



التحليل الطيفي لبيانات الصور الفضائية عالية الدقة في الإدارة المزرعية لتقدير إنتاج القمح في المناطق شبه الجافة/ريف دمشق

Spectral Analysis of High-Resolution Space Images Data in Farm Management to Estimate Wheat Production in Semi-Arid Areas/Damascus Countryside

د. ناصر طرّاف ابراهيم⁽¹⁾

Dr. Nasser Taraf Ibrahim⁽¹⁾

dr.nasseribrahem@gmail.com

<https://doi.org/10.66805/AE-19.1.076095>

Received 16 October 2024; Accepted 10 March 2025

(1) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة/ أكساد، دمشق، سورية.

(1) The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands/ACSAD, Damascus, Syria.

الملخص

جرى التحليل الطيفي لبيانات الصور الفضائية عالية الدقة متعددة الأطياف/متعددة المراحل (Sentinel-2) التي تغطي جميع مراحل نمو القمح أثناء موسم 2022/2021 في منطقة ريف دمشق. حيث التُقطت الصور الفضائية (عدد 29 صورة فضائية) بفواصل زمني كل 5-10 أيام خلال الفترة من 2021/11/11 إلى 2022/6/24. لقد أظهرت بيانات التحليل الطيفي ومعالجة الصور الفضائية ما يلي: تحديد البصمة الطيفية لمحصول القمح في منطقة ريف دمشق الغربي موسم 2022/2021. التحليل الطيفي لمخططات النمو النباتي للقمح خلال موسم النمو وفق الأدلة الطيفية الخضرية NDVI، GNDVI، RVI، DVI والمائية NDWI، mNDWI في توصيف حالة المحصول الخضري الفيزيولوجية والمائية التي تمر بها النباتات خلال مراحل النمو. إعداد مخططات وخرائط نظم زراعة القمح بتوقيت موصى، مبكر، متأخر وفق تقويم الزراعة المتبع في المنطقة. تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية بـ 1077 هكتار و4476 طن في المنطقة، على التوالي. بلغت دقة تقدير الانتاجية المقدر من بيانات الصور الفضائية 88.8% مقارنة مع القياسات الحقلية لعدد من الحقول الاختبارية، حيث بلغ متوسط إنتاج حقول القمح المسجل بعملية الاعتيان 6.64 مقابل 6.46 طن/هكتار للمقدر من الصور الفضائية بانحراف قياسي قدره 2.5 و2.39 على التوالي، وبمعامل تحديد بلغ 0.71.

الكلمات المفتاحية: التحليل الطيفي، صور فضائية عالية الدقة، مراحل نمو القمح، الإنتاج، مناطق شبه جافة.

Abstract

Spectral analysis of high-resolution multispectral/multitemporal space images data (Sentinel-2) covering all stages of wheat growth during the 2021/2022 season in the Damascus countryside area was carried out. The space images (29 images) were taken at a time interval of every 5-10 days during the period from 11/11/2021 to 24/6/2022. The spectral analysis and space image processing data showed the following: Determining the spectral signature of the wheat crop in the western Damascus countryside area for the 2021/2022 season. Spectral analysis of wheat plant growth patterns during the growing season according to the vegetative spectral indices NDVI, GNDVI, RVI, DVI and the water spectral indices NDWI, mNDWI in describing the vegetative, physiological and water status of the crop during growth stages. Preparation diagram and maps of wheat cultivation systems with recommended timing, early, and late according to the agricultural calendar followed in the region. Estimation of wheat area and production from space image data at 1077 hectares and 4476 tons in the region, respectively. The accuracy of the estimated productivity from space image data reached 88.8% compared to field measurements for a number of test fields, where the average wheat field production recorded by the sampling process was 6.64 compared to 6.46 tons/hectare for the estimate from images with a standard deviation of 2.5 and 2.39, respectively, and a coefficient of determination of 0.71.

Key words: Spectral analysis, High-resolution space images, Wheat growth stages, Yield, Sime arid zones.

المقدمة

تُراقب تقانة الاستشعار عن بعد النمو النباتي طيفياً خلال حياة المحصول وترصد حركية الشواهد الفسيولوجية المحصولية خلال مراحل النمو المؤدية في مجموعها إلى الإنتاجية النهائية من بيانات الصورة الفضائية، كما تُمكن تلك التقانة من رصد وتسجيل العوامل المؤثرة على النمو من مناخية وزراعية. وبالتالي تشخيص عوامل ومكونات الإنتاج بدقة عالية بصورة رقمية في تقدير المساحة والإنتاج المحصولي خاصة عند تنفيذ ذلك لمساحات كبيرة وعلى نطاق جغرافي ممتد.

قام (Sehga *et al.*, 2002) ببناء نموذج أولي لنظام مراقبة المحاصيل (CGMS) مستعينا بنموذج المحاكاة المحصولي (WTGROWS) لتوليد خرائط النمو المحصولي اليومي وتوقع الإنتاجية الحبية على مستوى المحافظة. استخدم (Kalubarme *et al.*, 2003) مخططات نمو القمح وفق نماذج الإنتاجية المبنية على قيم الدليل النباتي NDVI المستنبط في الحقل والمطبق على بيانات NOAA-AVHRR لتقدير إنتاجية القمح في الهند. تعكس حركية الأطوار الفينولوجية المحصولية حركية النظم الزراعية وبالتالي فإن دراستها بالبيانات الاستشعارية التسلسلية تعدُّ وسيلة واعدة لدراسة تطور المحاصيل كما جرى تطبيقه من بيانات AVHRR و VEGETATION (Huang and Lu, 2009).

قدّر إبراهيم (2014-أ) إنتاج القمح في سوريا من بيانات المرئيات الفضائية متعددة المراحل بمقياس صغير لأهم مناطق الإنتاج الرئيسية في البلاد موسم 2009. قُدرت مساحة وإنتاج القمح من خلال مراحل النمو المبكرة للمحصول بتقانة

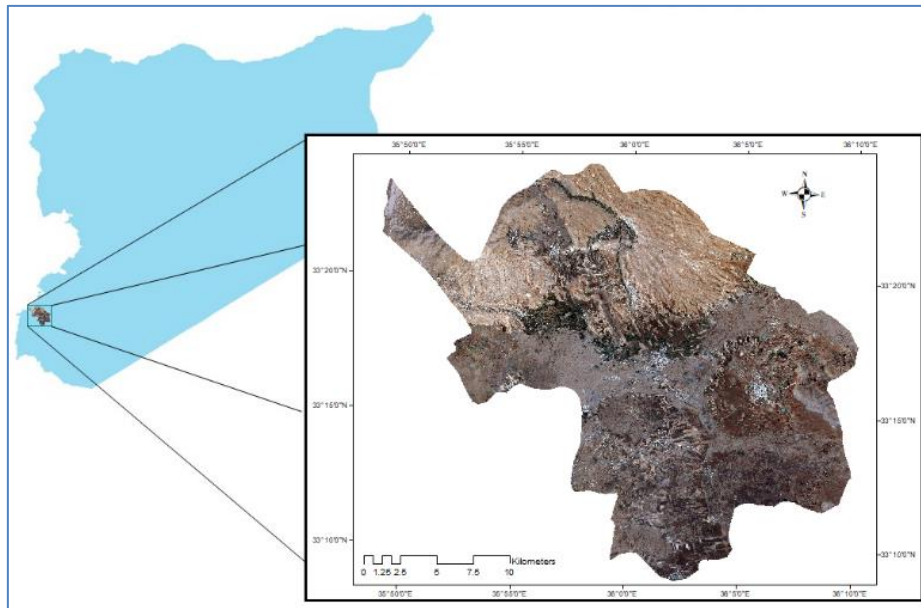
الاستشعار عن بعد في سورية تحت الظروف الاستثنائية الطبيعية (موسم جاف مطريًا 2014) والبشرية (محافظة متأثرة بالأزمة) ثم مقارنتهما مع المراحل التطورية للمساحة والإنتاج خلال فترة 24 عام (إبراهيم، 2018). جرت مراقبة أطوار النمو وتقدير مساحة وإنتاج القمح من مراحل النضج المبكر بحسب كل نطاق جغرافي ومناخي ونظم الزراعة في سورية وعلاقتها بموعد النضج والحصاد في كافة أنحاء البلاد بوسائل الاستشعار عن بعد الذي أظهرها ضمن علاقة الزمكاف (الزمان-مكان-الطيف) ثم توجيه وإدارة العملية الإنتاجية بمراحلها المختلفة بما يحقق الاستفادة القصوى تحت الظروف الجوية الحرجة وفق وضع وإدارة الخطط الاقتصادية بدقة وعلى مستوى الدولة، (إبراهيم، 2021). حديثًا، فقد طور (Ibrahem, 2023) استراتيجية طيفية-محصولية-مناخية لرفع قدرة إنتاجية القمح الفعلية من الكامنة عن طريق هندسة زيادة أقلمة نمو وإنتاجية القمح تحت ظروف المناطق الجافة وشبه الجافة.

يهدف هذا البحث إلى تطبيق منهجية طيفية في مراقبة نمو محصول القمح لعدد من الحقول المزروعة من بيانات الصور الفضائية خلال موسم النمو ضمن مفهوم إدارة مزرعية مبنية على معرفة الخدمة الزراعية لحقول شبكة من المزارعين من بيانات صور فضائية ترصد شواهد النمو الطيفية والفسولوجية المحصولية في حينها مع تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية لمنطقة ريف دمشق الغربي موسم 2022/2021.

