

ورقة بحثية

دور الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح لدعم إدارة العملية الإنتاجية في سوريا

ناصر طرّاف إبراهيم^{1,2*}

¹ مدير بحوث، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، دمشق، سوريا. ² خبير الاستشعار عن بعد، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد)، جامعة الدول العربية.

*Dr.NasserIbrahim@gmail.com

المخلص

تُمثل المحاصيل الاستراتيجية، وخاصة القمح، جوهر الأمن الغذائي. ويُعتبر القطاع الزراعي ذا تأثير مباشر في حياة الإنسان وغذائه، ولكن بما أنه الأكثر تعاملًا مع الظروف الطبيعية؛ فإن إدارته يجب أن تتم برؤية تكاملية لعناصر الإنتاج الطبيعية والبشرية خلال عملية النشاط المحصولي من مستوى الحقل حتى مستوى الدولة. تهدف هذه الدراسة إلى مراقبة علاقة الأطوار الفينولوجية للقمح بموعد النضج والحصاد في كافة أنحاء سوريا، بوسائل الاستشعار عن بعد ضمن علاقة «الزمكان» (الزمان - مكان - طيف)، وذلك من أجل دقة تقدير الإنتاجية في كل منطقة، وإدارة العملية الإنتاجية بمراحلها المختلفة في موسمي عامي 2014 و2016 على مستوى البلاد. توصلت الدراسة إلى نتائج عدّة، منها: وصل عدد الأطوار الفينولوجية المتباينة بتوقيت متزامن إلى ستة أطوار في بداية أبريل باختلاف المكان الجغرافي على مستوى البلاد. وبتحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي طيفيًا لكل نطاق جغرافي، وُجد أن نضج القمح المبكر طيفيًا كان في مناطق الزراعة المطرية، وخاصة قرب منطقتي الاستقرار المطري الثانية والثالثة بمساحات متفرقة وغير مركزة في نطاق محدد. في حين يبدأ تتابع النضج الزمني بفترات متقاربة داخل البلاد بدءًا من الجنوب في اتجاه الشمال، ومن وسط البلاد في اتجاه الحدود وخاصة الشمالية والغربية، ومن المناطق السهلية في اتجاه الجبلية. كما تم تحديد مسارات النضج فضائيًا لتتبعها في عملية الحصاد، وتم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية وفق مسارات النضج. وخلصت الدراسة إلى توصيات منها: تجهيز أماكن التخزين بالطاقة التخزينية الكافية لاستيعاب الإنتاج المتوقع وفق مسارات النضج؛ وزيادة الحجم التخزيني المباشر بالقرب من حقول الإنتاج لتقليل الفقد وسرعة التخزين، وزيادة الحجم التخزيني المستدام ذي الصفة الاستراتيجية، وتطوير عملية النقل بالقطارات من أماكن التخزين المؤقت إلى صوامع التخزين بالقرب من مناطق الاستهلاك، والتطبيق الدوري لهذه التكنولوجيا خلال مواسم النمو بما يرفع كفاءة إدارة العملية الإنتاجية المحصولية.

الكلمات المفتاحية: أطوار القمح، العملية الإنتاجية، الاستشعار عن بعد، سوريا.

Title

The role of remote sensing in monitoring the wheat's growth phonological phases to support the yielding process management in Syria

Nasser Tarraf Ibrahim^{1,2*}

¹ Director of research, General Organization of Remote Sensing, Damascus, Syria.

² Expert of Remote Sensing, The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Damascus, Syria.

Received 29 December 2020; accepted 28 June 2021; published 31 October 2021.

© 2021 The Author(s), licensee HBKU Press. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Cite this as: Ibrahim NT. The role of remote sensing in monitoring the wheat's growth phonological phases to support the yielding process management in Syria. Arabian Journal of Scientific Research 2021;2.9. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2021.9>

Strategic crops, especially wheat, represent the core of food security. As the agricultural sector, with its direct impact on feeding the world's population, deals with natural conditions, it should be managed with an integrated vision of the natural and human factors influencing the crops production process from the field level (micro level) up to the country level (macro level). **Aim:** This study aimed to monitor the relationship of the phenological phases of wheat with the maturity and harvest timing throughout Syria. **Method:** Remote sensing techniques were used to show the relationship of time-place-spectrum (TIPLAS) in order to obtain accuracy of yield estimation in each zone and to manage the yielding process of wheat (2014 and 2016 seasons) across Syria. **Results:** The study recorded six different phenological phases occurred simultaneously (at the beginning of April) regardless of the geographic location of the fields across the country. The date of the milky-waxy maturity spectrally for each geographical zone was determined. Early maturity spectrally of wheat was associated with rain-fed areas, especially with the second and third rain stability zones, with dispersed areas and not concentrated in a specific range. Temporal maturity begins as a converging period within the country, starting from the south towards the north and from the center of the country towards the borders, especially the northern and western, and from the plain areas towards the mountains. Maturation paths spectrally were plotted to follow the harvesting process. The estimations of wheat cultivated areas and production were based on satellite-image data according to the maturity paths. **Recommendations:** Preparing storage places with sufficient capacity for the expected production volume according to the maturation paths; increase the direct silos volume near the production fields to reduce losses and increase speed of storage; increase the strategic sustainable storage capacity; developing the railway logistics between storage facilities and consumption areas; and the periodic application of this technology during the growing seasons to raise the management efficiency of the crop production process.

Keywords: Wheat phenological phases, yielding process, remote sensing, Syria.

1- المقدمة

المكانية وقواعد البنية التحتية بنظم المعلومات الجغرافية في عمليات التسويق وتجهيز مراكز الاستلام من خلال تحديد الأولويات، مما يساهم في وضع وإدارة الخطط الاقتصادية بدقة وعلى مستوى شامل.

تعد أطوار النمو النباتي تمثيلاً مباشراً للنمو المحصولي، بما يعكس التغيرات الحيوية بتأثير المناخ والظروف البيئية؛ وبناء عليه، فإن معرفة الأطوار الفينولوجية المحصولية تعتبر جزءاً أساسياً في بناء النماذج المحصولية، إذ إن المعلومات الفينولوجية تعكس توزيع المادة المنتجة خلال مراحل النمو.^{4,3} وتوفر تقنية الاستشعار عن بعد إمكانية أكبر لرصد الأطوار الفينولوجية المحصولية، إذ إنها ذات فاعلية اقتصادية في مراقبة نمو المحاصيل لمناطق واسعة، وقادرة على تسجيل حالة نمو المحاصيل الحقيقية خلال موسم النمو.^{6,5} وقد بينت نتائج دراسية إمكانية اشتقاق القياسات الفينولوجية استشعارياً واستخدامها في تقدير تغيرات النمو الزمانية والمكانية في حقول المحاصيل، وبما يساعد في تفهم الإدارة المزرعية الدقيقة.⁷ وقد سبق أن أشارت دراسة إلى أن حركية الأطوار الفينولوجية المحصولية تعكس حركية النظم الزراعية، ومن ثم، تعدّ دراستها بالبيانات الاستشعارية التسلسلية وسيلة مهمة لدراسة تطور المحاصيل وفق ما تم تطبيقه على بيانات (VEGETATION) و (AVHRR).⁸ وتعد معلومات الأطوار الفينولوجية أساسية في عملية تقدير إنتاجية المحاصيل وإدارتها، حيث تم استخدام بيانات (MODIS EVI) متتالية زمنياً لمراقبة أطوار القمح.^{10,9} وتُمكن مخططات نمو القمح وفق نماذج الإنتاجية المبنية على قيم الدليل النباتي (NDVI) المستنبط في الحقل والمطبق على بيانات (NOAA-AVHRR) من تقدير إنتاجية القمح.¹¹ وقد طُوّر نموذج أولي لنظام مراقبة المحاصيل، بالاستعانة بنماذج المحاكاة المحصولي لتوليد خرائط النمو المحصولي اليومي وتوقع الإنتاجية الحبية على مستوى المحافظة.¹² وتم تمثيل محاكاة سلسلة بيانات استشعارية لقيم دليل مساحة الأوراق في نموذج (WOFOST) لتحسين دقة تقدير إنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية عن طريق إيجاد النماذج التطبيقية لكل منطقة بهدف رفع دقة التقدير.¹³ وقد أدى تمثيل محاكاة الأطوار الفينولوجية مع دليل مساحة الأوراق في البيانات الاستشعارية إلى تحسين تقدير إنتاج القمح في كل منطقة على حدة.¹⁴ وتم تقييم التقدير المناطقي لإنتاج القمح بتمثيل محاكاة البيانات الاستشعارية بازدواج النموذجين (WOFOST-PROAIL) في ثلاثة مواقع، وأظهرت النتائج رفع كفاءة النماذج المقترحة في تقدير الإنتاجية مقارنة بالقيم الحقيقية.¹⁵ وقد

تُمثل المحاصيل الغذائية الاستراتيجية، وعلى رأسها القمح، في المنطقة العربية، جوهر الأمن الغذائي، ومع المحاصيل الرئيسة مصدر الأمن الزراعي، محققةً بذلك الأمن القومي واستقرار الشعوب. وبما أن القطاع الزراعي هو الأوسع انتشاراً والأكثر تعاملًا مع الظروف الطبيعية، وأيضاً ذو التأثير المباشر في حياة الإنسان في غذائه اليومي وتوازنه المعيشي؛ فإن إدارته، وخاصة المحاصيل الاستراتيجية، يجب أن تتم بأسلوب علمي ورؤية تكاملية تقوم على تكامل عناصر الإنتاج، طبيعية وبشرية، خلال دورة النشاط المحصولي، بدءاً من المستوى التفصيلي إلى الشامل على مستوى البلاد. لذا، من الضروري دراسة ومعرفة جميع العناصر والظواهر التي تدخل وتؤثر في مكونات الإنتاج، الطبيعية منها و/أو الصناعية (التي من صنع الإنسان)، ومن ثم عملية إدارتها من العنصر البشري، التي يجب أن تعكس أهمية هذا المنتج والاستفادة القصوى من كمية الإنتاج المحققة. يتم ذلك من خلال إدارة وتجهيز أدوات الإنتاج والحصاد، بدءاً من مراحل النمو الأولى، مروراً بالنضج ثم الحصاد، حتى الجمع والتخزين، بما يرفع من الإنتاج ويقلل من حدوث الفقد، خاصة بعد مرحلة التكوين المحصولي لها؛ أي النضج والحصاد، وفي المراحل اللاحقة حتى توجيهها إلى أماكن التخزين الدائم، لتحقيق أعلى مردود في الكمية الفعلية المخزنة القابلة للاستهلاك من خلال رفع كفاءة عملية الإدارة في الإنتاج والحصاد والتخزين والتسويق بالاستفادة من عامل الزمن.

