكاني وجود تباين مكاني في حيوية محصول القمح داخل منطقة الدراسة، ويُعد هذا التباين المكاني عاملاً مهماً في تطبيقات الزراعة الدقيقة، حيث يمكن استخدام خرائط NDVIلتحديد المناطق ذات النمو غير المتجانس داخل الحقول، وربطها بالعوامل المؤثرة مثل اختلاف خصائص الحقول والظروف الزراعية. مما يساعد في توجيه التدخلات الزراعية بصورة أكثر كفاءة، وتحسين إدارة الموارد وتطبيق عمليات الري والتسميد بصورة أكثر دقة [28, 29].

كما يُعد دمج بيانات الاستشعار عن بعد مع نظم المعلومات الجغرافية أداة فعالة في تطبيقات الزراعة الدقيقة، إذ يتيح إنتاج خرائط مكانية توضح التباين في نمو المحاصيل، وتساعد في تحديد مناطق الإجهاد النباتي، ومراقبة تطور المحصول، والكشف المبكر عن المناطق التي تتطلب تدخلات إدارية، مما يدعم اتخاذ القرار ويحسن كفاءة إدارة الري والتسميد والإنتاج الزراعي.

وعلى الرغم من كفاءة المنهجية المستخدمة، فإن الاعتماد على البيانات البصرية قد يتأثر بوجود الغطاء السحابي، مما يؤدي إلى فقدان بعض المشاهد الزمنية. كما أن مؤشر (NDVI) يتأثر بخلفية التربة خلال المراحل المبكرة من النمو، وقد يصل إلى حالة التشبع عند الكثافات النباتية المرتفعة، مما يقلل من قدرته على التمييز بين المستويات العالية للكتلة الحيوية. لذلك توصي الدراسة مستقبلًا بدمج بيانات Sentinel-2 مع بيانات الرادار Sentinel-1، واستخدام مؤشرات طيفية إضافية مثل NDWI و EVI، بهدف تحسين استمرارية الرصد وزيادة دقة تقييم الحالة الفسيولوجية للمحاصيل الزراعية، ولا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة.

الاستنتاجات

أظهرت نتائج هذه الدراسة أن استخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 ومؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) يمثل أداة فعالة في مراقبة ديناميكية نمو محصول القمح خلال الموسم الزراعي 2022-2023 في منطقة الدافنية، مصراتة، ليبيا. حيث أظهرت السلاسل الزمنية لقيم مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI) تغيراً واضحاً ومتوافقاً مع المراحل

الفسيولوجية لنمو محصول القمح، حيث ارتفع متوسط المؤشر من (0.109) خلال مرحلة الإنبات، ليصل إلى أكثر من (0.64) خلال مرحلة الاستطالة التي تمثل أعلى نشاط حيوي وكتلة خضرية للمحصول، ثم انخفض تدريجياً خلال مرحلتي النضج والحصاد ليصل إلى (0.148) عند نهاية الموسم الزراعي، مما يعكس قدرة مؤشر (NDVI) على تتبع التطورات الزمنية للحالة النباتية وتمييز مراحل نمو القمح المختلفة. كما بينت قدرة (NDVI)على التمييز بين مراحل النمو المختلفة بدقة جيدة، مما يؤكد فعاليته في تمثيل التغيرات الفسيولوجية والكتلة الحيوية للمحاصيل الزراعية. وأخيراً، تؤكد الدراسة أن دمج تقنيات الاستشعار عن بعد مع نظم المعلومات الجغرافية يوفر إطاراً عملياً قابلاً للتطبيق في مراقبة المحاصيل وتحسين الإنتاج الزراعي في البيئات الجافة وشبه الجافة.

التوصيات

في هذا البحث، تم تحليل قيم مؤشر الفرق المعياري للغطاء النباتي NDVI خلال مراحل نمو محصول القمح لتقييم حالته بشكل دقيق، حيث أظهرت النتائج أن قيم المتوسط لمؤشر NDVI تزداد تدريجياً مع تقدم مراحل نمو النبات، مما يعكس النمو النباتي وفعالية التغطية النباتية في الحقل المدروس.