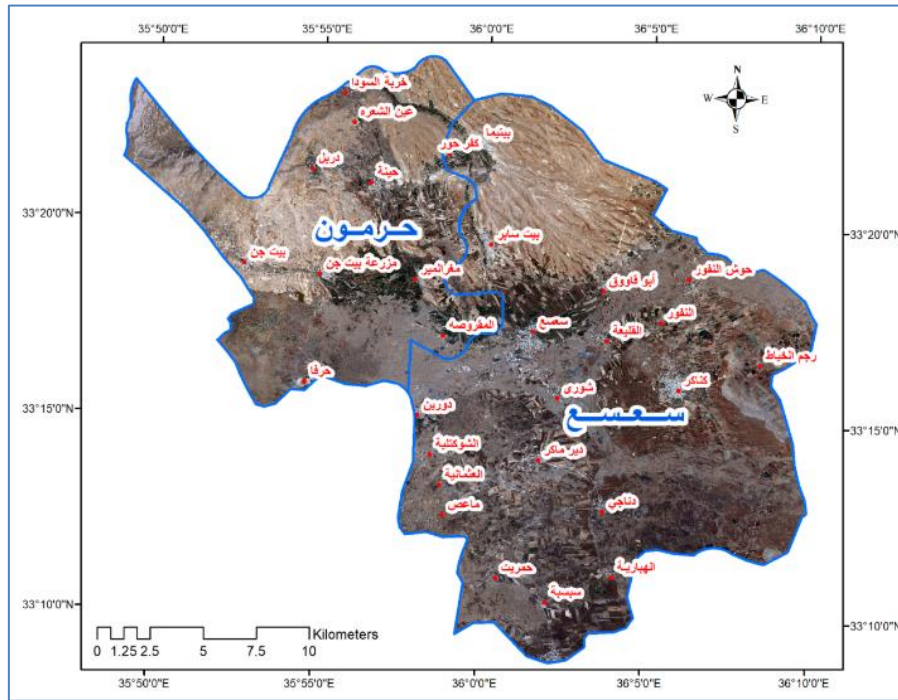
مواد وطرائق البحث

موقع منطقة الدراسة

تمثل منطقة الدراسة ريف دمشق الغربي التي تشكل جزءًا من امتداد السطح الشرقي لجبل الشيخ (الشكل 1) بمساحة 49089 هكتار. تقع سهولها الزراعية، إداريًا، ضمن أراضي ناحيتي الحرمون (15945 هكتار) وسعسع (33153 هكتار) على امتداد 29 قرية (الشكل 2).



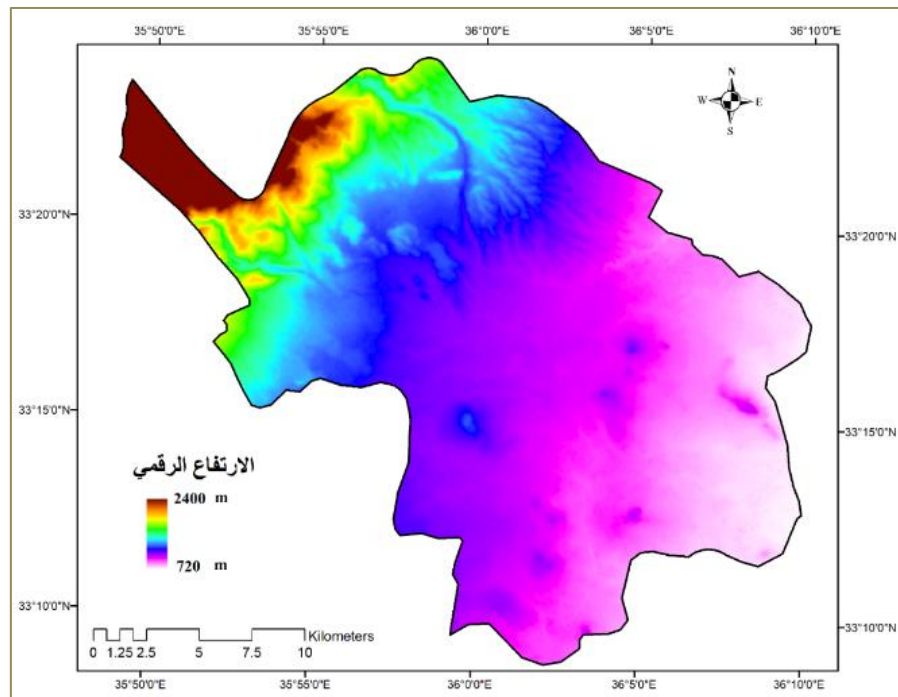
الشكل 1. موقع سهول ريف دمشق الغربي من سورية



الشكل 2. التابعة الإدارية لقرى ناحيتي سعسع وحرمون في ريف دمشق الغربي

طبوغرافية منطقة الدراسة

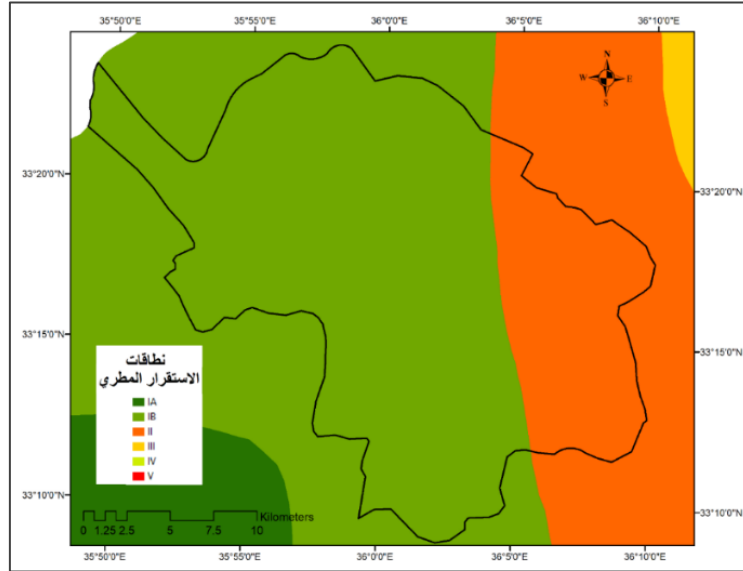
تمثل منطقة الدراسة في ريف دمشق الغربي لناحيتي حرمون وسعسع كمنطقة سهلية تمتد الى أطرافها الهضبية والجبليّة بين ارتفاع 720 شرقاً إلى 2400 متر غرباً حيث يقع نطاق زراعة القمح فيها عند متوسط ارتفاع 1000 متر عن سطح البحر. يبين الشكل (3) خريطة الارتفاع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة.



الشكل 3. خريطة الارتفاع الرقمي لمنطقة الدراسة في ريف دمشق الغربي

منطقة الاستقرار المطري

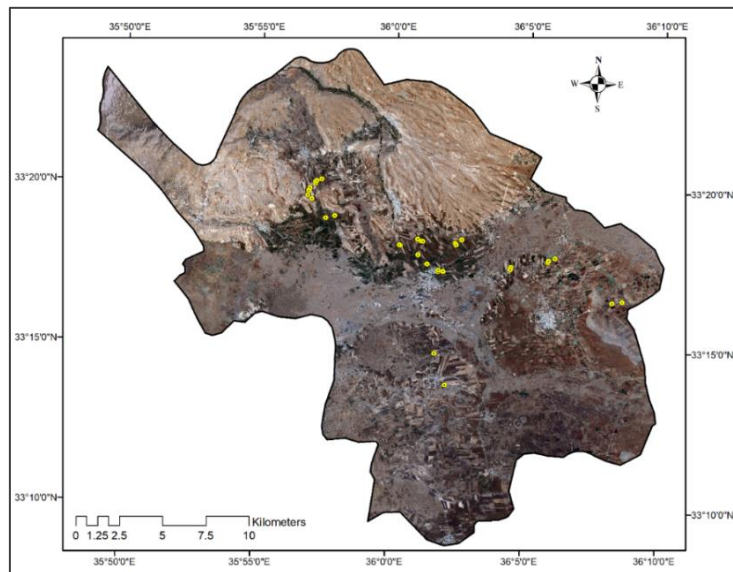
تقع منطقة الدراسة في ريف دمشق الغربي على امتداد نطاقي استقرار مطريين هما الاستقرار الأولي (IB) غربًا إلى الاستقرار الثانية (II) شرقًا. حيث يبين الشكل (4) موقع منطقة الدراسة على خارطة تصنيف أراضي الجمهورية العربية السورية المقسمة إلى خمس مناطق استقرار مطري.



الشكل 4. نطاقات الاستقرار المطري لمنطقة الدراسة في ريف دمشق الغربي

اختيار الحقول

جرى اختيار عدد من حقول القمح الاختبارية (36 حقل) خلال موسم النمو الزراعي 2022/2021 لتتبع مراحل النمو حتى الحصاد باستخدام جهاز Garmin etrex في تحديد الموقع الجغرافي (GPS). يبين الشكل (5) مواقع الحقول الـ 36 المختارة على خريطة منطقة الدراسة.



الشكل 5. مواقع الحقول الاختبارية في منطقة الدراسة في ريف دمشق الغربي

البيانات

1. البيانات الفضائية

يُسجل التابع الأوروبي Sentinel-2 (S-2) 13 مجال طيفي (Bands)، هي:

- أربع مجالات طيفية (بدقة مكانية 10 م) هي: الأزرق (490 nm)، والأخضر (560 nm)، والأحمر (665 nm)، وتحت الأحمر القريب (842 nm).
- ستة مجالات طيفية (بدقة مكانية 20 م) هي: 4 مجالات طيفية ضيقة في المجال الطيفي الأحمر (705 nm, 740 nm)، ومجالان طيفيان في المجال تحت الأحمر القصير (SWIR) (1610 nm, 2190 nm) لدراسة الغيوم، الجليد، والثلج. وتقييم إجهاد رطوبة النبات.
- ثلاثة مجالات طيفية (بدقة مكانية 60 م) لدراسة تصحيح الغلاف الجوي هي: (443 nm للغبار الجوي، 940 nm لتبخير المياه، و1380 nm لـ cirrus).