بلغ متوسط نسبة الاكتفاء الذاتي من القمح في البلدان العربية 42%، وراوحت النسبة بين 0-100% حسب الدولة وموسم الإنتاج.¹ تعد سوريا الدولة الوحيدة في الوطن العربي التي تعتمد على مواردها الذاتية في تأمين حاجاتها من القمح (حتى موسم 2016)، حيث يشغل القمح فيها مساحة 1.9-1.2 مليون هكتار (بنسبة 7-10.5% من مساحة البلاد، وتعادل 22-31% من المساحة القابلة للزراعة البالغة 33% من مساحة البلاد) بإنتاج 2.1-4.7 ملايين طن حسب الوفرة المناخي وخاصة المائي.²

تتجلى الأهمية العظمى للاستشعار عن بعد في عملية مراقبة الأطوار الفينولوجية للقمح التي تعدّ مؤشراً قوياً لكل من كمية الإنتاج وموعد النضج والحصاد، حسب كل نطاق جغرافي ومناخي. وترصد هذه التكنولوجيا حركية الأطوار الفينولوجية للقمح ضمن علاقة «الزمن - المكان - طيف» خلال موسم النمو، ليتسنى لها توجيه وإدارة العملية الإنتاجية مع البيانات

تبيّن أن استخدام قياس المنحنى الفينولوجي عن طريق دمج نماذج الانحدار لبيانات الانعكاس الطيفي مع الأدلة الطيفية النباتية من الصور الفضائية عالية التكرارية الزمنية الناتجة من تنالي صور (Landsat 8) و (Sentinel-2) ذات الدقة المكانية المتوسطة (10-30م) قد أدى إلى دقة تقدير إنتاجية القمح بخطأ قدره 0.201 طن/ هكتار، ومعامل تحديد 0.73، لمدة ثلاث سنوات متتالية (2016-2018).¹⁶ وأدى تطوير مقارنة (SEWMA) (Simple and Effective Wheat Mapping Approach) باستخدام الصور الفضائية عالية الدقة (Sentinel-2) متعددة الأطياف خلال مراحل النمو (8 صور فضائية) إلى رسم خرائط ومساحات القمح المزروع في سهل البقاع اللبناني بدقة وصلت 82.6% و 87% في موسمي 2016 و 2017، على الترتيب.¹⁷ وللمنطقة ذاتها من سهل البقاع اللبناني، تمت مراقبة الأطوار الفينولوجية لنمو القمح باستخدام الصور الرادارية (Sentinel-1)؛ فحصل تمييز بين: مراحل الإنبات والحصاد من بيانات نسبة الاستقطاب (VV/VH)، ومرحلة التسبيل من بيانات الاستقطاب (VV)، بينما مرحلة النضج اللين من بيانات الاستقطاب (VH)، وذلك بدقة تقدير إحصائي وفق مؤشر (RMSE) بلغت: 2.9 يوم للإنبات، 5.5 أيام للتسبيل، و 5.1 أيام للنضج اللين، و 3 أيام للحصاد في المنطقة المدروسة.¹⁸ وقد تم اقتراح استخدام السلاسل الزمنية للدليل النباتي وفق نموذج (Automated Early-season Method to Map) (AEMMS) (Winter Wheat using the Sentinel-2 data) من بيانات الصور الفضائية متعددة الأطياف (Sentinel-2) عن الرادارية لمراقبة أطوار نمو القمح في رسم خرائط القمح في مقاطعة شاندونغ (Shandong) في الصين،¹⁹ حيث بلغت قيمة معامل التحديد (determination coefficient) 0.8973 للبيانات المقدرة بالنموذج مقابل البيانات الحقيقية، ودقة عالية في إنتاج خرائط القمح وصلت إلى 97.8% كدقة عامة بمعامل كابتا بلغ 0.9368.¹⁶ وتم استخدام نموذج (Global Yield Mapper in Earth Engine) (GYMEE) لتقدير إنتاجية محصول القمح (ومحاصيل أخرى) في عدة مناطق من العالم في لبنان والبرازيل وإسبانيا من بيانات صور فضائية (ذات دقة مكانية 30 مترًا) وأخرى مناخية، وتربة. وبينت نتائج الإنتاجية المحسوبة المقدرة بالنموذج مقابل تلك القيم الحقيقية المسجلة أن أداء النموذج كان مثاليًا، خاصة في لبنان بأقل خطأ (RMSE) بلغ 0.6 طن/ هكتار، ومتوسط خطأ مطلق (MAE) بلغ 0.5 طن/ هكتار، ومتوسط خطأ أساس (MBE) بلغ 0.06 طن/ هكتار، وخطأ نسبي (RE) بلغ 83%.²⁰ وتعدّ عملية تقليل كمية الفاقد من الكم المنتج عن الممكن هي زيادة في الكم الحقيقي الممكن النهائي، وخاصة إذا ما تعلق الأمر بمنتج تأخذ فترة نشاطه الإنتاجي مراحل زمنية متعددة وبعمليات مختلفة، حيث يمكن أن يحصل هذا الفاقد في أي مرحلة منه وينسب متفاوتة. لقد حاز فقدان الإنتاج، وخاصة بعد الحصاد، على موجة من الاهتمام منذ ثمانينات القرن العشرين.²¹ فعلى الرغم من كون مشكلة الفاقد في المحاصيل الزراعية مشكلة عالمية، فإنها تبرز على نحو أكثر وضوحًا في الدول النامية نتيجة لطبيعة الظروف الاجتماعية والاقتصادية السائدة فيها، وقلة توافر الوسائل الفنية التي يمكن بها تقليل هذا الفاقد إلى حده الأدنى.²² وقد قدرت إحدى دراسات المنظمة العربية للتنمية الزراعية أن نسبة الفاقد قبل الحصاد مباشرة (بعد النضج) تراوح بين 6-10%، وعند عملية الحصاد تصل إلى 10-15%، وترتفع إلى 29% عند وصولها إلى الصوامع.²³ في حين بلغ فاقد محصول القمح في مصر حوالي 438 ألف طن، وهو يمثل نحو 6.3% من إجمالي الإنتاج الذي بلغ حوالي 8.1 ملايين طن خلال الفترة 2013-2015.²⁴ وقد أوضحت دراسة أن كمية الفاقد الكلي المقدرة تتوزع على مراحل: الزراعة، والحصاد، والدراس، والتجفيف، والتعبئة، والنقل والتخزين كنسب من الفاقد بما يلي: 22.1%، 18.1%، 20.6%، 18.9%، 10.1%، 5.6%، 4.6%، على

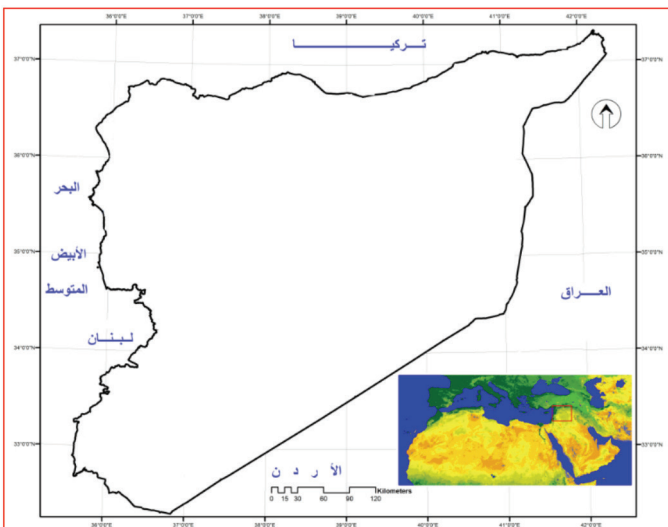
التوالي.²⁵ وقد سجل فاقد إنتاج القمح نتيجة تأخير الحصاد حوالي 30 كغ/ هكتار/ يوم، نتيجة الظروف الجوية من تغيرات حرارية و/ أو ظروف معاكسة، وكذلك العوامل الحيوية.²⁶ بينما بينت إحدى الدراسات أن نسبة الفاقد قد تصل إلى 30% من الإنتاج بعد الحصاد في مراحل مختلفة إلى المخازن.²⁷ وقد بلغ فاقد إنتاج القمح خلال عملية النقل من مراكز التخزين إلى مراكز الاستهلاك حوالي 11.8% من كمية الحب المحصود، في حين قُدّر الفاقد خلال الحصاد والتخزين بـ 93.2% من الفاقد الكلي المسجل.²⁸ وقد وُجد أن النقل بالقطار يقلل الفاقد المباشر 55-65% من النقل بالشحن على الطرق للكمية المراد نقلها، فضلًا عن التكلفة المالية الأقل بشكل كبير.²⁹

يقوم هذا البحث على تحديد المناطق القابلة لزراعة القمح في سوريا، باستخدام التحليل الطيفي لسلاسل الصور الفضائية بالأدلة الطيفية النباتية، بهدف: أولًا، مراقبة حركية أطوار نمو القمح مع الزمن بوحدة المكان/ المحصول من البيانات الطيفية وفق علاقة الزمكاني (الزمن - مكان - طيف) لصور فضائية عالية الدقة المكانية/ متعددة المراحل الزمنية، ثانيًا، تقدير إنتاجية القمح بدقة لكل نطاق جغرافي - زراعي بنظمه الزراعية المتعددة، ثالثًا، تطبيقها في إدارة العملية الإنتاجية لمحصول القمح على مستوى البلاد.

2- مواد البحث

2-1 منطقة الدراسة

تُمثل أراضي الجمهورية العربية السورية وحدة منطقة الدراسة (الشكل 1) لمراقبة أطوار نمو وحركية نشاط محصول القمح في إدارة العملية الإنتاجية.



الشكل 1. موقع سوريا الجغرافي.

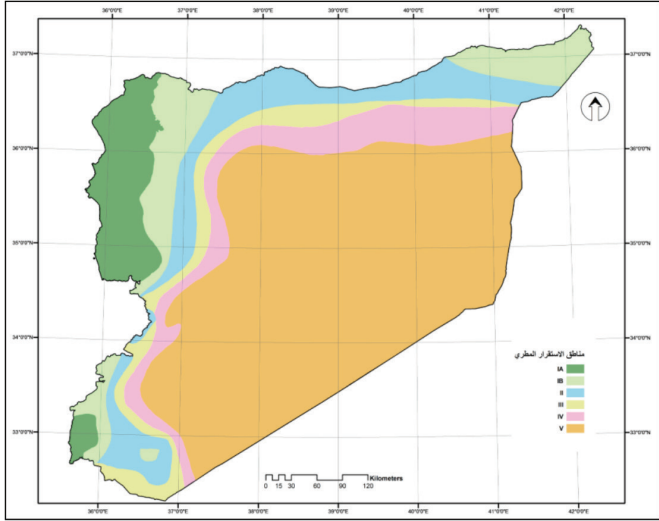
2-2 الصور الفضائية

تم استخدام الصور الفضائية التالية لمراقبة أطوار القمح:

- صور (MODIS) (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer): ذات تواتر زمني عالٍ (كل 8 أيام)، ودقة مكانية متوسطة (250م) لسلسلة زمنية لمواسم نمو من 2004 إلى 2016.
- صور (Meteo-M1): ذات دقة مكانية (42م) متعددة الأطياف/ متعددة المراحل لموسم نمو 2014.
- صور (Sentinel-2): ذات دقة مكانية (10م) متعددة الأطياف/ متعددة المراحل لموسم نمو 2016.

4-2 خريطة مناطق الاستقرار المطري

تم استخدام خريطة معدلات الهطول المطري السنوية للجمهورية العربية السورية (الشكل 2) المقسمة إلى خمس مناطق استقرار مطري، ويُراوح معدل الهطول المطري في كل منها كما يلي: منطقة الاستقرار الأولى (IA): أكثر من 600 ملم؛ منطقة الاستقرار الأولى (IB): 450-600 ملم؛ منطقة الاستقرار الثانية (II): 350-450 ملم؛ منطقة الاستقرار الثالثة (III): 250-350 ملم؛ منطقة الاستقرار الرابعة (IV): 150-250 ملم؛ منطقة الاستقرار الخامسة (V): أقل من 150 ملم.



الشكل 2. مناطق الاستقرار المطري الزراعي في سوريا.

- كما تم استخدام صور نموذج الارتفاع الرقمي (3D) نوع (SRTM) ذات دقة مكانية 30م.

3-2 البرمجيات المستخدمة

- تم تنفيذ المنهجية باستخدام برامج:
- برنامج نظام المعلومات الجغرافية (ArcGIS 9.3).
- برنامج (ERDAS IMAGINE 9.2) لتحليل الصور الفضائية.
- برنامج «التنبؤ بإنتاج القمح طيفياً» (Spectral Wheat Yield Prediction, SWYP) المصمم في بيئة برنامج معالجة الصور الفضائية (ERDAS IMAGINE) لملاءمته الظروف الزراعية السورية. وُثني هذا النموذج (SWYP) على تحليل قيم الانعكاس الطيفي المسجل حقلًا للقمح المزروع تحت نظم زراعية مختلفة (تمثل البيئة الزراعية تحت الظروف السورية) في علاقتها بالإنتاجية الفعلية، ثم إيجاد تلك المعادلات التي تستنبط الإنتاج من تلك القيم الطيفية تحت كل احتمالات الظروف الزراعية الموجودة. وتكون مدخلات النموذج صورًا فضائية (بقيم NDVI) خلال مرحلتي نمو أو أكثر (تمثل الأهمية في النمو والإنتاجية المحصولية)، ثم تحديد ثوابت عددية حسب منطقة الاستقرار المطري ونوع الصور الفضائية المستخدمة، لتكون المخرجات في أربع هيئات هي: الإنتاج الكلي، والمساحة الكلية، وخريطة الإنتاجية، وخريطة الإنتاجية في فئات تصنيفية.