كما ساعدت هذه القيم في التعرف على مراحل النمو بدقة، مما يُسهم في تحسين إدارة الموارد الزراعية واتخاذ القرارات المناسبة للري والتسميد.

بناء على النتائج التي تم الحصول عليها، نوصي بما يلي:

1- الاستمرار في استخدام المؤشرات النباتية الطيفية مثل مؤشر (NDVI) كأداة فعالة لمراقبة نمو المحاصيل.

2- دمج بيانات (NDVI) مع بيانات مؤشرات نباتية طيفية اخرى، بيانات الطقس والتربة لتعزيز دقة التنبؤات الزراعية.

3- تطبيق أنظمة ري وتسميد دقيق تستند إلى مراحل نمو النبات لضمان زيادة الإنتاجية وتقليل الهدر.

4- إجراء دراسات مكملة لتقييم تأثير العوامل البيئية الأخرى على قيم مؤشر (NDVI) وجودة المحصول.

Author Contributions: "All authors have made a substantial, direct, and intellectual contribution to the work and approved it for publication."
Conflicts of Interest: "The authors declare that they have no conflict of interest."
Funding: "This research received no external funding."
Data Availability Statement: "The data that support the findings of this study are available within the article."
Acknowledgements: "The authors express their sincere gratitude and appreciation to Agricultural Engineer Ismail Ramadan Jaboua for his generous cooperation in providing essential field data on the studied agricultural fields, which greatly facilitated the completion of this study."

References

[1] T. Lillesand, R. Kiefer, and J. Chipman. “Remote Sensing and Image Interpretation.” *7th ed. NewYork: WILEY*, p. 768, 2015.

[2] A. Islam, et al. “Monitoring wheat area using sentinel-2 imagery and In-situ spectroradiometer data in heterogeneous field conditions.” *Discov. Agric.*, vol. 2, no. 52, 2024. https://doi.org/10.1007/s44279-024-00069-4

[3] Sentinel-2 User Handbook, European Space Agency (ESA), 2015. https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

[4] B. Holben. “Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data.” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, no. 11, pp. 1417-1434, 1986. https://doi.org/10.1080/01431168608948945

[5] A. Gitelson, Y. Kaufman, and M. Merzlyak. “Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS.” *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, no. 3, pp. 289-298, 1996. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7

[6] X. Zhang, et al. “Monitoring vegetation phenology using MODIS.” *Remote Sensing of Environment*, vol. 84, no. 3, pp. 471-475, 2003. https://doi.org/10.1016/S00344257 (02)00135-9

[7] A. Uribeetxebarria, A. Castellón, and A. Aizpurua. “A First Approach to Determine If It Is Possible to Delineate In-Season N Fertilization Maps for Wheat Using NDVI Derived from Sentinel-2.” *Remote Sensing*, vol. 14, no. 12, pp. 2872:1-2872:19, 2022. https://doi.org/10.3390/rs14122872

[8] S. Alburki, and A. Elkais. "Reservoir Characterization of Low-Permeability FACHA Formation in Hakim Field Using ECRIN Well Test Analysis." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 258-264, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_29

[9] O. Shaltami, et al. "Geochemical Approaches to Combating Desertification and Enhancing Sustainable Development in Libya." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 163-169, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_19

[10] O. Shaltami, et al. "Seismic Geochemistry: A Sustainable Approach to Hydrocarbon Exploration in Libya." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 194-199, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_23

[11] S. Garash, A. Eluheshi, and A. Belhaj. "Wireless Sensor Networks in Desert Environments: A Systematic Review of Challenges, Solutions, and Research Gaps." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 371-379, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_31

[12] A. Almesmari. "The Role of Digital Transformation in Achieving Sustainable Development." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, SI, pp. 1-9, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpas.sp_FISCSDR2026_01

[13] A. Al-Mousa, and B. Al-Dakhil. "Using Geographic Information Systems (GIS) in Analyzing the Digital Elevation Model (DEM) for Idlib Governorate, Northwest Syria." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, SI, pp. 42-52, 2026.https://doi.org/10.63318/waujpas.sp_FISCSDR2026_05

[14] S. Mohammed, et al. "Exploring Promised Sites for Establishing Hydropower Energy Storage (PHES) Stations in Libya by Using the Geographic Information Systems (GIS)." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 85-94, 2025. https://doi.org/10.63318/waujpasv3i1_13

[15] H. Algassie, M. Fakroun, M. Bin Miskeen, and& I. Gargar. "The Use of GIS and Multi-Criteria Fuzzy Logic to Assess and Identify Flood-Prone Areas in the Greater Ghat Region." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 1, no.1, pp. 37-47, 2023.