استُخدمت 29 صورة فضائية في عمليات التحليل الطيفي وتقدير مساحة وإنتاج القمح، بحيث تغطي تلك الصور كامل منطقة الدراسة وتشمل جميع مراحل النمو النباتي المحصولي من مرحلة تحضير التربة للزراعة حتى مرحلة الحصاد أثناء الموسم الزراعي 2022/2021 بالتواريخ المبينة في الجدول (1).

الجدول 1. تاريخ التقاط الصور الفضائية المستخدمة في تقدير مساحة وإنتاج القمح موسم 2022/2021 في منطقة ريف دمشق

رقم الصورة	1	2	3	4	5
تاريخ الصورة	11/11/2021	16/11/2021	6/12/2021	11/12/2021	26/12/2021
رقم الصورة	6	7	8	9	10
تاريخ الصورة	10/1/2022	30/1/2022	9/2/2022	24/2/2022	1/3/2022
رقم الصورة	11	12	13	14	15
تاريخ الصورة	16/3/2022	26/3/2022	31/3/2022	5/4/2022	10/4/2022
رقم الصورة	16	17	18	19	20
تاريخ الصورة	15/4/2022	20/4/2022	25/4/2022	30/4/2022	10/5/2022
رقم الصورة	21	22	23	24	25
تاريخ الصورة	15/5/2022	20/5/2022	25/5/2022	30/5/2022	4/6/2022
رقم الصورة	26	27	28	29	
تاريخ الصورة	9/6/2022	14/6/2022	19/6/2022	24/6/2022	

حساب الأدلة الطيفية النباتية

حسبت قيم الأدلة الطيفية التالية؛ الأدلة الطيفية الخضرية: Normalized Defference Vegetation Index (NDVI)، Green Normalized Defference Vegetation Index (GNDVI)، Ratio Vegetation Index (RVI)، Defference (DVI)، Vegetation Index، والأدلة الطيفية المائية: Normalized Defference Water Index (NDWI)، mid Normalized Defference، Water Index (mNDWI)؛ وفق المعادلات الرياضية لكل منها:

$$NDVI = [NIR - Red] / [NIR + Red]$$

$$GNDVI = [Green - Red] / [Green + Red]$$

$$DVI = NIR - Red$$

$$RVI = Red / NIR/10$$

$$NDWI = [NIR - mNIR] / [NIR + mNIR]$$

$$mNDWI = [Green - mNIR] / [Green + mNIR] + 0.2$$

حيث: Red: قيم الانعكاس في المجال الأحمر، NIR: قيم الانعكاس في المجال تحت الأحمر القريب، mNIR: قيم الانعكاس في المجال المتوسط القريب، Green: قيم الانعكاس في المجال الأخضر.

2. البيانات المحصولية الحقلية

جُمعت عينات تقدير مكونات المحصول عند الحصاد لحساب الإنتاجية المحصولية في وحدة مساحة متر مربع من الحقول المختارة (20 حقل) خلال جولة حقلية، وكذلك تسجيل الإنتاج من حقول المزارعين عند الحصاد مباشرة.

3. البيانات المناخية

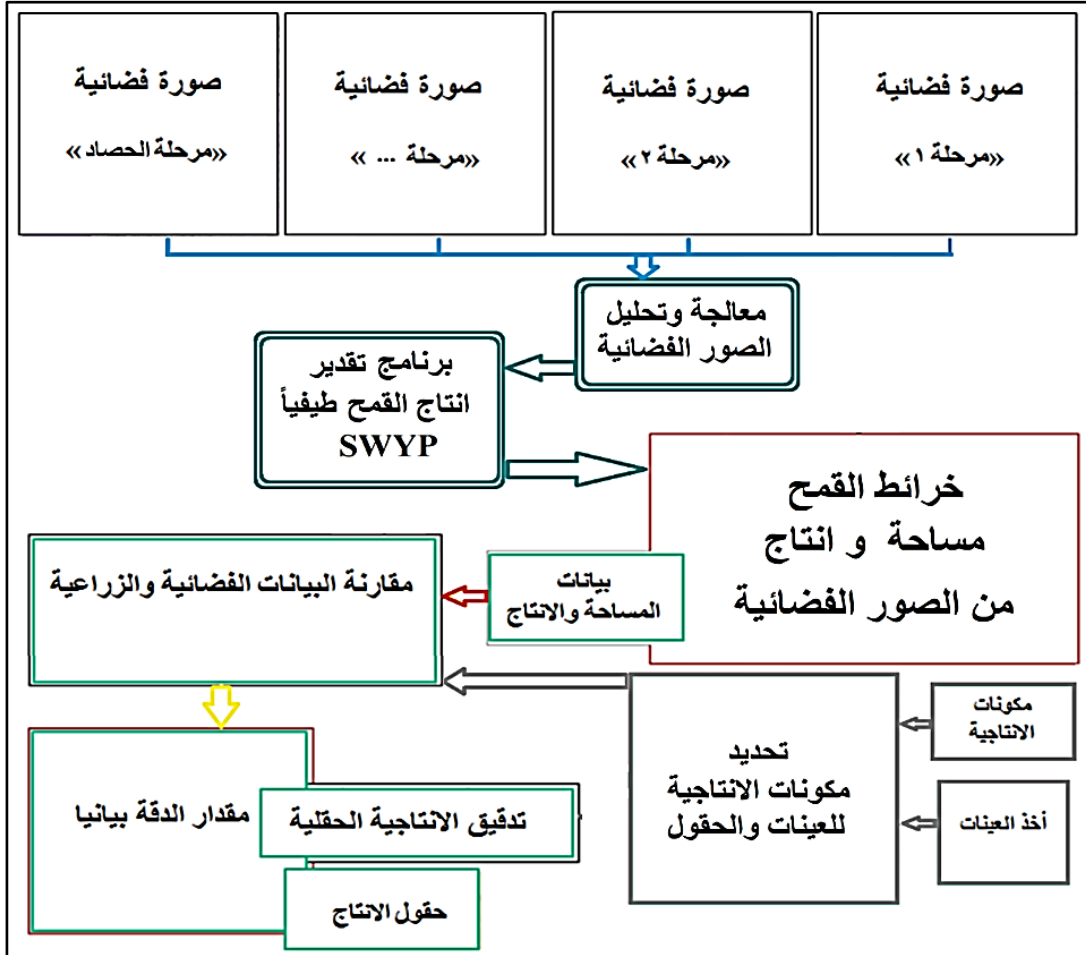
يبين الجدول (2) توزع الهطول الموسمي خلال ست سنوات لبيانات محطتين مطريتين في منطقة الدراسة لريف دمشق الغربي، الأولى تقع غرباً (حرمون) والأخرى تقع شرقاً (قطنا)، حيث تراوح معدل الهطول بين موسم هطول جيد (733 مم) عام 2020 إلى موسم هطول منخفض (390 مم) عام 2018 كمتوسط لمنطقة الدراسة. إذ بلغت كمية الهطول المطري لموسم الدراسة 2022 بمعدل قدره 454 مم بقيمة تقارب المعدل السنوي المسجل (458 مم). حيث تمتد منطقة الدراسة تحت ظروف نطاق منطقتي الاستقرار الأولى والثانية.

الجدول 2. الهطول الموسمي خلال ست سنوات لبيانات محطتين مطريتين في منطقة الدراسة لريف دمشق الغربي

منطقة الاستقرار	المعدل السنوي	موسم الهطول (مم)						اسم المركز
		2021/2022	2020/2021	2019/2020	2018/2019	2017/2018	2016/2017	
أولى	663	663	891	1026	860	555	284	حرمون
ثانية	253	244	271	440	450	225	173	قطنا
	458	454	581	733	655	390	228	منطقة الدراسة (متوسط)

منهجية البحث

يبين المخطط المنهجي التالي (الشكل 6) مراحل تنفيذ البحث لمراقبة إنتاجية حقول القمح من بيانات الصور الفضائية مع محاولة ربط ظروف وعوامل النمو بالإنتاجية.



الشكل 6. المخطط النهجي لتقدير إنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية

يتم سير المخطط المنهجي وفق الخطوات التالية:

- تحميل الصور الفضائية وفق مراحل النمو المحصولي من توقيت تجهيز الأرض للزراعة حتى الحصاد.
- معالجة الصور الفضائية.
- استنباط الأدلة الطيفية من الصور الفضائية لتتبع صفات النمو النباتي المحصولي.
- تحليل النمو النباتي طيفياً.
- تحديد نظم زراعة القمح في المنطقة.
- تطبيق برنامج تقدير إنتاجية القمح طيفياً (SWYP) لتحديد المساحة وتقدير الإنتاجية من بيانات الصور الفضائية (إبراهيم، 2014-ب) بمنهجيات وخوارزميات مطور (Ibrahem, 2025).