5-2 مواقع حقول القمح الاختبارية

تم اختيار العديد من مواقع الحقول لتغطي جميع أنحاء سوريا وفق معايير موضحة في منهجية البحث لاحقًا، حيث يبين الشكل (3) مواقع بعض تلك الحقول.



3- منهجية البحث

1-3 المخطط النهجي للبحث

يبين الشكل (4) المخطط النهجي لسير مراحل مساهمة الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح وإدارة العملية الإنتاجية في سوريا، وفق الخطوات الأساسية التالية: 1. تم استخدام الصور الفضائية عالية التكرارية الزمنية لتحديد أنماط النمو النباتي، ثم بمقابلتها مع المخطط الطيفي لنمو القمح (المنضد ضمن قواعد البيانات)، وقد تم تحديد أماكن إمكانية زراعة القمح؛ 2. تم استخدام الصور الفضائية متعددة الأطياف عالية الدقة المكانية

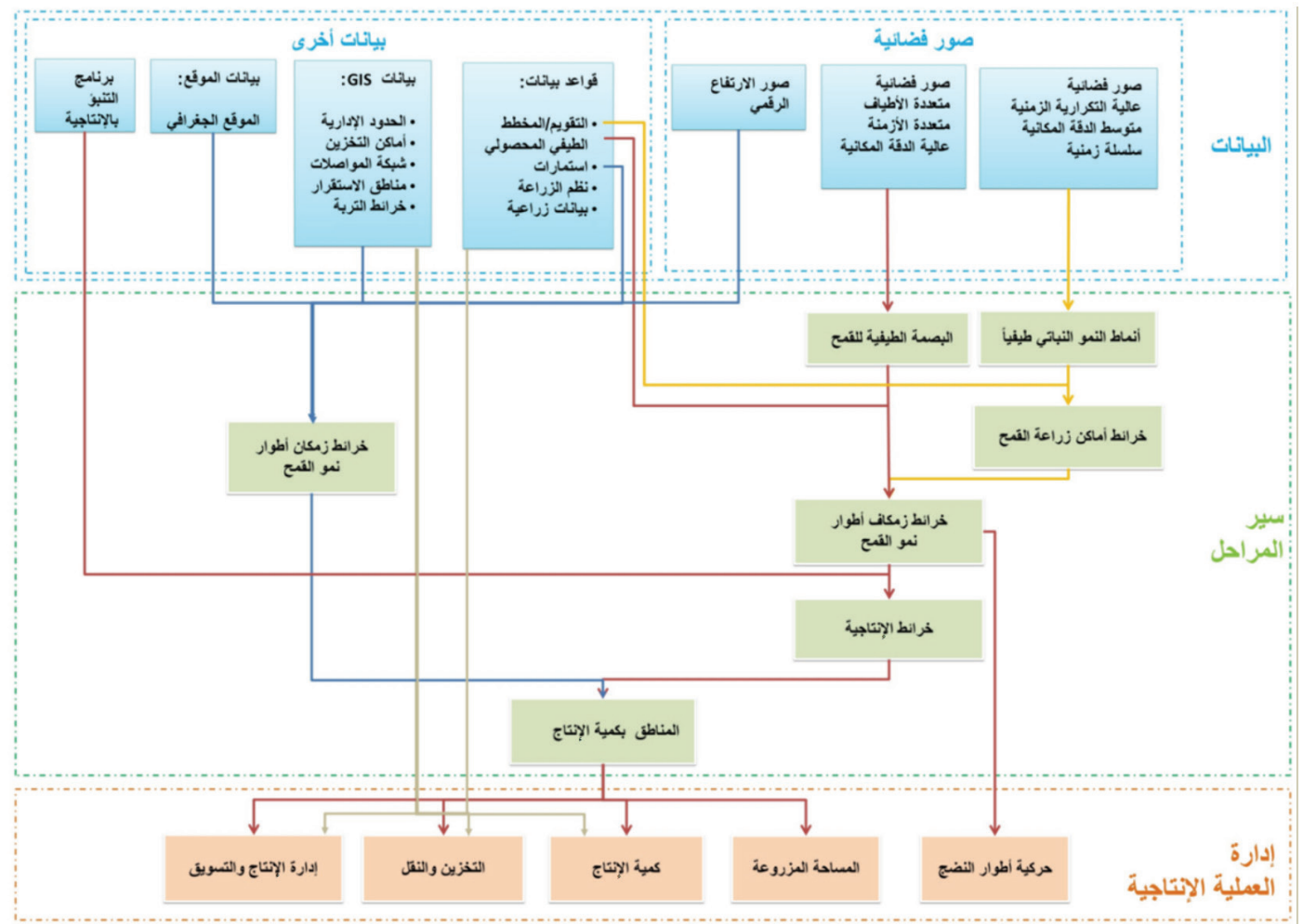
6-2 استمارة مراقبة أطوار نمو القمح حقلًا

تم إعداد استمارة مراقبة لتسجيل تاريخ حدوث الطور الفينولوجي لنباتات القمح في كل حقل من الحقول المختارة التي تمثل المنطقة المزروعة فيها. وقد بلغ عدد الحقول 105 حقول (3 حقول في كل موقع، ثم يؤخذ متوسطها عند تمثيلها للمنطقة)، وذلك بمتوسط مساحة الحقل الواحد من 0.8 هكتار في المرتفعات الجبلية إلى 8 هكتارات في المناطق السهلية، بمعدل إنتاج تراوح بين 1-4 أطنان/ هكتار حسب معدل التزود المائي.

الشكل 3. مواقع بعض الحقول في سوريا.

بمقابلة البصمة الطيفية لمحصول القمح في تحديد خرائط أطوار نمو القمح؛ 3. تم إدخال خرائط أطوار نمو القمح (بقيمتها الطيفية) في برنامج التنبؤ الطيفي بالإنتاجية لتقدير إنتاجية القمح في مناطق زراعته لكل نطاق جغرافي؛ 4. تم إدخال معايير متعددة تمثل مناطق نمو القمح في بيئات جغرافية مختلفة (تباين الهطول الموسمي للأمطار، الارتفاع عن سطح البحر، نظام الري ... إلخ) كنقاط تحقق حقلية يسجل فيها وجود أطوار نمو المحصول

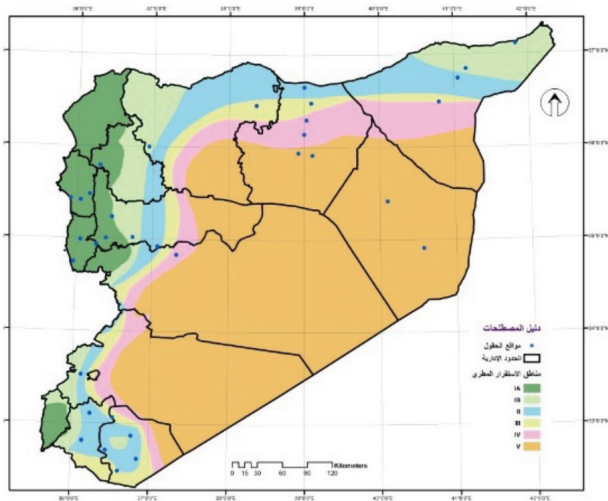
مع الإنتاجية، معبرة بذلك عن كافة ظروف إنتاج القمح في البلاد؛ 5. تم من خلال خرائط مراقبة أطوار النمو تحديد حركية خرائط النمو وتقدير الإنتاجية في تحديد التوقيت والمناطق التي يتحقق فيها طور النضج اللبني - الشمعي من أجل رسم حركية توقيت الحصاد؛ 6. تم من خلال حركية خرائط النمو وتقدير الإنتاجية من تحديد كمية الإنتاج وربطها مكانياً بحجم التخزين في الصوامع الموجودة في مناطق الإنتاج وتلك الموجودة قرب مناطق الاستهلاك.



الشكل 4. المخطط النهجي لمراحل مساهمة الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار نمو القمح وإدارة العملية الإنتاجية.

وبيّن الشكل (5) مخطط مراحل نشاط إنتاج القمح بمراحله الثلاث الأساسية: عمليات ما قبل الإنتاج، ومراحل الإنتاج، وعمليات ما بعد الإنتاج؛ لبيان مساهمة الاستشعار عن بعد في أي مرحلة منها مع التقنيات الأخرى.

حيث يوضح الشكل أي المراحل والعمليات التي يمكن تنفيذها بتلك التقنية التي تخدم عملية إدارة الإنتاج.

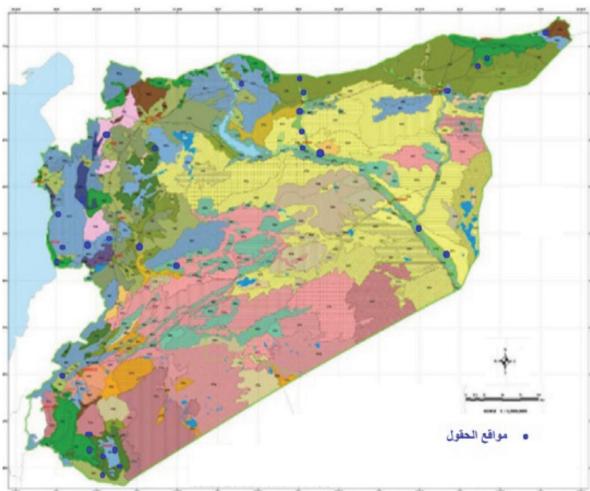


الشكل 7. مواقع توزع الحبوب ضمن مناطق الاستقرار المطري.

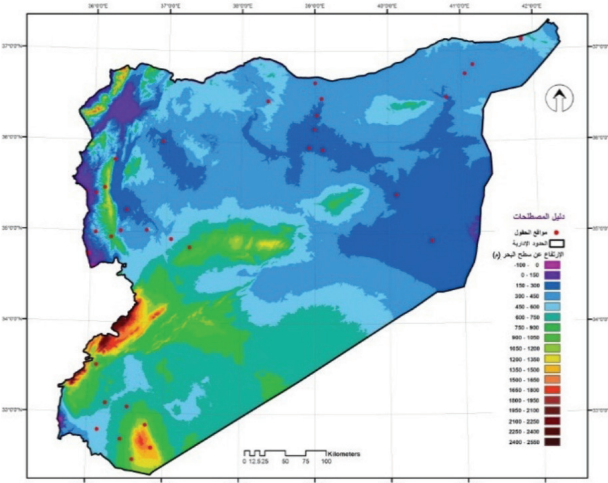


الشكل 5. مخطط مراحل نشاط إنتاج القمح ومساهمة الاستشعار عن بعد.

- التربة: كما تم مراعاة اختيار تنوع التربة بالاستعانة بخريطة التربة المصنفة من قبل (ICARDA) (الشكل 8).
- الطبوغرافيا: وُضعت المواقع لتشمل كافة الارتفاعات التضاريسية في سوريا وفق نموذج الارتفاع الرقمي (الشكل 9).



الشكل 8. مواقع توزع الحبوب ضمن مناطق الاستقرار المطري.