[16] A. Awidat, O. Darwish, and M. Fekroun. "Assessment of the Condition of the Flexible Pavement of Brack Alshatti Airport Road Using the Paver System." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 467-475, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i1_51

[17] A. Elesoq, M. Ben Hkoma, and Y. Nassar. "Sustainable deployment of Geographic Information Systems (GIS) for primary schools in the Al-Andalus district municipality." *Wadi*

Alshatti University Journal of Human Sciences, vol. 2, no. 2, pp. 40-8, 2026. https://doi.org/10.63318/waujhsv2i2_03

[18] A. Fadhl, and M. Ali. "The role of spatial technologies in modeling changes in green spaces in the city of Tobruk: A Study in Applied Geography." *Wadi Alshatti University Journal of Human Sciences*, vol. 2, no. 2, 2026. Under press.

[19] M. Almahmody, R. Eissa, and A, Yossif. "Effects of Planting Date and Soil Moisture Depletion Level on Growth, Yield Components, and Water Productivity of Wheat (Triticum aestivum L.)" *Wadi Alshatti University Journal of Human Sciences*, vol. 2, no. 2, 2026. Under press.

[20] S Mohammed, et al. "Exploring Optimum Sites for Exploitation Hydropower Energy Storage Stations (PHES) Using the Geographic Information Systems (GIS) in Libya." *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 394-409, 2025

[21] O.Almakhzoum. "Assessment of the adequacy of primary education institutions in the city of Brack." *Wadi Alshatti University Journal of Human Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 51-62, 2025. https://waujhs.com.ly/index.php/waujhs/article/view/23

[22] E. Najem, and F. Alhadar. "Utilizing Geographic Information Systems to Identify Optimal Locations for Establishing Solar Power Plants in the Sebha Region." *Solar Energy and Sustainable Development Journal*, *14*(FICTS-2024), 36–54. https://doi.org/10.51646/jsesd.v14iFICTS-2024.442

[23] E. Najem. "Geographical Determinants of Desert Tourism in South-western Libya: A Study in Economic Geography." Fezzan University Scientific Journal, vol. 5, no. 1, pp. 30–55, 2025. https://doi.org/10.64500/.v5i1.643

[24] O. Shaltami, et al. " Geological Framework and Exploration Potential of Manganese Mineralization in Libya: A Comparative Study of Nalut–Jabal Nafusa, Wadi Urari and Shati Valley." *Wadi Alshatti University Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 280-285, 2026. 475, 2026. https://doi.org/10.63318/waujpasv4i2_32

[25] C. Tucker. "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation." *Remote Sensing of Environment*, vol. 8, no. 2, p. 127–150, 1979. https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0

[26] A. Huete. "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)." *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, no. 3, p. 295_309, 1988. https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X

[27] J. Xue, and B. Su. "Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications." *Journal of Sensors*, vol. 2017, no. 2017, pp. 1-17, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/1353691

[28] A. Farbo, F. Sarvia, S. De Petris and E. Borgogno-Mondino, "Preliminary concerns about agronomic interpretation of NDVI time series from Sentinel-2 data: Phenology and thermal efficiency of winter wheat in Piemonte (NW Italy)." *Int. Arch. Photogramm. RemoteSens. Spat. Inf. Sci.*, Vols. XLIII-B3-2022, p. 863–870, 2022. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-863-2022

[29] N. Rebouh, et al. "Towards improving the precision agriculture management of the wheat crop using remote sensing: A case study in Central Non-Black Earth region of Russia." *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, vol. 26, no. 3, p. 505–517, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2023.06.007