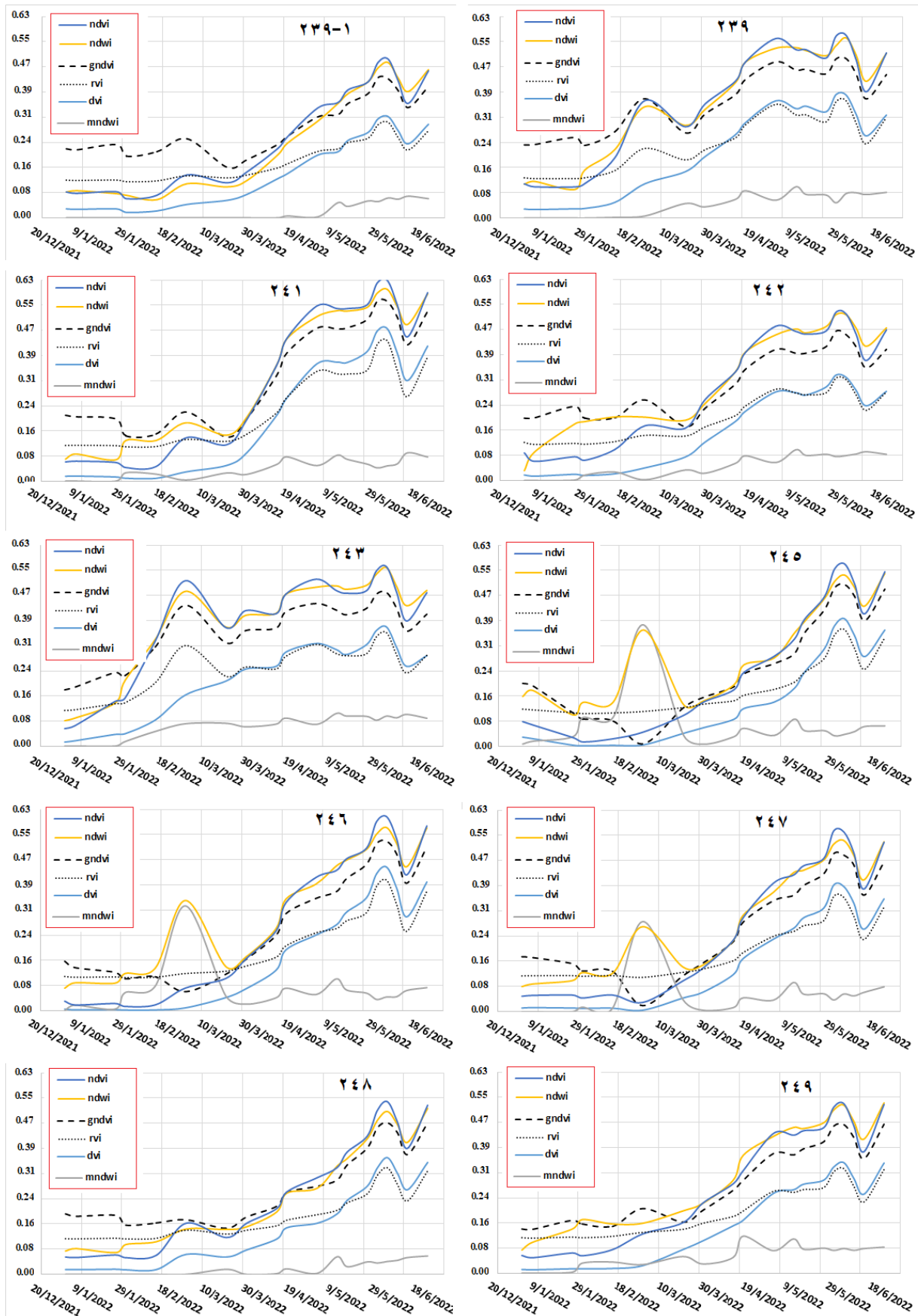
- تقدير إنتاج القمح.
 - تحديد مساحة القمح المزروع.
 - جمع عينات حقلية لتحديد مكونات المحصول من وحدة مساحة قدرها متر مربع (ضمن مشروع عمل نفذته أكساد).
 - تسجيل الإنتاجية الحقلية لعدد من الحقول أثناء عملية الحصاد (ضمن مشروع عمل نفذته أكساد).
 - تقدير الدقة باستخدام كل من عينات المكونات الحقلية والإنتاجية الحقلية المسجلة.
- نُفذت المنهجية باستخدام البرامج التالية:
- برنامج SNAP لمعالجة وتحليل الصور الفضائية.
 - برنامج ERDAS EMAGINE 2015 لمعالجة وتحليل الصور الفضائية.
 - برنامج SWYP بمنهجيات وخوارزميات مطورة لتقدير إنتاج ومساحة القمح من بيانات الصور الفضائية المصمم تحت البيئات الزراعية السورية.
 - برنامج ArcGIS 10.8 لتنضيد خرائط الصور الفضائية.
 - برنامج Excel 2016 لتحليل البيانات القمية الإحصائية والجدولية.

النتائج والمناقشة

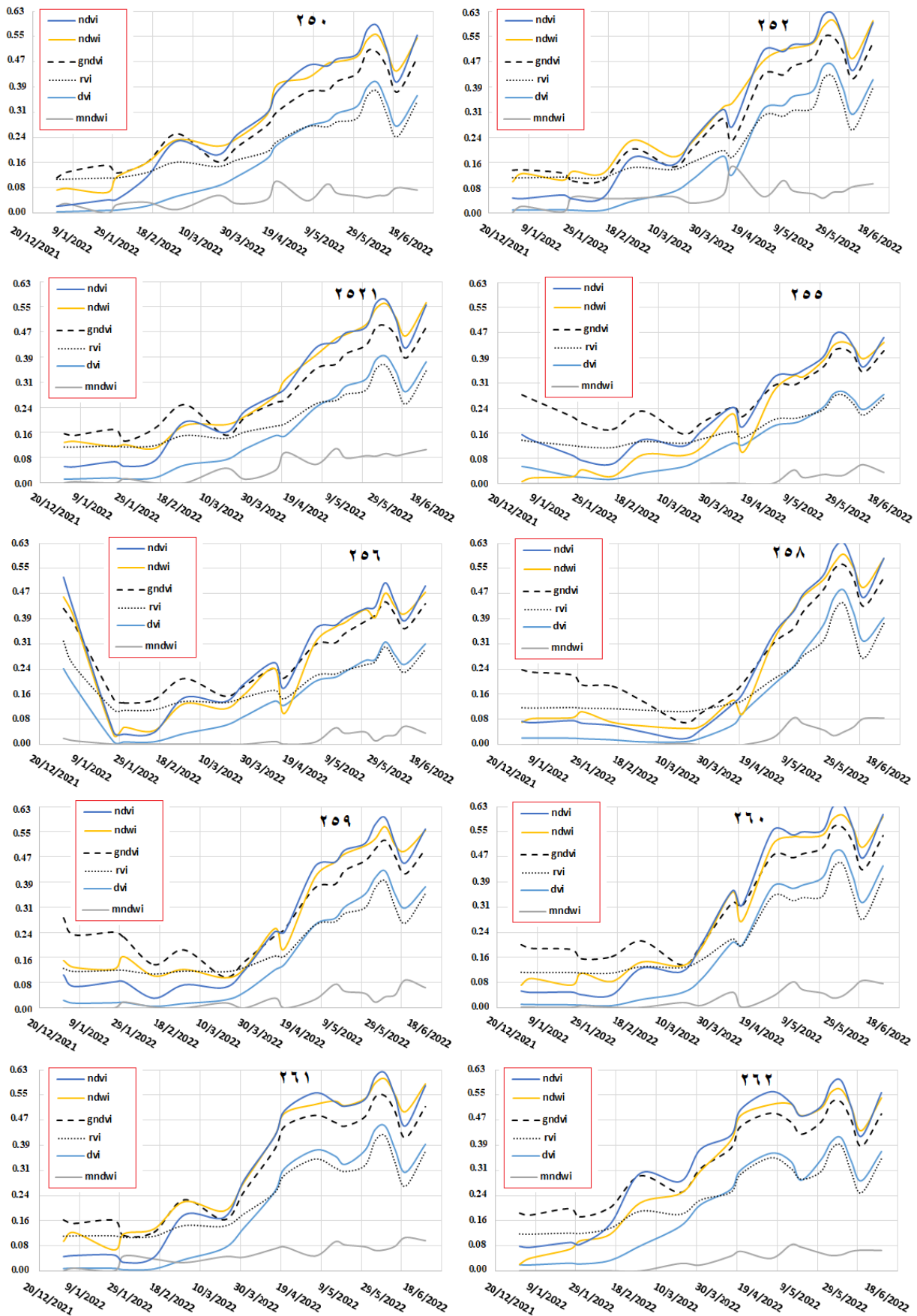
مخططات الأدلة الطيفية لحقول القمح

يبين الشكل (7) مخططات النمو النباتي طيفياً لحقول القمح المختارة في منطقة الدراسة موسم 2021/2022، وفق كل من الأدلة الطيفية الخضرية: (NDVI)، (GNDVI)، (RVI)، (DVI)، والأدلة الطيفية المائية: (NDWI)، (mNDWI). حيث توصف الأدلة الطيفية الخضرية تلك حالة المحصول الخضرية الفيزيولوجية بينما توصف الأدلة المائية الحالة المائية التي يمر بها النبات خلال مراحل نموه، وذلك بقيم مقاسة قابلة للتحليل تجعل من المقارنة بين الحقول عملية سهلة ودقيقة وجميعها تؤول بمعادلات رياضية إلى القياس الكمي لكل صفة نباتية مقرونة بها. إن العلاقة بين سلوك هذه الأدلة الطيفي في وحدة المساحة المحصولية (حقل) خلال مراحل النمو تحدد حالة المحصول اللحظية وبتكاملها خلال موسم النمو كاملاً تحدد الإنتاجية الحبية عند الحصاد وفق برامج طيفية تعمل على تحليل حالة النمو حتى الإنتاجية.