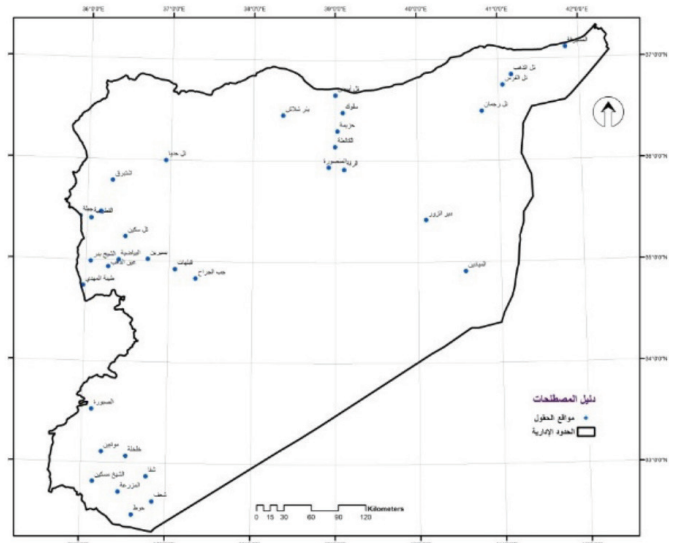


الشكل 9. مواقع توزع الحبوب وفق نموذج الارتفاع الرقمي.

2-3 معايير اختيار وتوزيع حقول القمح

تم اختيار توزيع حقول مراقبة أطوار نمو القمح لتشمل عوامل التباين الفعلية الكلية الموجودة على مستوى سوريا وفق الأسس التالية:

- النطاقات الجغرافية لخطي الطول والعرض: تقع أراضي الجمهورية العربية السورية ضمن خطي طول 35°37' و 42°23'، وخطي عرض 32°19' و 37°20'، مما يتيح تبايناً جغرافياً لمناطق زراعة القمح يستلزم معه توزيع النقاط الحقلية الاختبارية لتشمل تلك المناطق التي يُزرع بها القمح (الشكل 6).
- مناطق الاستقرار المطري (النطاقات المناخية الرئيسية): تم توزيع نقاط الحقول بما يتماثل مع مناطق استقرار الهطول المطري السنوية المصنفة وفق الظروف المناخية للجمهورية العربية السورية، والتي تؤثر في أطوار النمو (الشكل 7).



الشكل 6. مواقع التوزيع الجغرافي لحقول القمح.

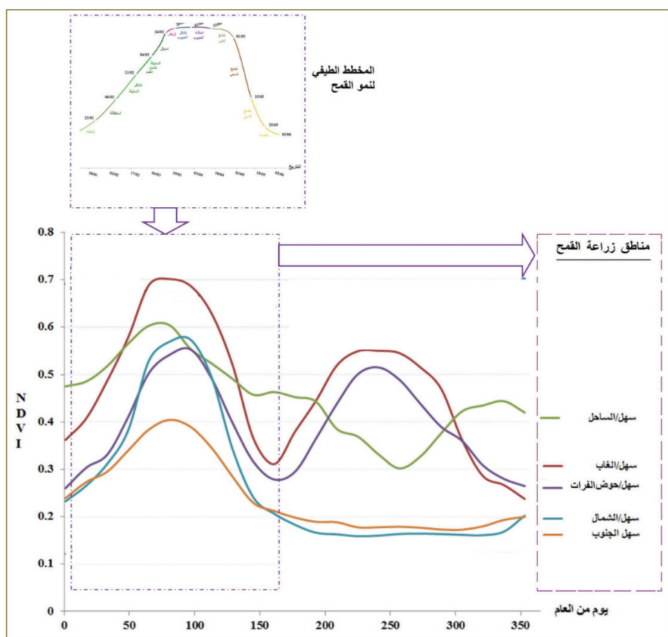
- **نظم الزراعة:** يزرع القمح في سوريا تحت نظامي زراعة أحدهما مروي (أيًا كان أسلوب الري) والآخر مطري، لذا تم توزيع الحقول ليشمل كلا النظامين.
- **مساحة الحقول:** تمت مراعاة اختيار حقول بمساحات كبيرة، قدر الإمكان، لتكون واضحة التمييز ويتم تتبعها على الصور الفضائية.

الجدول 1. عدد وتوزيع الحقول حسب معايير الاختيار.

المعيار	مناطق الاستقرار المطري					الطوبوغرافيا (الارتفاع عن سطح البحر/ متر)					نظام الزراعة		المساحة/ هكتار
	1	2	3	4	5	300-1	600-300	900-600	1200-900	1500-1200	مروي	مطري	
العدد	39	27	15	12	12	24	42	18	15	6	33	72	105
الكلية	105					105					105		105

4-1-2 احتمالية أماكن زراعة القمح من الصور الفضائية في سوريا

وفق مقارنة المخطط الطيفي لنمو القمح بالمخططات الطيفية الرئيسة للنمو النباتي - زمنيًا وكقيم طيفية - فقد تمت تسمية وتحديد المناطق الملائمة لنمو القمح في المناطق الرئيسة من سوريا، كما في الشكل (11). حيث تعد أغلب المناطق السورية (باستثناء منطقة البادية) قابلة لزراعة القمح، وهي السهول الشمالية والجنوبية الساحلية مع حوض الفرات.



الشكل 11. تحديد المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحًا وفق المخطط الطيفي لنمو القمح في سوريا.

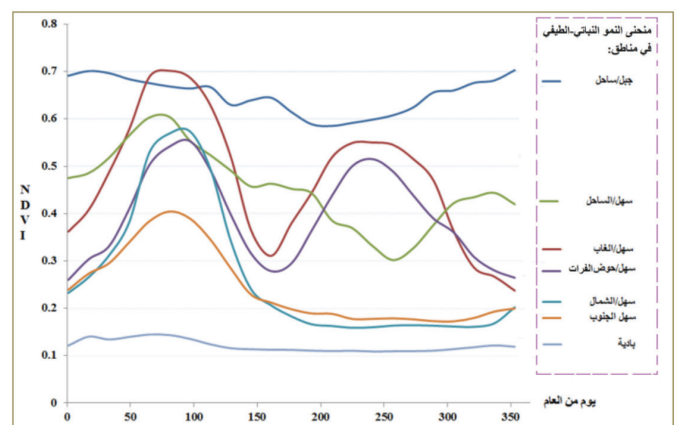
- واعتمادًا على الأسس التالية في تحليل السلسلة الزمنية لصور (MODIS) لتحديد الحيز الجغرافي لتوزيع انتشار القمح في سوريا، وهي:
- إمكانية نمو القمح وفق البصمة الطيفية للقمح في سوريا المبين في الشكل (11).
- تغير وفرة الأمطار الهاطلة في تلك الأماكن التي يمكن أن ينمو القمح فيها من عام إلى آخر.
- مقارنة الآلية التطبيقية المعتمدة في توصية زراعة المحاصيل عند رسم مناطق الاستقرار المطري في سوريا.

4- النتائج والمناقشة

4-1-1 أماكن زراعة القمح من الصور الفضائية في سوريا

4-1-1-1 السلسلة الزمنية للبصمة الطيفية للنظم الزراعية والبيئية الرئيسة من الصور الفضائية في سوريا

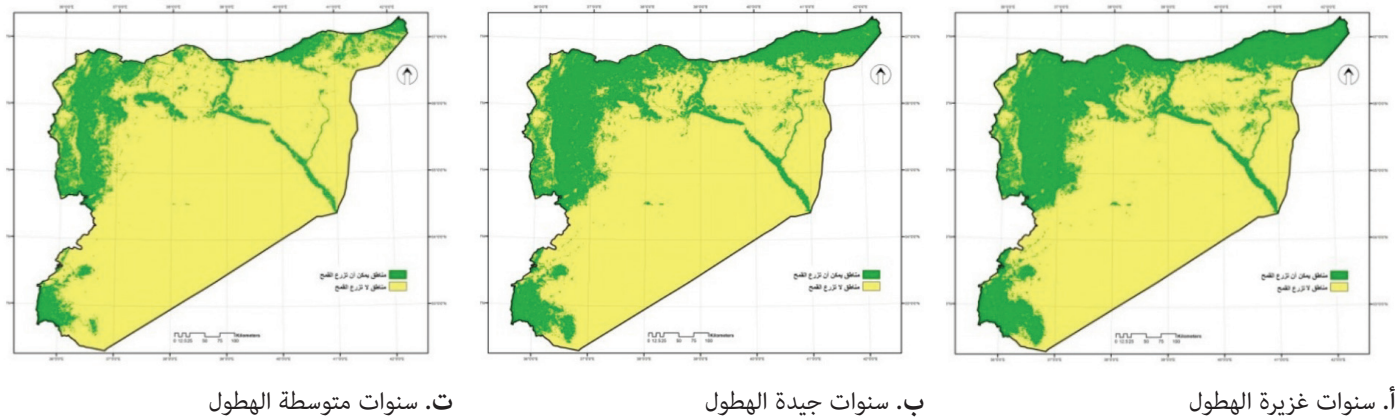
تمت دراسة سلسلة زمنية للقيم الطيفية المكانية من الصور الفضائية الأسبوعية (كل 8 أيام) لمدة 12 عامًا (2004-2016) على كافة أنحاء سوريا، بهدف إظهار تأثير الزمن بوصفه عاملاً ضمنياً لكافة احتمالات ظروف زراعة ونمو القمح ضمن بيانات نباتية - أرضية مختلفة. وقد تم تحليلها وتجميع الأنماط الرياضية لصيغ النمو المتماثلة للوصول إلى نماذج تُعبّر عن أهم صيغ النمو النباتي لكل منطقة؛ ومن ثم تحديد المناطق التي يمكن أن تسهم في إنتاجية الكتلة الحية النباتية وفق الدرجات الملائمة حسب موقعها لإمكانية نمو القمح. وبين الشكل (10) أنماط صيغ النمو النباتي وفق قيم الدليل النباتي (NDVI) المسجلة على مدار العام كمتوسط سلسلة زمنية متتالية (2004-2016) من صور (MODIS) في المناطق الرئيسة من سوريا، والتي يشتق منها أنماط المنحنيات للمناطق التي تتشابه مع المنحنى الطيفي لمناطق نمو القمح، مما يحدد معه المناطق التي يمكن أن تزرع قمحًا بإدخال عامل الزمن الذي يتضمن تأثير التغيرات المناخية.



الشكل 10. أنماط النمو النباتي بقيم (NDVI) الأسبوعية لمتوسط سلسلة زمنية (2004-2016) من الصور الفضائية للمناطق الرئيسة في سوريا.

وقد تم بناء ثلاث احتماليات لأماكن الانتشار الجغرافي لزراعة القمح في سوريا؛ باستثناء المناطق الحراجية التي يمكن فيها - نظرياً زراعة القمح - لكنها لا تُزرع بسبب الغطاء النباتي المستدام بالأشجار الحراجية، خاصة في المنطقة الساحلية، وفق الخرائط التالية (الشكل 12):

أ. المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً في السنوات الوفيرة مائياً (هطول مطري عالٍ): ثلاث سنوات من ثلاث سنوات (الشكل 12-أ).



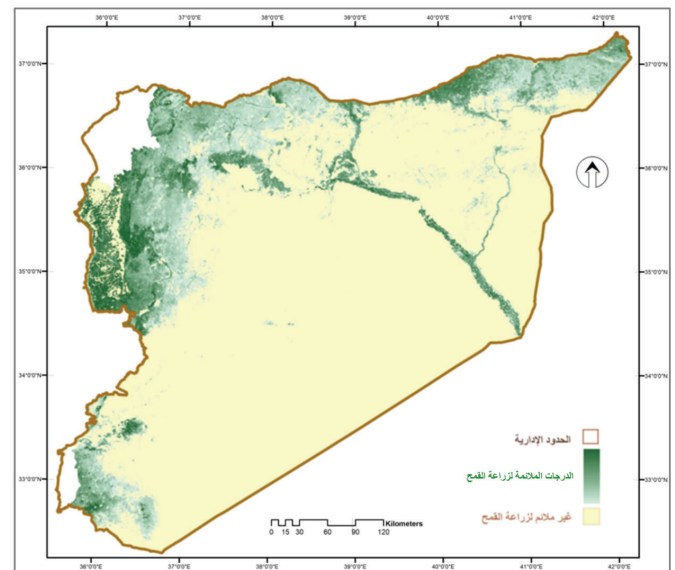
الشكل 12. الانتشار الجغرافي للمناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً حسب درجة وفرة الهطول المائي السنوي في سوريا.

2-4 البصمة الطيفية لنظم زراعة القمح في سوريا

1-2-4 أطوار القمح الفينولوجية وفق البصمة الطيفية خلال موسم النمو في سوريا

تم توقع أهم الأطوار الفينولوجية المسجلة للقمح: الزراعة والإنبات، البادرة، الإشتاء، الاستطالة، تشكّل السنبلّة، الإسبال، الإزهار، تشكّل الجيوب، امتلاء الحبة، النضج اللبني، النضج الشمعي، النضج الفني/ القاسي، والحصاد (الشكل 14) على منحنى النمو الطيفي للقمح (الشكل 15)،³⁰ والتي تم من خلالها تحديد تلك الأطوار المترافقة مع نقاط الانعطاف الحدية بقيم الانعكاس الطيفي التي من أهمها طور الإزهار وطور النضج اللبني خاصة في نهايته (الشكل 15) عن بقية الأطوار المسجلة، والتي تم تتبعها على الصور الفضائية في عملية الإدارة الإنتاجية.

وعند تحليل وتداخل الخرائط الثلاث السابقة (الشكل 12)، فقد تم إنتاج خريطة المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً وفق الدرجات الملائمة له في سوريا، كما في الشكل (13). وقد تراكمت الدرجات الملائمة حسب الوفر المائي أولاً، ودرجة خصوبة الأراضي.



الشكل 13. المناطق التي يمكن أن تُزرع قمحاً وفق الدرجات الملائمة في سوريا.



الاستطالة



الإشطاء



البادرة



الإنبات



تشكل الحبوب



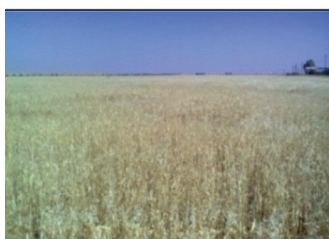
الإزهار



الإسبال



تشكل السنبل



النضج الفني



النضج الشمعي

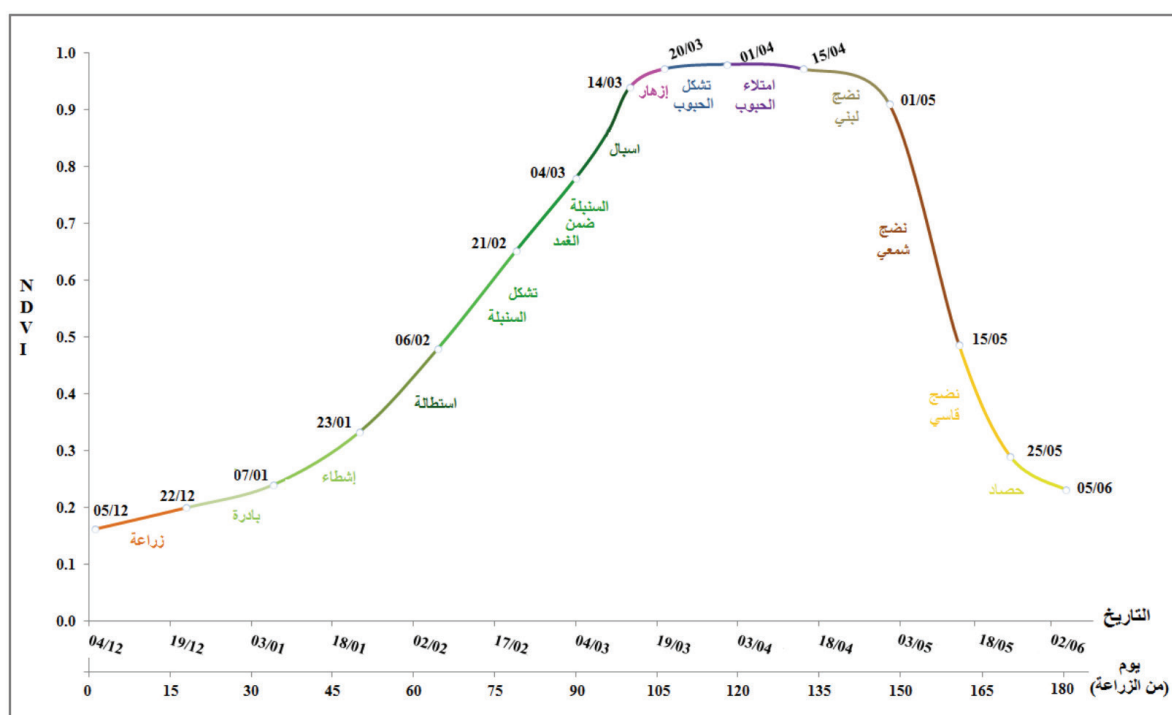


النضج اللبني

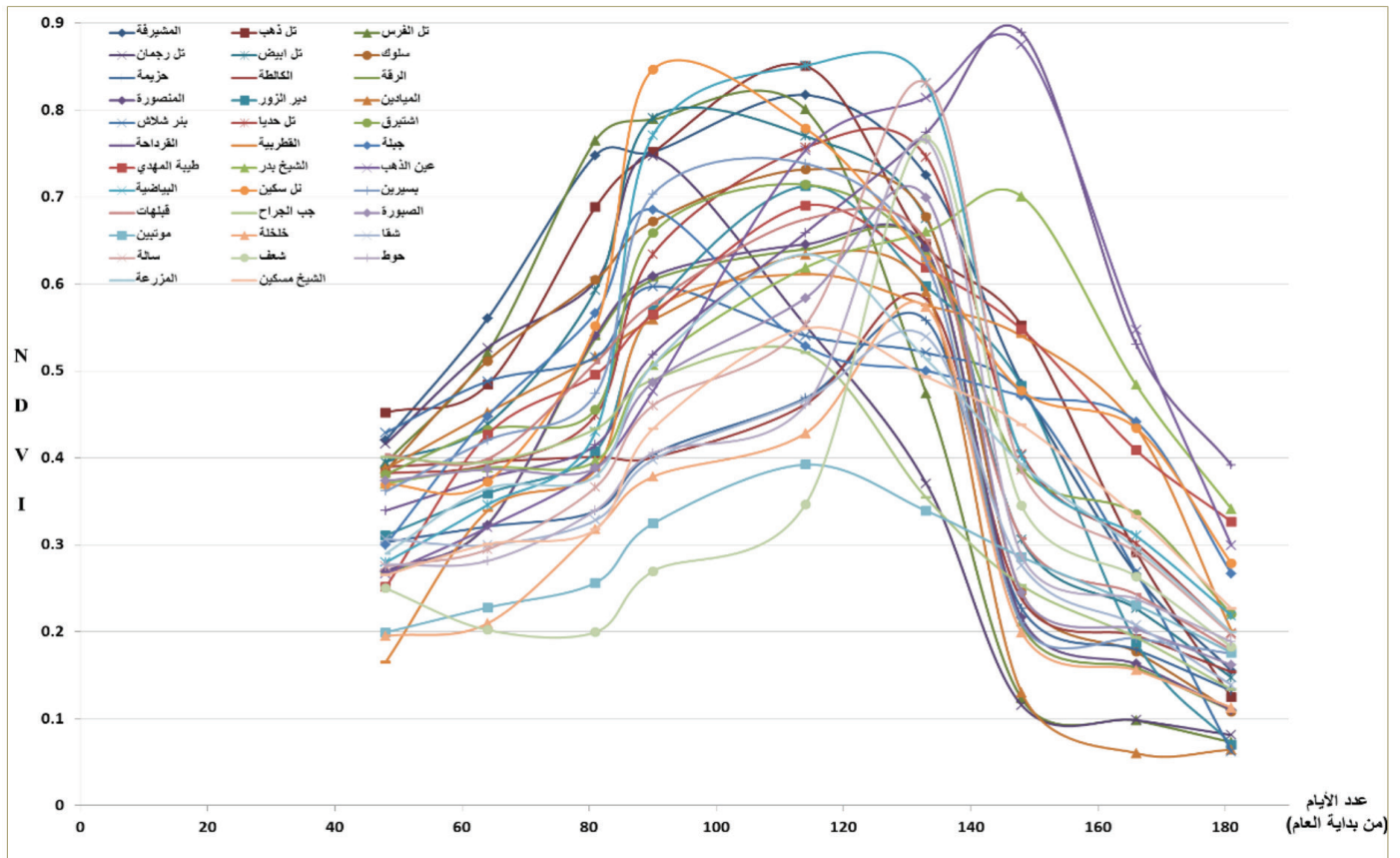


امتلاء الحبوب

الشكل 14. أطوار نمو القمح.



الشكل 15. البصمة الطيفية لأطوار نمو القمح في سوريا. 30



الشكل 16. قيم الدليل الطيفي النباتي (NDVI) من الصور الفضائية لحقول القمح الموزعة في أنحاء سوريا.

2-2-4 البصمة الطيفية (NDVI) للقمح من الصور الفضائية في سوريا

يبين الشكل (16) البصمة الطيفية وفق قيم الدليل النباتي (NDVI) من الصور الفضائية لجميع حقول القمح معاً والموزعة وفق معايير الاختيار المحددة سابقاً.

يتبين من الشكل (16) عند مقارنته بتوقع نموذج النمو الطيفي لأطوار القمح في سوريا (الشكل 15):

- أن هناك مدى واسعاً في تباين حدوث الأطوار الفينولوجية في التوقيت الواحد بين مناطق مختلفة في سوريا، فمثلاً بعد 90 يوماً من بداية العام (الأسبوع الأول من أبريل) نجد ظهور أكبر عدد من الأطوار (6 أطوار) في التوقيت نفسه، لكن بمناطق مختلفة (هذا على المستوى الرأسي؛ أي التوقيت) تبدأ من استطالة الساق، تشكل السنبل والسنبل في الغمد، الإنبال، الإزهار، تشكل الحبة، وبداية امتلاء الحبة.
- أن هناك تبايناً في توقيت حدوث الطور الواحد، فمثلاً نجد أن طور الإزهار قد يظهر من 90 إلى 130 يوماً من بداية العام (أي من منتصف مارس إلى الثلث الأخير من أبريل) في مناطق مختلفة في البلاد (هذا على المستوى الأفقي؛ أي حدوث الطور).
- ويعود ذلك إلى أحد العوامل المنضدة، أو أكثر، في منهجية اختيار الحقول؛ وخاصة إلى عوامل تضاريسية من ارتفاع وبعُد عن سطح البحر ثم إلى نظام الزراعة وإلى العوامل المناخية (أمطار وحرارة) في وجود ذاك التباين وبدرجة تالية إلى الخط الجغرافي وبقية العوامل من زراعية (كالأنصاف، وموعد زراعة، ومعاملات وتسميد وخدمة بعد الزراعة).
- تباين توقيت طور النضج اللبني - الشمعي من منطقة إلى أخرى في سوريا.

- وجود زمن فاصل فيما بين النضج اللبني - الشمعي حتى النضج التام وموعد الحصاد.
- يؤدي التوقيت المبكر إلى حدوث النضج اللبني - الشمعي إلى نضج تام مبكر أيضاً.

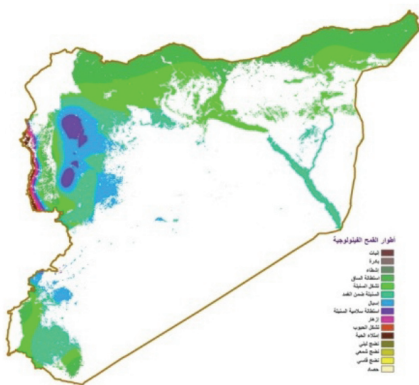
3-4 خرائط أطوار القمح في سوريا

1-3-4 خرائط الزمكان لأطوار القمح من البيانات الحقلية بنظم المعلومات الجغرافية في سوريا

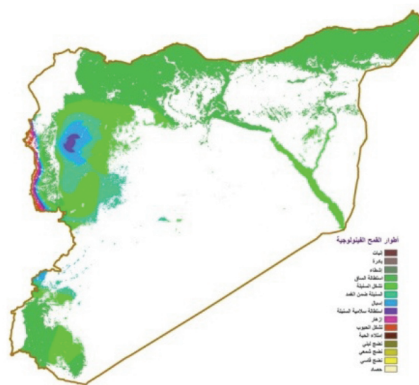
اعتماداً على البيانات المستمرة بنقاط المراقبة الحقلية لتقويم أطوار القمح في حقول التسجيل الموزعة؛ فإن الجدول (2) يوضح أن عدد الأطوار الفينولوجية المتزامنة قد بلغ 2-6 أطوار حسب المنطقة، حيث سُجل أقصاها أوائل أبريل على كافة الأراضي السورية، وفق عدد الأطوار الاثني عشر المسجلة لكامل حياة المحصول.