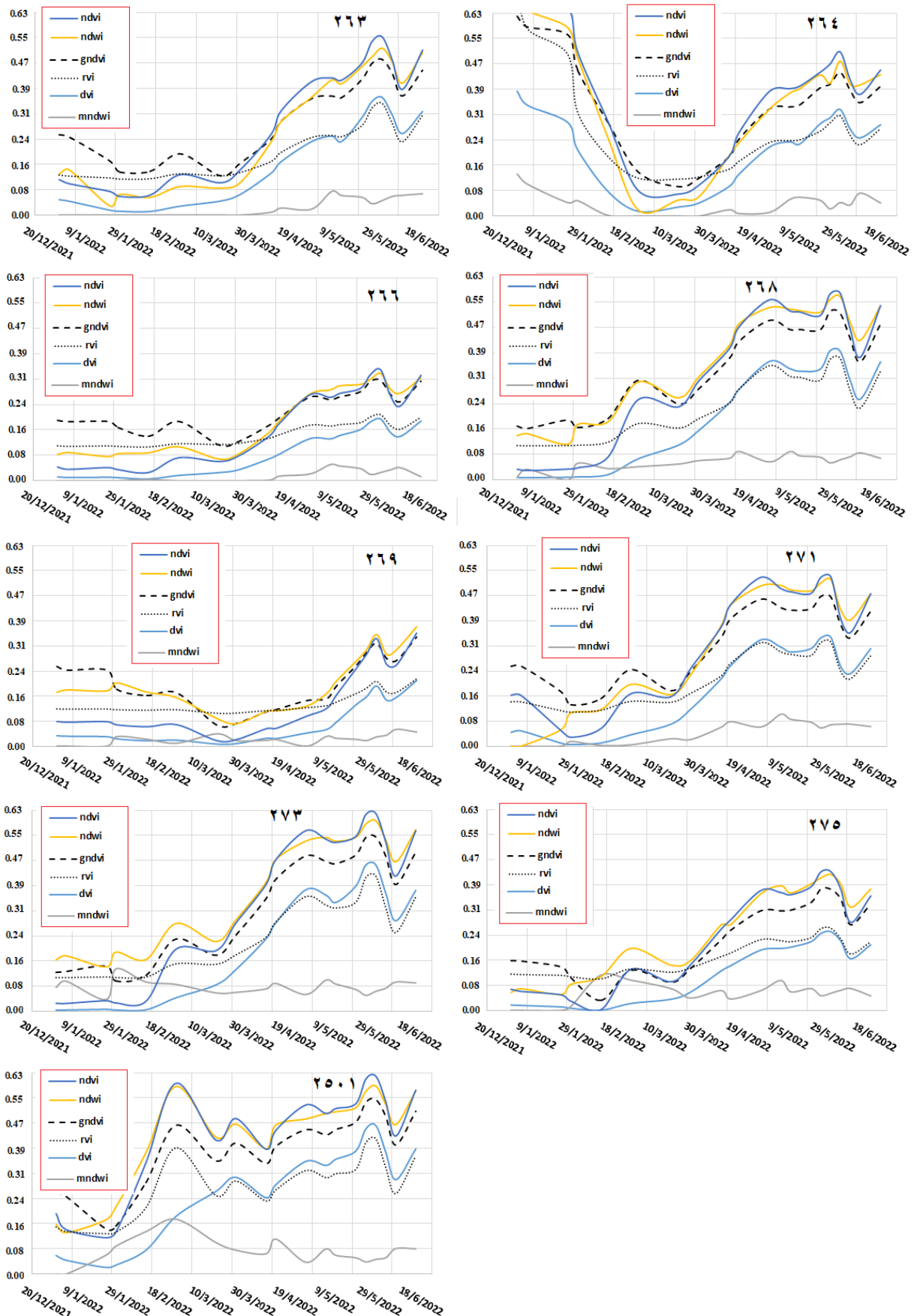
تُظهر هذه الأدلة الطيفية حالة وكمية التباينات النباتية بين حقول القمح المزروعة خلال جميع مراحل النمو، فكلما كانت بقيم عالية كانت الحقول بحالة صحية ونمو جيد كالحقل 239، 246، 261، بينما الحقول 266 و269 ضعيفة ومجهدة مائياً.



الشكل 7. البصمة الطيفية لعدد من حقول القمح في ريف دمشق الغربي خلال موسم النمو 2022/2021



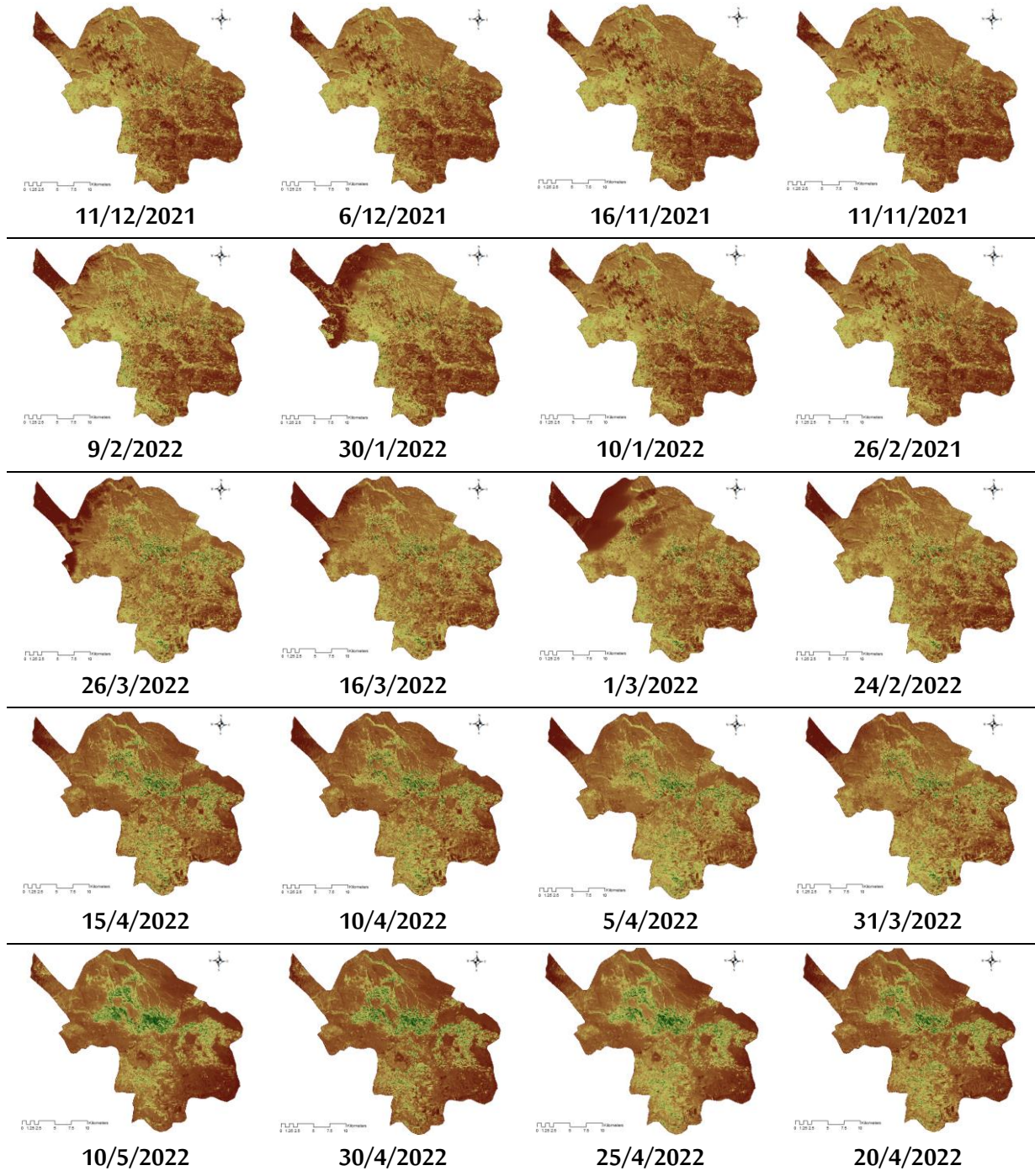
تابع- الشكل 7. البصمة الطيفية لعدد من حقول القمح في ريف دمشق الغربي خلال موسم النمو 2022/2021



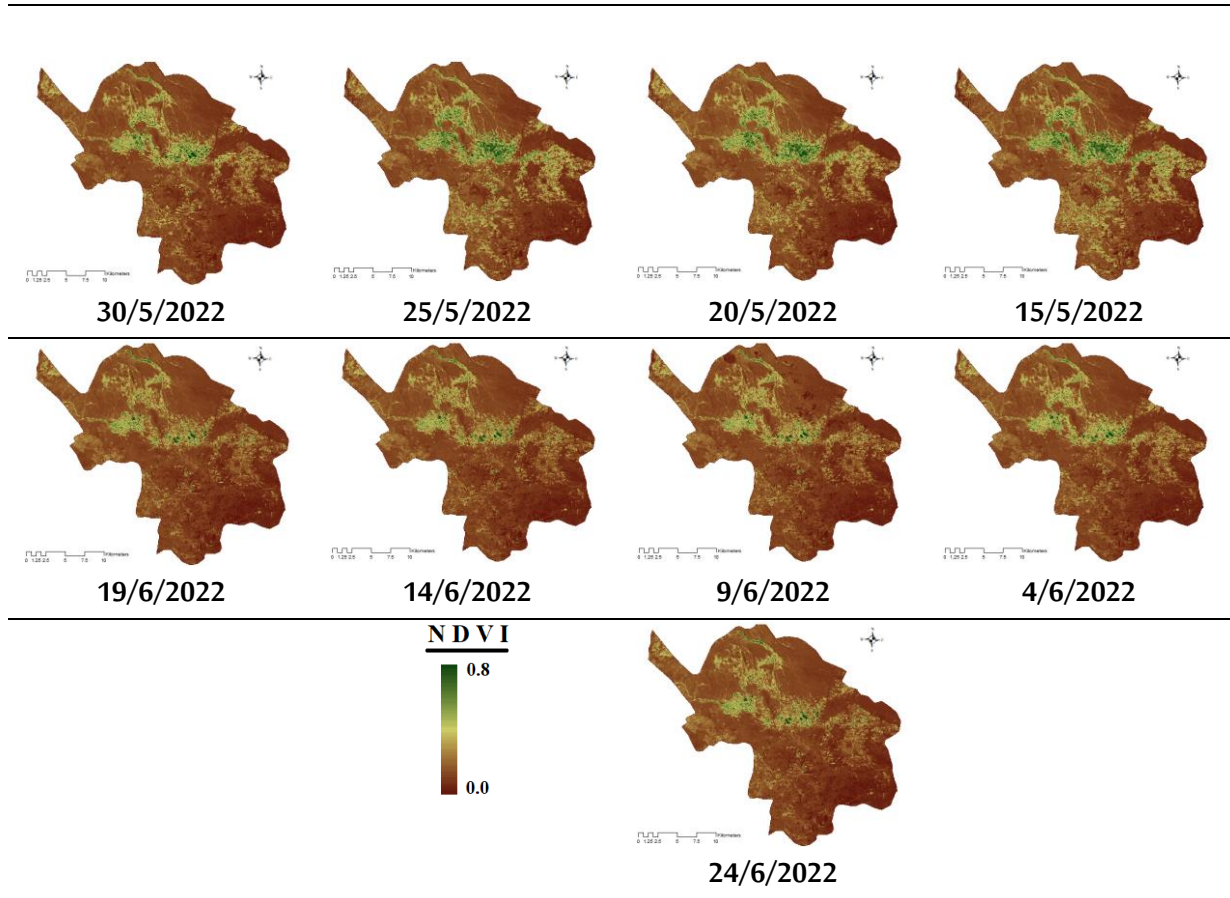
تابع- الشكل 7. البصمة الطيفية لعدد من حقول القمح في ريف دمشق الغربي خلال موسم النمو 2022/2021

خرائط الأدلة الطيفية لحقول القمح

جرى إنتاج خرائط الأدلة الطيفي النباتية التالية: (NDVI)، (GNDVI)، (RVI)، (DVI)، (NDWI)، (mNDWI) خلال جميع مراحل النمو النباتي في منطقة الدراسة. حيث يبين الشكل (8) خرائط النمو النباتي طيفيًا وفق الدليل الطيفي الخضري (NDVI) من بيانات الصور الفضائية في تتبع النمو النباتي كل 5-10 أيام لجميع مراحل النمو، كمثال عن تلك الأدلة الطيفية النباتية المحسوبة وذلك اختصارًا لحجم عرض البيانات لمنطقة الدراسة موسم 2022/2021.



الشكل 8. خرائط الدليل الطيفي الخضري (NDVI) من بيانات الصور الفضائية أثناء مراحل نمو القمح في منطقة ريف دمشق الغربي موسم 2022/2021

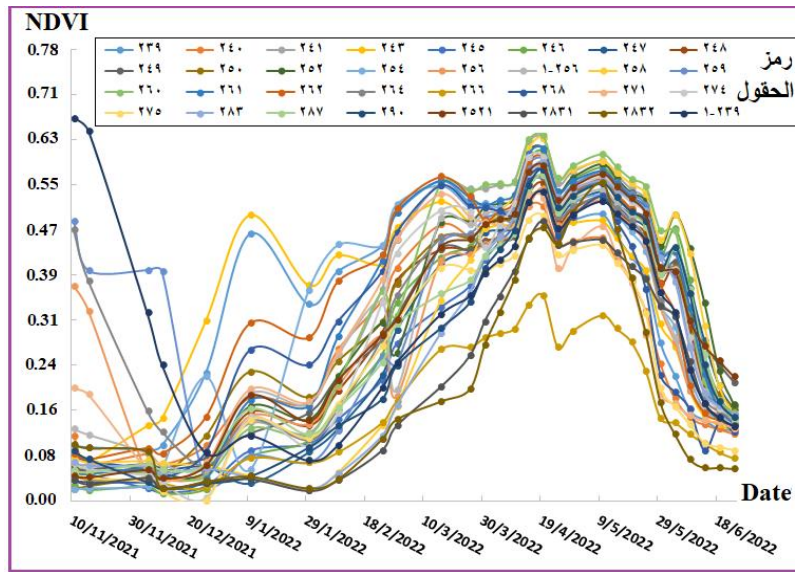


تابع- الشكل 8. خرائط الدليل الطيفي الخضري (NDVI) من بيانات الصور الفضائية أثناء مراحل نمو القمح في منطقة ريف دمشق الغربي موسم 2022/2021

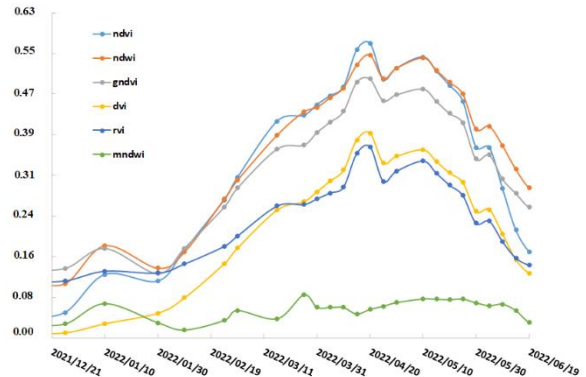
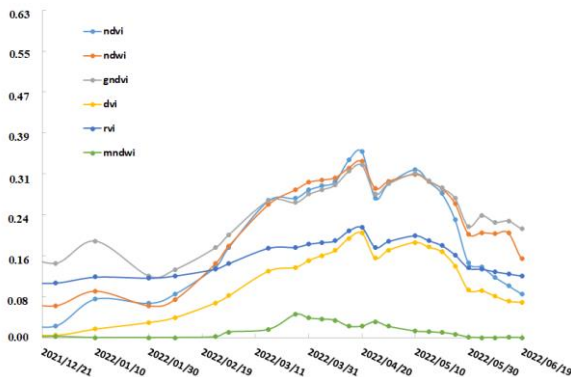
التحليل الطيفي للنمو النباتي

يبين المخطط البياني (الشكل 9) البصمة الطيفية لعدد من الحقول التي تمثل زراعة القمح في منطقة الدراسة خلال موسم النمو 2022/2021. حيث يُظهر ذلك المخطط تباين المنحنيات الطيفية بما يمثل تباين نمو نباتات القمح وفق متطلبات عوامل النمو الزراعية المطبقة لكل حقل عن الآخر في تلك المنطقة، بدءًا من الصنف، توقيت الزراعة، عمليات الخدمة من ري وتسميد وتعشيب والموفورات المناخية وحتى موعد الحصاد.

يُظهر تحليل النمو النباتي لتلك المخططات البيانية السابقة (الشكلين 7 و 9) وكذلك لبصمة القمح الطيفية في منطقة الدراسة مقابل المخطط الطيفي النموذجي المستنبط لمحصول القمح في سورية (إبراهيم، 2014-ب) إلى تواجد ثلاث نظم زراعة وفق تقويم الزراعة (الشكل 10) هي: نظام زراعة بتوقيت موصى وفق تقويم زراعة القمح المتبع في المنطقة ومروي بشكل جيد (الشكل 10-أ)، بتوقيت موصى ومروي بشكل تكميلى (الشكل 10 -ب)، بتوقيت مبكر (الشكل 10 -ج)، بتوقيت متأخر- بعد محصول سابق (الشوندر عادة) حيث يُجنى ثم يزرع القمح مباشرة (الشكل 10 -د).

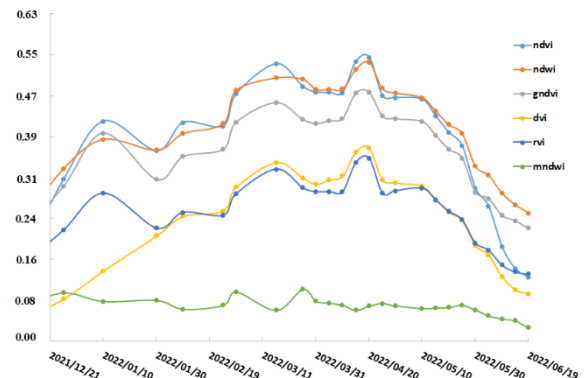
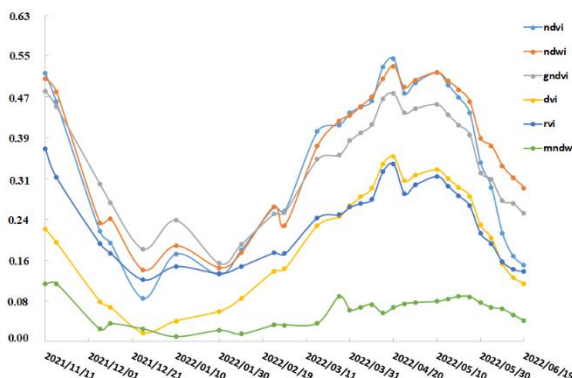


الشكل 9. البصمة الطيفية لعدد من حقول القمح في ريف دمشق الغربي خلال موسم النمو 2022/2021