كما تم بالاعتماد على تحليل بيانات الجدول (2) التوصل إلى خرائط الزمكان لأطوار القمح على مستوى سوريا، بالاستعانة بنظم المعلومات الجغرافية في عملية التحليل المكاني (spatial interpolation) أسبوعياً، اعتباراً من بداية العام حتى النضج والحصاد، حيث تم عرض خرائط التحليل المكاني اعتباراً من مارس فقط (لكفاية المعروض في عملية الاستدلال وخفض حجم الخرائط المعروضة في البحث) في الشكل (17). إذ سيتم استخدام بياناتها في توثيق الخرائط المستنبطة من البيانات الطيفية والفضائية.

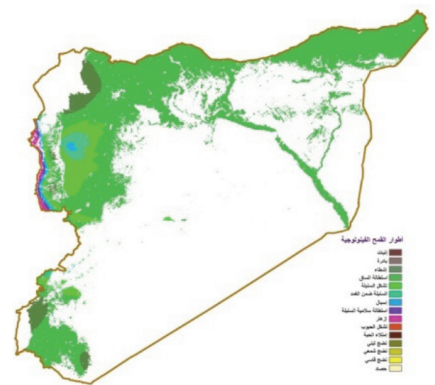
الجدول 2. تقويم أطوار القمح في موسم 2014 المسجلة في المواقع المختارة من سوريا.

[illegible]

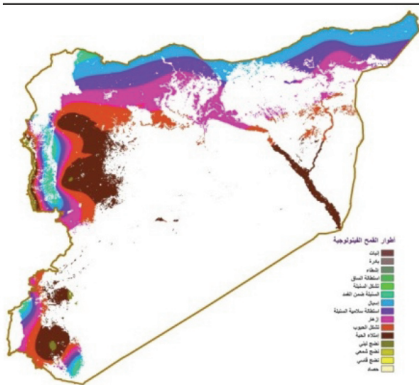
الأسبوع الثالث من مارس



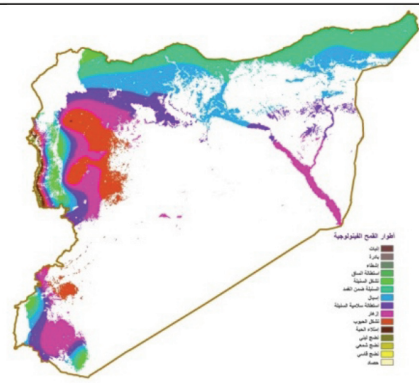
الأسبوع الثاني من مارس



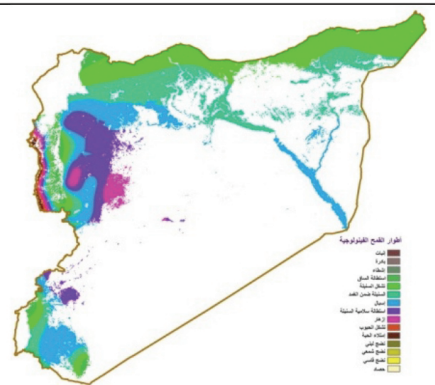
الأسبوع الأول من مارس



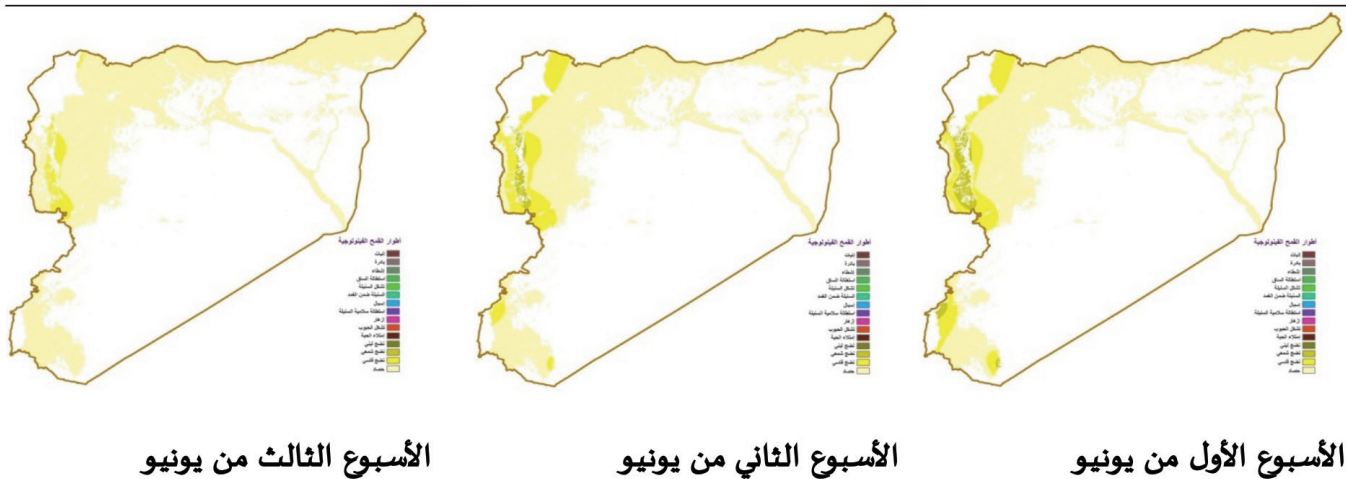
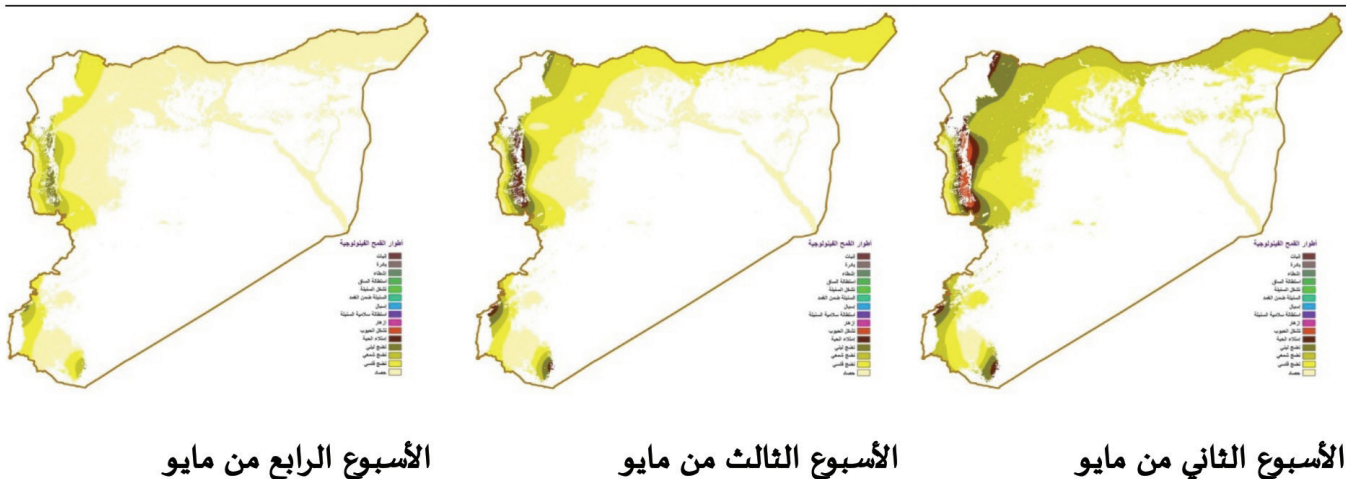
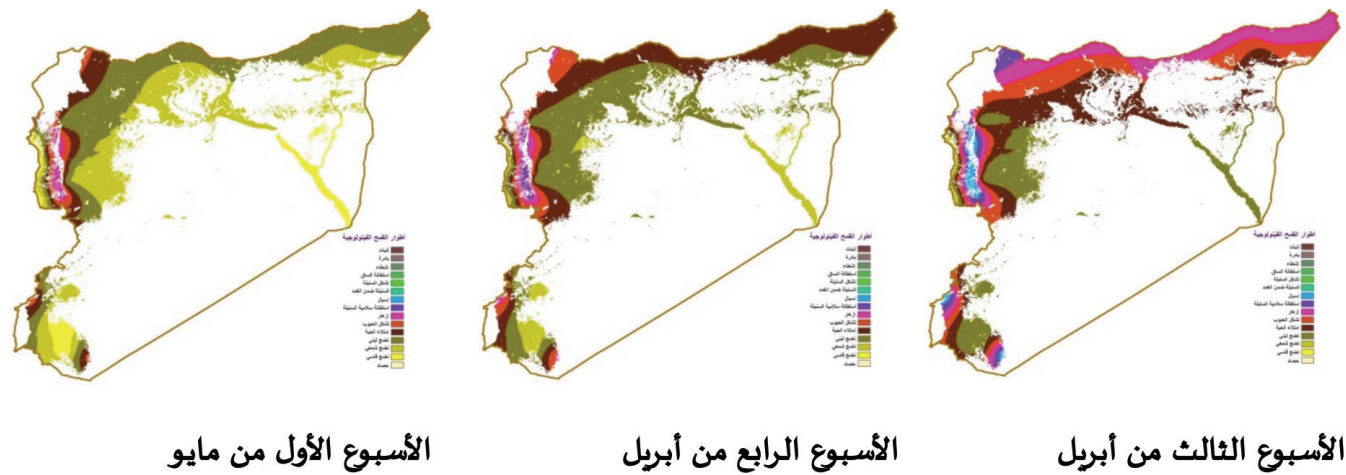
الأسبوع الثاني من أبريل