ب- بتوقيت موصى ومروري بشكل تكميلي

أ- بتوقيت موصى ومروري بشكل جيد



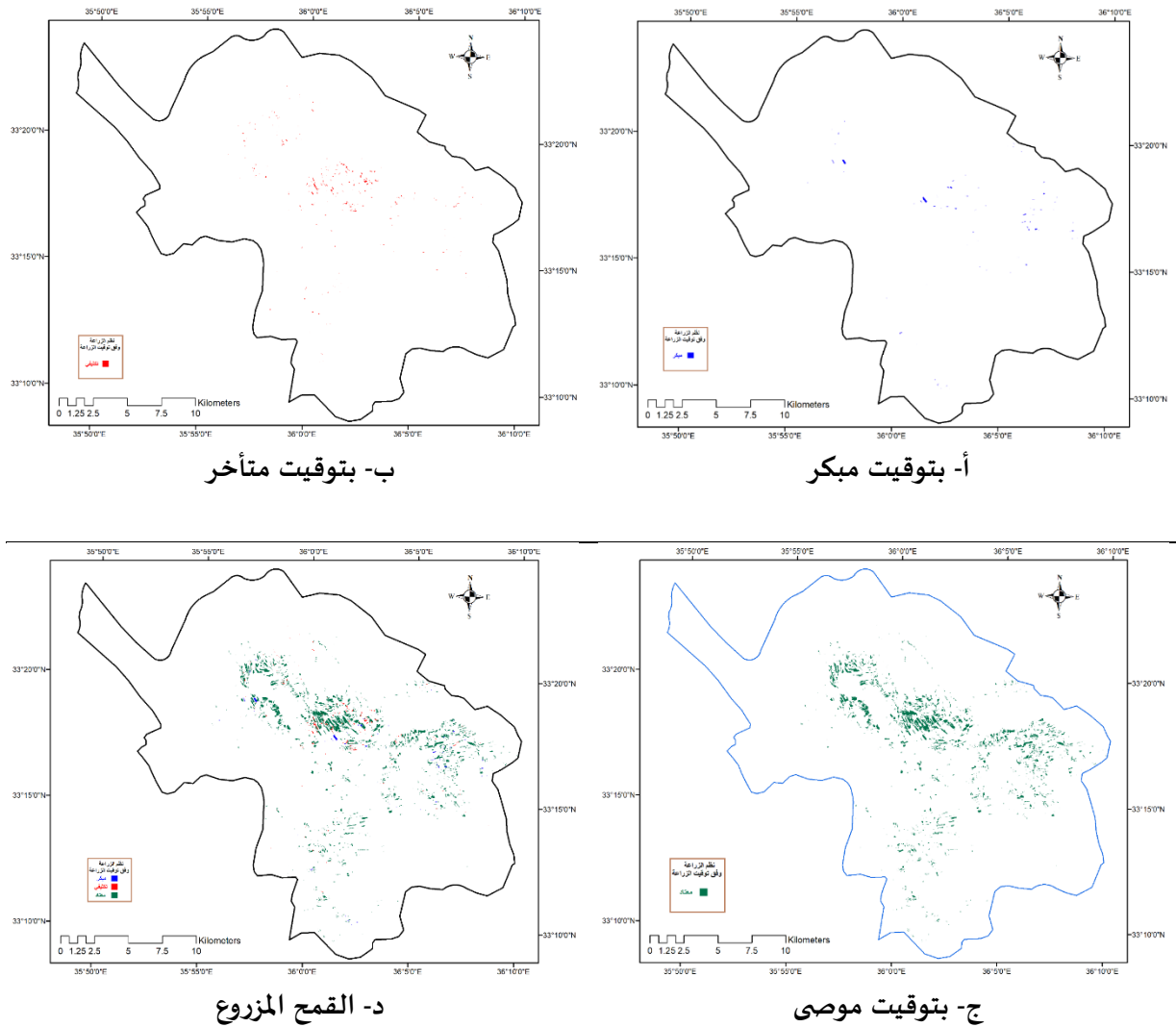
د- بتوقيت متأخر

ج- بتوقيت مبكر

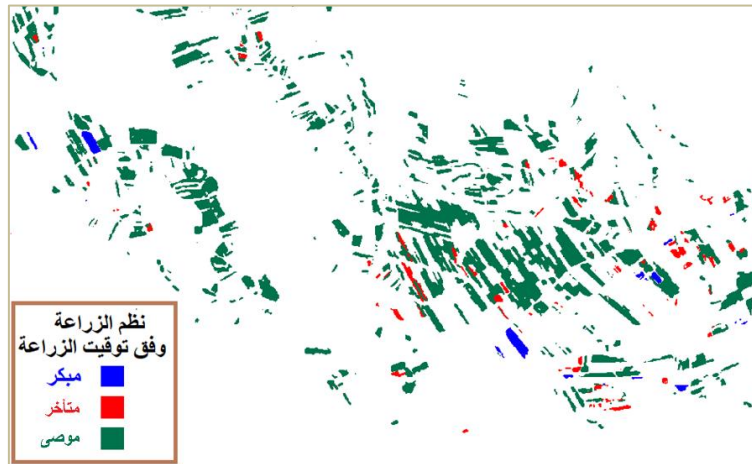
الشكل 10. الأدلة الطيفية لنظم زراعة القمح في ريف دمشق الغربي موسم 2022/2021

خرائط الصور الفضائية لنظم زراعة القمح

إن تطبيق منهجية تحليل النمو طيفياً على الصور الفضائية الملتقطة خلال جميع مراحل النمو لجميع الأدلة الطيفية يؤدي إلى التحديد النوعي والمكاني لكل سمة محددة في عملية التحليل الطيفية، فنجد أن بيانات الصور الفضائية خلال مراحل النمو (الشكل 11) تحدد: خرائط القمح المزروع بتوقيت مبكر (الشكل 11-أ)، متأخر (الشكل 11-ب) موسى (الشكل 11-ج)، على أن يبين الشكل (11-د) خريطة تجمع نظم زراعة القمح معاً موسم 2022/2021 في ريف دمشق الغربي، بينما يبين الشكل (12) نافذة توضيحية في سهل قرية بيت سابر من تلك المنطقة.



الشكل 11. خرائط القمح المزروع من بيانات الصور الفضائية موسم 2022 في ريف دمشق الغربي



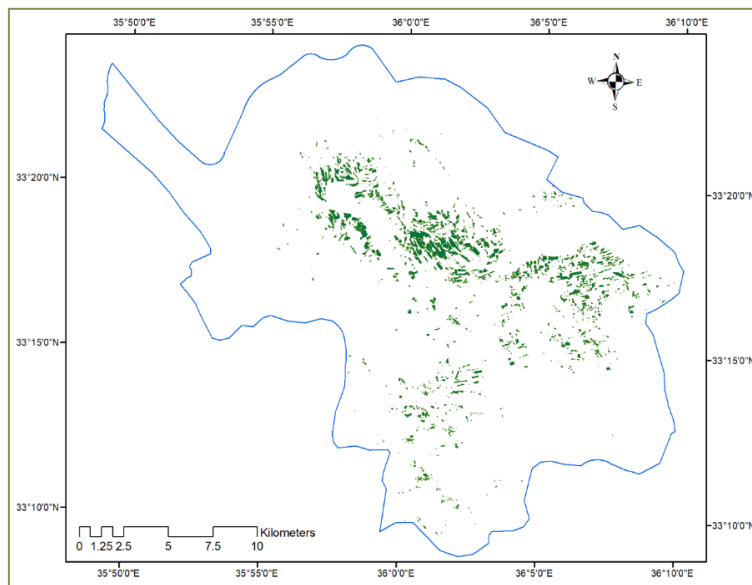
الشكل 12. نافذة فضائية لنظم زراعة القمح (وفق توقيت الزراعة) موسم 2022 في بعض حقول ريف دمشق الغربي

مساحة وخريطة انتشار زراعة القمح من بيانات الصور الفضائية

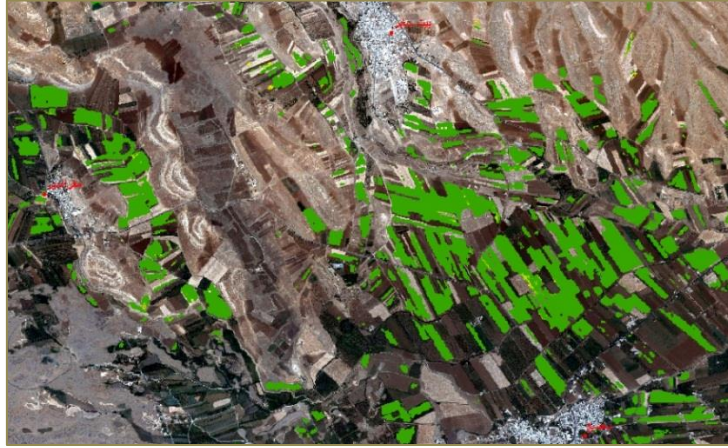
يؤدي تطبيق تحليل المخططات النمو النباتي على بيانات الصور الفضائية المجهزة إلى تحديد مساحة القمح المزروع ورسم خريطة التوزيع والانتشار الجغرافي. يبين الجدول (3) أن مساحة القمح المزروع تُقدَّر بـ 1077 هكتار، حيث يحدد الشكل (13) خريطة توزيع وانتشار القمح المزروع من بيانات الصور الفضائية في ريف دمشق الغربي موسم 2022، على أن الشكل (14) يبين نافذة توضيحية لانتشار حقول القمح في سهل قرية بيت سابر من تلك المنطقة.