الأسبوع الأول من أبريل



الأسبوع الرابع من مارس



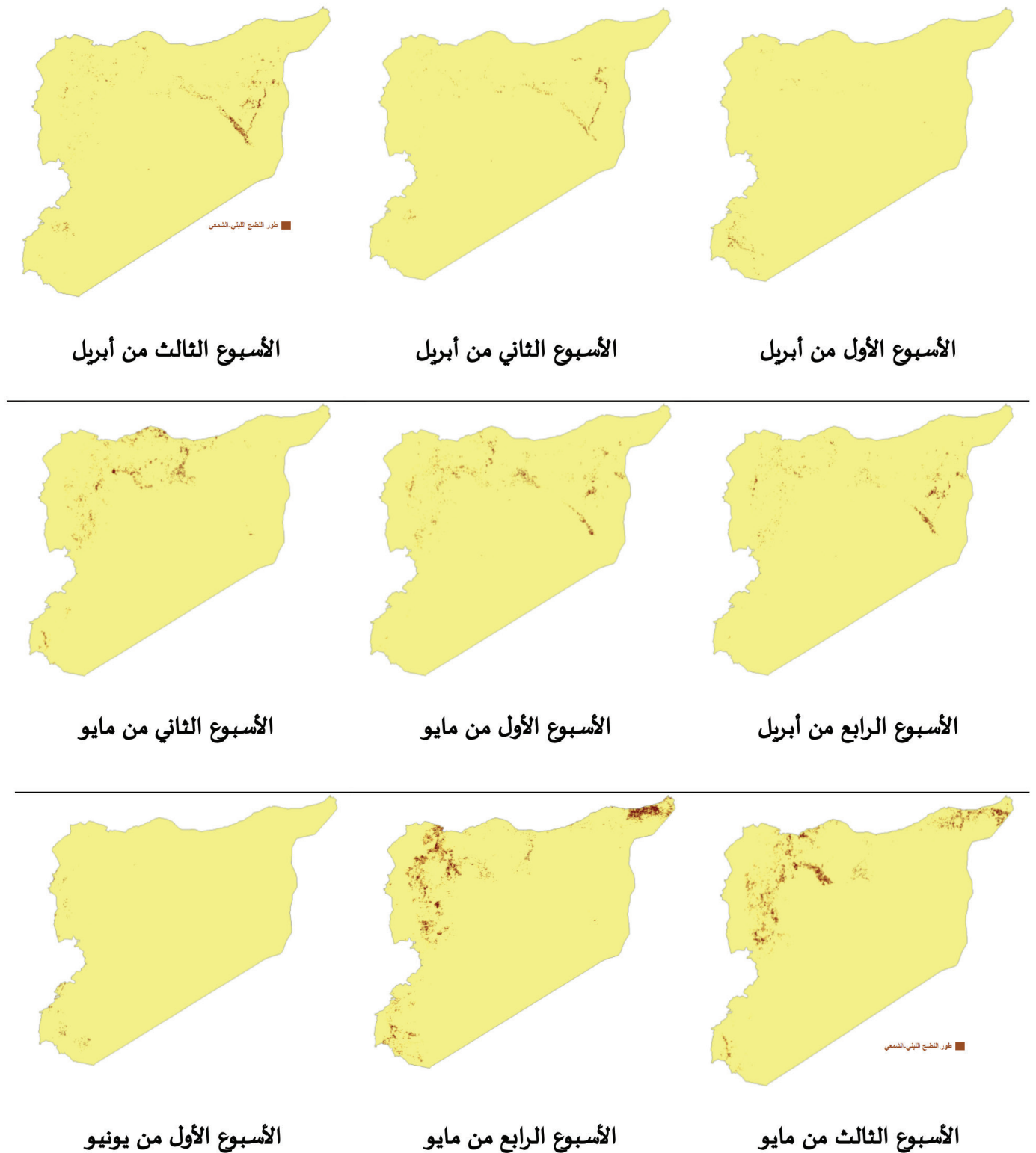
الشكل 17. خرائط الزمكان لأطوار القمح بالتحليل المكاني المحلي في موسم 2014 في سوريا.

4-3-2 خرائط الزمكان لطور النضج اللبني - الشمعي للقمح من الصور الفضائية في سوريا

- بناءً على:
- الأسس المستنبطة في مراقبة الأطوار الفينولوجية طيفياً حسب العوامل المهندسة في المنهجية التي تحيط بجغرافية نمو القمح على كامل الأراضي السورية، واعتباراً من المستوى الطيفي المحلي حتى الصور الفضائية.
- الاستعانة بنقاط المراقبة الحقلية لأطوار القمح الفينولوجية في حقول التسجيل الموزعة.
- مطابقتها على تاريخ التقاط الصور الفضائية.
- اعتماد أن الأساس هو رصد نهاية طور النضج اللبني وبداية طور النضج الشمعي طيفياً على الصور الفضائية؛ أي بداية دخول محصول القمح في أطوار النضج المختلفة من اللبني إلى الشمعي، وذلك قبل عملية الحصاد بفترة جيدة نسبياً مقارنة بطول موسم النمو بدليل الموقع الجغرافي.

تم التوصل إلى خرائط الزمكاف لأطوار النضج اللبني - الشمعي للقمح على مستوى سوريا من بيانات الصور الفضائية حسب التكرارية الزمنية (التي تم توثيقها ببيانات الاستمارات الحقلية في صورة خرائط التحليل المكاني في

الفقرة السابقة). ويبين الشكل (18) خرائط الزمكاف لأطوار النضج اللبني - الشمعي للقمح من بيانات الصور الفضائية في موسم 2014 على مستوى سوريا.



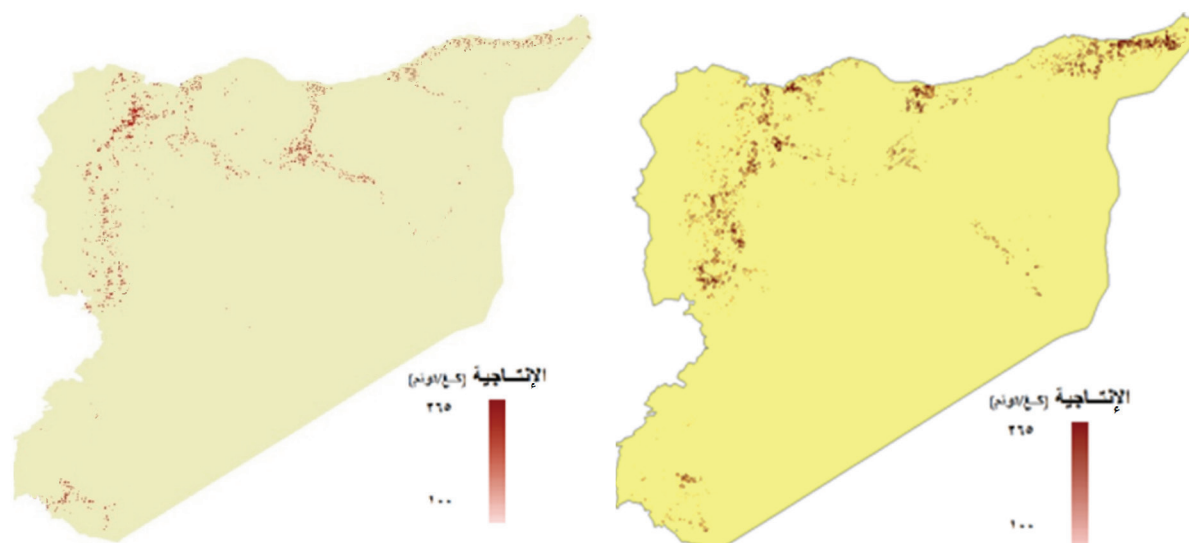
الشكل 18. خرائط الزمكاف لطور النضج اللبني - الشمعي للقمح في سوريا من بيانات الصور الفضائية في موسم 2014.

(SWYP) على بيانات خرائط الزمكاف (الشكل 18)، كما يبين الشكل (19) التوزع الجغرافي لإنتاجية القمح المقدرة في موسمي 2014 و2016 من بيانات الصور الفضائية في سوريا.

يبين الجدول (3) البيانات الإحصائية الرقمية للصور الفضائية التي أدت إلى رسم توزع تلك الخرائط الفينولوجية، حيث تم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية باستخدام نموذج «التنبؤ بإنتاج القمح طيفياً»

الجدول 3. مساحة وإنتاج القمح حسب توقيت طور النضج اللبني - الشمعي في موسمي 2014 و2016.

طور النضج اللبني - الشمعي	2014	2016	الإنتاج المتوقع (طن)	المساحة المقدرة (هكتار)	الإنتاج المتوقع (طن)
4/7-1	16752	5653	15077	5992	
4/15-8	59818	25013	53836	26513	
4/22-16	209808	238648	188827	252966	
4/30-23	280908	515006	252817	545906	
5/7-1	226366	473098	203729	501484	
5/15-8	135300	242413	121770	256957	
5/23-16	101048	187574	90943	198828	
5/31-24	55342	73054	49808	77437	
6/7-1	38628	48925	34765	51861	



موسم 2016

موسم 2014

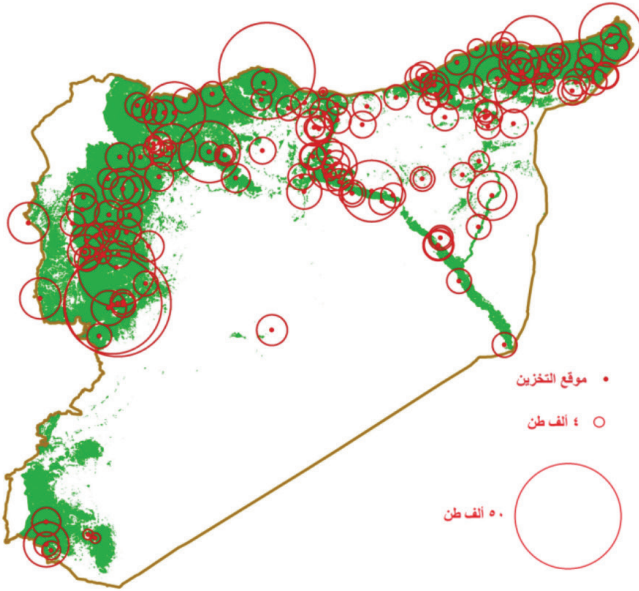
الشكل 19. خريطة إنتاجية القمح من بيانات الصور الفضائية موسمي 2014 و2016 في سوريا.

بلغ 36 صومعة ذات طاقة تخزينية تصل إلى 2.249 مليون طن. في حين يبين الشكل (-20ب) أماكن وجود صوامع التخزين ذات السعة التخزينية لـ 50 ألف طن إلى أقل من ذلك، وهي عبارة عن صوامع معدنية ومستودعات تخزين أو بالأكياس المغطاة أحياناً بعدد أماكن بلغ 161 موقعاً ذات طاقة تخزينية لحوالي 3.985 ملايين طن.

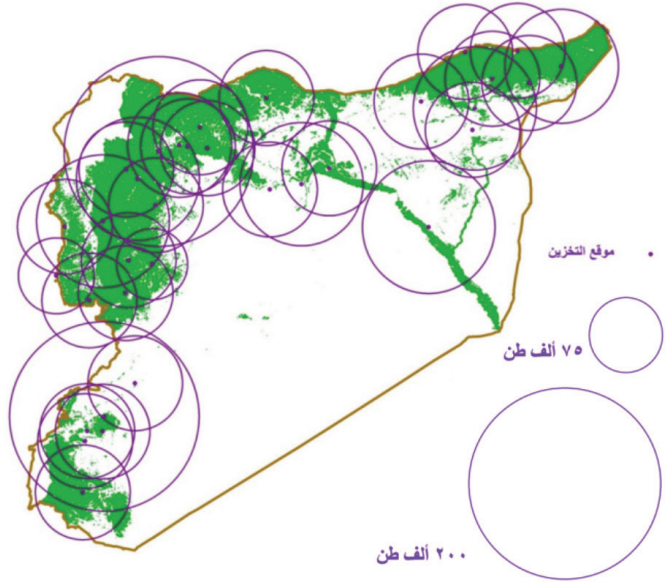
حيث يُمكن هذا التقدير الرقمي الكمي المكاني لحجم الإنتاج وتوقيته خلال أطوار النضج من تحديد الأرقام الإحصائية الإنتاجية ومكان صدورها في عملية إدارة الإنتاج.

4-5 أماكن وحجم تخزين القمح

يبين الشكل (-20أ) أماكن وجود صوامع تخزين الحبوب في سوريا ذات السعة التخزينية لـ 75 ألف طن فأكثر، وهي عبارة عن صوامع إسمنتية بعدد



ب. أماكن تخزين الحبوب ذات السعة التخزينية لـ 50 ألف طن فأقل.



أ. صوامع الحبوب ذات السعة التخزينية لـ 75 ألف طن فأكثر.

الشكل 20. خرائط انتشار صوامع وأماكن تخزين الحبوب في سوريا.

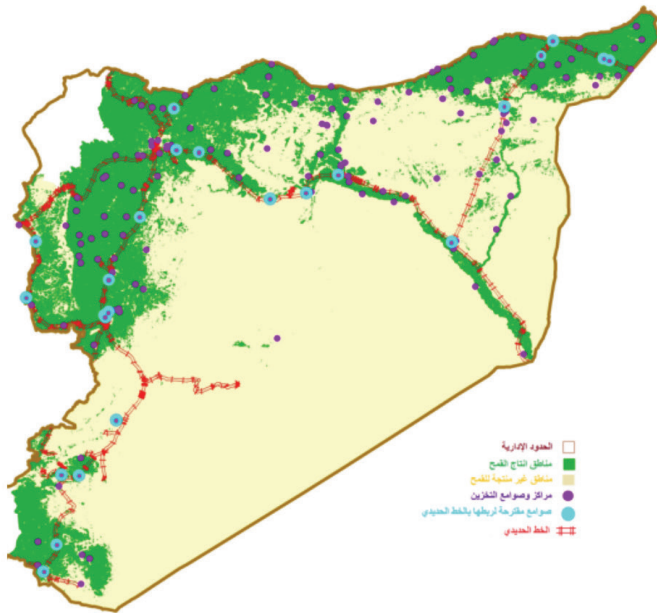
- التركيز على وجود صوامع الحجم التخزيني الكبير بشكل مناسب حول التجمعات السكانية الكبيرة كدمشق، من دون وجود صوامع الحجم التخزيني المتوسط؛ لعدم وجود مناطق إنتاج حولها.