الجدول 3. مساحة القمح المقدر فضائياً موسم 2022 في ريف دمشق الغربي

المساحة (هـ)	البيان
1077	المقدر من الصور الفضائية



الشكل 13. خريطة توزيع ومساحة القمح المقدر من الصور الفضائية موسم 2022 في ريف دمشق الغربي



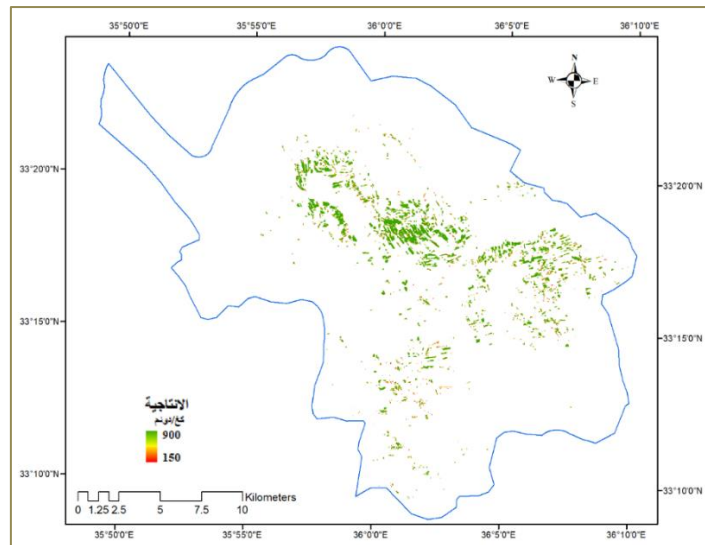
الشكل 14. نافذة من الصور الفضائية لانتشار حقول القمح موسم 2022 في سهل قرية بيت سابر

إنتاج وخريطة توزع إنتاجية القمح المقدرة من بيانات الصور الفضائية

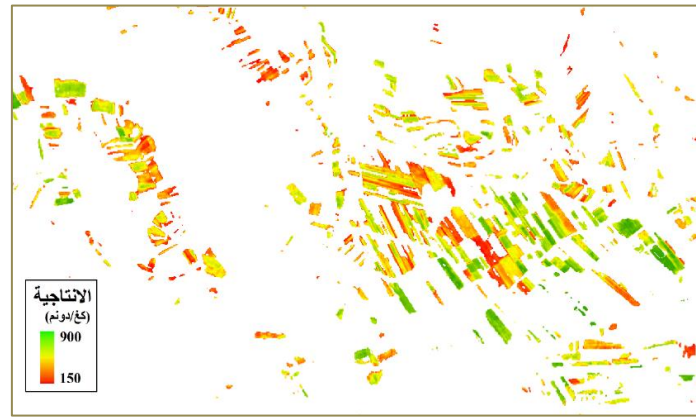
بالتطبيق البرمجي لمنهجية التقدير الطيفي للإنتاجية المحصولية على الصور الفضائية المجهزة يتولد لدينا كمية القمح المنتج وخريطة توزع وانتشار الإنتاجية في وحدة المساحة. يبين الجدول (4) كمية القمح المنتج من بيانات الصور الفضائية في ريف دمشق الغربي موسم 2022، حيث يحدد الشكل (15) خريطة توزع إنتاجية القمح المقدرة من بيانات الصور الفضائية في وحدة المساحة، على أن الشكل (16) يبين نافذة توضيحية لتوزع إنتاجية القمح في سهل قرية بيت سابر من تلك المنطقة، أيضاً. حيث قدر إنتاج القمح المزروع بـ 4476 طن وإنتاجية متوسطها 4.4 طن/هكتار لتتراوح حسب خدمة الحقول من حقول متدنية الإنتاجية (2 طن/هكتار) إلى أقصاها في أجزاء من الحقول المتفوقة إنتاجياً (9 طن/هكتار) في ريف دمشق الغربي موسم 2022 باستخدام بيانات الصور الفضائية.

الجدول 4. إنتاج القمح المقدر فضائياً موسم 2022 في ريف دمشق الغربي

الإنتاج (طن)	البيان
4476	المقدر من الصور الفضائية



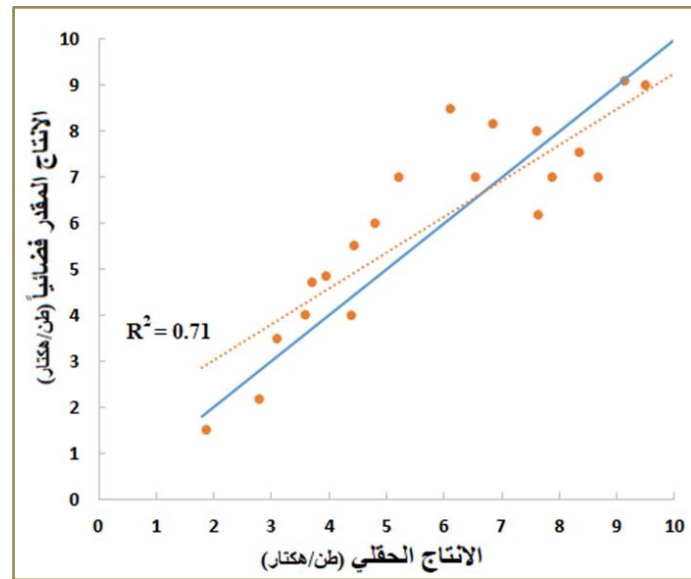
الشكل 15. خريطة توزع إنتاجية القمح المقدرة من الصور الفضائية موسم 2022 في ريف دمشق الغربي



الشكل 16. نافذة لتقدير إنتاج حقول القمح من الصور الفضائية موسم 2022 في سهل قرية بيت سابر

تقدر دقة إنتاج القمح المقدر من بيانات الصور الفضائية

جرت مقارنة نتائج بيانات الصور الفضائية في نقاط محددة ضمن الحقول التي جرى تجميع بيانات الإنتاجية لها بعملية الاعتيان الحقلية وبالغلة 20 حقل اختباري في ريف دمشق الغربي موسم 2022. حيث يوضح الشكل (17) والجدول (5) نتائج التحليل الإحصائي لاختبار دقة تقدير الإنتاجية من بيانات الصور الفضائية مقابل بيانات الإنتاجية لحقول القمح.



الشكل 17. إنتاج القمح المقدر من الصور الفضائية مقابل الحقلية المسجل

الجدول 5. التحليل الإحصائي لاختبار دقة تقدير الإنتاج من الصور الفضائية مقابل الإنتاج الحقلية

دقة المقدر إلى الفعلي %	إنتاج القمح (طن/هكتار)		الرقم
	فضائياً	حقلياً	
88.8	6.46	6.64	المتوسط
	2.39	2.50	الانحراف القياسي

معادلة تقدير الدقة:

$$acc = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{Si - Li}{Li} \right) * 100$$

حيث: دقة (acc) تقدير المادة العضوية المقدره فضائيا (Si) والمقدرة مخبريا (Li) للحقل (i) ولجميع الحقول (n).

يتضح من الشكل (17) والجدول (5) أن متوسط إنتاج حقول القمح المسجل بعملية الاعتيان قد بلغ 6.64 مقابل 6.46 طن/هكتار المقدر من الصور الفضائية لتلك الحقول نفسها بانحراف قياسي قدره 2.5 و2.39 على التوالي، وبمعامل تحديد بلغ 0.71 وبدقة تقدير نسبي للإنتاج المقدر إلى الفعلي قدرها 88.8%. مع التنويه إلى أن عملية الاعتيان كانت موجهة بشكل أكبر نحو الحقول ذات الإنتاجية المرتفعة عن تلك الحقول منخفضة الإنتاج.

المراجع

- إبراهيم، ناصر. (2014أ). التنبؤ بإنتاج القمح في سورية من بيانات المرئيات الفضائية متعددة المراحل بمقياس صغير. المجلة العربية للبيئات الجافة، 7(1-2).
- إبراهيم، ناصر. (2014ب). تصميم ونمذجة خوارزميات التنبؤ الطيفي بإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية متعددة الأطياف متعددة المراحل. الاستشعار عن بعد، (26).
- إبراهيم، ناصر. (2018). تقدير مساحة وإنتاج القمح في المواسم والمناطق تحت الأزمات في سوريا باستخدام تكنولوجيا الاستشعار عن بعد. في المؤتمر العلمي الدولي لتطبيقات الجيومورفومتري، نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في علوم الأرض والبيئة (24-27 أبريل 2018). بيروت، لبنان.
- إبراهيم، ناصر. (2021). دور الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار القمح الفينولوجية لإدارة العملية الإنتاجية في سورية. المجلة العربية للبحث العلمي، 2(1).
- Huang, Y., & Lu, L. (2009). Monitoring winter wheat phenology using time series of remote sensing data. In Second International Conference on Information and Computing Science (pp. 135-138). Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences.
- Ibrahem, N. T. (2023). A climate-crop-spectral approach for wheat adaptation with climate changes in the arid and semi-arid regions. In R. O. Wanyera & M. Wamalwa (Eds.), *Wheat*. IntechOpen.
- Ibrahem, N. T. (2025). Crop yield prediction and spectral growth. In R. Abdalla (Ed.), *Exploring remote sensing: Methods and applications*. IntechOpen.
- Kalubarme, M. H., Potdar, M. B., Manjunath, K. R., Mahey, R. K., & Siddhu, S. S. (2003). Growth profile based crop yield models: A case study of large area wheat yield modeling and its extendibility using atmospheric corrected NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(10), 2037-2054.
- Sehgal, V. K., Rajak, D. R., Chaudhary, K. N., & Dadhwal, V. K. (2002). Improved regional yield prediction by crop growth monitoring system using remote sensing derived crop phenology. *IAPRS & SIS*, 34(7), 329-334.