4-6 شبكة المواصلات وأماكن التخزين مقابل مناطق إنتاج القمح

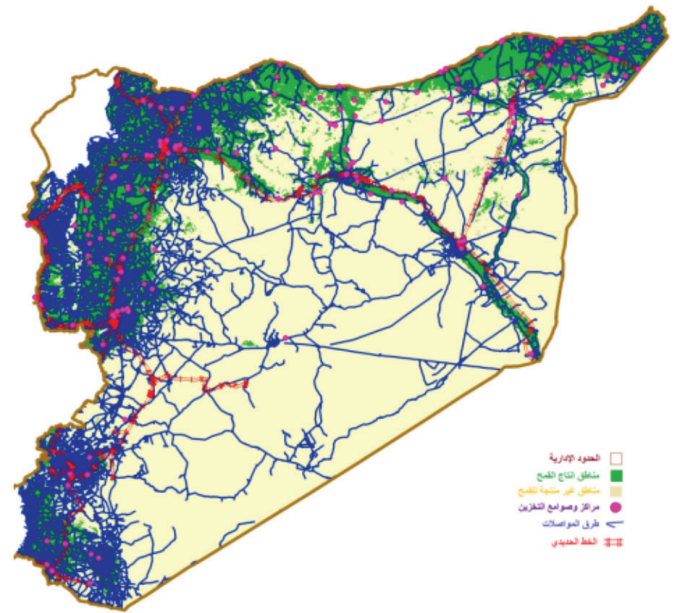
يبين الشكل (21) شبكة طرق المواصلات والخطوط الحديدية مع أماكن تخزين الحبوب في مناطق إنتاج القمح وغيرها في سوريا، بما يسمح بدراسة ومعرفة درجة العلاقة ومدى الخدمة المنفذة في مناطق الإنتاج، ومع مراكز الاستلام، إلى مناطق الاستهلاك. ويتضح أن شبكة المواصلات تخدم مناطق الإنتاج ومراكز التخزين بسويات مختلفة؛ من طرق رئيسة إلى فرعية، بما يؤثر في الحمولات الحبيبة المنقولة ومدى استلامها المباشر ومكوئها، وبما يؤثر أيضاً في كمية الفاقد خلال عملية النقل خاصة، حسب طبيعة وسيلة النقل ودرجة ملاءمتها.

يتضح من الشكل (22) أيضاً درجة تخدم الخطوط الحديدية لمناطق الإنتاج، والتي يجب أن تشترك بنسب أعلى مع طرق المواصلات في عملية نقل المنتج إلى مناطق الاستهلاك، ولا سيما أن طرق النقل بالخطوط الحديدية تقلل مقدار الفقد إلى أكثر من النصف عن النقل بطرق المواصلات الطرقية.²⁹

- قارب الحجم التخزيني الكلي المنتشر في سوريا حوالي 6.234 ملايين طن، ويأخذ جزء منها، وخاصة التخزين في الصوامع الإسمنتية، صفة التخزين الاستراتيجي لعدة سنوات، وليس التخزين المباشر من حقول الإنتاج.
- قد لا تفي الطاقة التخزينية المتبقية (3.985 ملايين طن) لتخزين الإنتاج السنوي المقدّر حقلًا مباشرة (خاصة السنوات الوفيرة)، مما يضطر معه إلى التخزين بالأكياس المغطاة بجانب المستودعات والصوامع.
- لذا، لا بد من زيادة الحجم الصومعي ذي الاستيعاب التخزيني في الفئة الأقل من 75 ألف طن بالقرب من حقول الإنتاج مع زيادة الحجم التخزيني الصومعي المستدام ذي الصفة الاستراتيجية (100 ألف طن فأكثر) بالقرب من أماكن التصنيع والاستهلاك حول التجمعات السكانية والمدن الكبرى.
- لوحظ غياب الصوامع ذات الحجم التخزيني الكبير حول العديد من المناطق ذات الكثافة السكانية العالية كطرطوس، واللاذقية، ودرعا، والقنيطرة والسويداء (إن وجد في بعضها واحدة، فهي مخصصة للتصدير) وذلك مرتبط بحجم الإنتاج في تلك المحافظات.
- بينما لوحظ عدم كفاية الصوامع ذات الحجم التخزيني الكبير حول التجمعات السكانية الأخرى، كدير الزور والرقّة وإدلب، رغم حجم الإنتاج الكبير في هذه المحافظات.



الشكل 22. خريطة أماكن تخزين الحبوب التي يمكن أن تنقل بالقطار في سوريا.

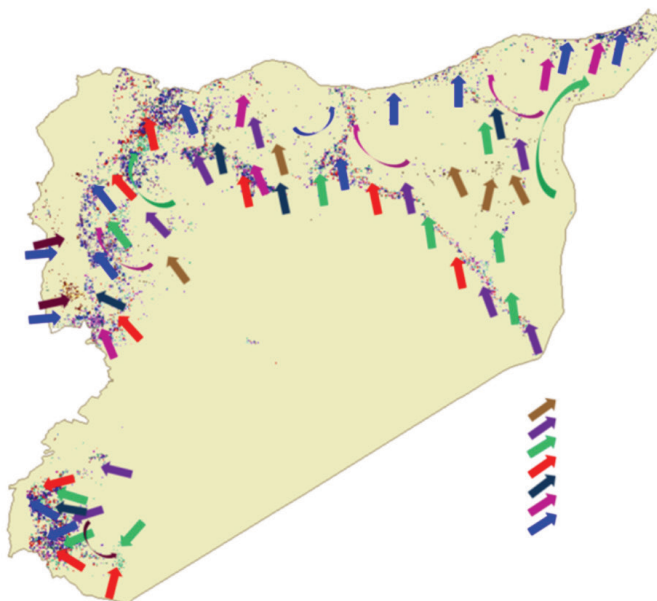


الشكل 21. شبكة طرق المواصلات والخطوط الحديدية مع أماكن تخزين الحبوب في مناطق إنتاج القمح في سوريا.

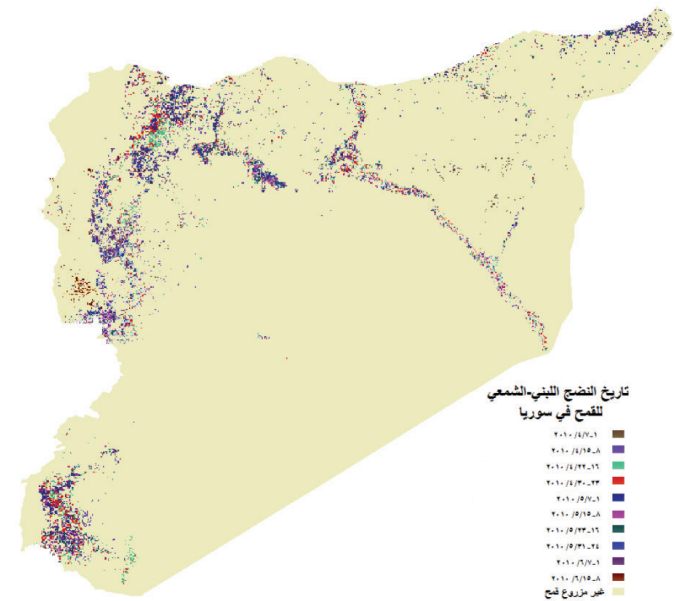
4-7 التخطيط والإدارة للعملية الإنتاجية

يوضح تحليل خرائط النضج اللبني - الشمعي للقمح (الشكل 18) على المستوى التجميعي، من ناحية تغيرات توقيت النضج الفينولوجي (الشكل 23)، وحركية توزيعه وانتشاره الجغرافي على مستوى البلاد (الشكل 24). وبناءً على كل من التحليل الزمني والمكاني للبصمة الطيفية لخرائط النضج اللبني - الشمعي للقمح (الشكلان 23 و 24) مع الرقم الإحصائي للمساحة والإنتاج (الجدول 3) يمكن بيان ما يلي:

يُبين التحليل المكاني للبيانات المنضدة في الشكل (22) أن هناك مراكز تخزين صومعية تقع بجانب الخطوط الحديدية لكنها غير مخدمة بعملية النقل بالقطار من مناطق الإنتاج إلى الاستهلاك، حيث تُراوح المسافة بين بعض الصوامع الموجودة والخطوط الحديدية القريبة من عدة مئات أمتار إلى حوالي 12 كيلومتراً؛ وبناءً عليه، يمكن اقتراح القيام بالنقل عبر القطارات من الصوامع القريبة، وذلك على مرحلتين: الأولى لمسافة تقل عن 3 كم وعددها 10 صوامع بحجم تخزيني يصل إلى مليون طن، ثم المرحلة الثانية لمسافة تصل إلى 12 كم وعددها 8 صوامع بحجم تخزيني يصل إلى مليون طن أيضاً. ويقدر ذاك التوفير بحوالي 0.16% من كمية الإنتاج المخزنة في مراكز التخزين فقط عند إجراء عملية النقل بالقطار لبعض مراكز الصوامع القريبة من خط القطار.



الشكل 24. مخطط حركية طور النضج اللبني-الشمعي للقمح في سوريا.



الشكل 23. خريطة تواريخ طور النضج اللبني-الشمعي للقمح في سوريا.

6- الخاتمة

تمت مراقبة حركية أطوار نمو القمح من البيانات الطيفية وفق علاقة الزمكاف (الزمن - مكان - طيف) بصور فضائية عالية الدقة المكانية (Sentinel-2)، من أجل تقدير إنتاجية القمح في إدارة العملية الإنتاجية لمحصول القمح على مستوى البلاد. ووجد أن أعداد الأطوار الفينولوجية المسجلة بتوقيت واحد في كافة أنحاء البلاد متباينة، وذلك لاختلاف المكان الجغرافي و/أو الطوبوغرافي و/أو نظم الزراعة؛ ووصل عدد هذه الأطوار إلى ستة مع بداية أبريل. وقد تم تحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي طيفياً لكل نطاق جغرافي لكافة أنحاء البلاد، ثم تقدير مساحة وإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية وفق مسارات النضج تلك خلال موسمي 2014 و2016. ويوصى بضرورة تقدير كمية الإنتاج مبكراً، وتنظيم عمليات الحصاد وفق مسارات النضج، مع ضرورة زيادة حجم الاستيعاب التخزين المباشر بالقرب من مناطق الإنتاج، والاهتمام بتأمين نقله بوسائل نقل متقدمة تقلل من كمية الفقد وصولاً إلى أماكن التخزين الاستراتيجي، ومواكبة زيادة حجمها وعددها في مناطق الاستهلاك وخاصة تلك التي لا يوجد بها مواقع تخزين كبعض المدن الكبرى.

شكر

كل الشكر للهيئة العليا للبحث العلمي على تمويل هذا البحث ضمن مشروع «تقنيات الاستشعار عن بعد في مراقبة أطوار القمح الفينولوجية لإدارة العملية الإنتاجية في سوريا» والمنفذ بالتعاون بين الهيئة العليا للبحث العلمي والهيئة العامة للاستشعار عن بعد.

المراجع

- 1 المنظمة العربية للتنمية الزراعية. الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية. 2016؛ مجلد 36. الخرطوم، السودان. <http://www.aoad.org/statbook36.pdf>
- 2 المجموعات الاحصائية الزراعية، 2002-2016. وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سوريا.
3. Sakamoto T, Yokozawa M, Toritani H, Shibayama M, Ishitsuka N, Ohno H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. Remote Sens Environ [Internet]. 2005 Jun 30;96(3-4):366-74. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425705001057>
4. Huang J, Ma H, Su W, Zhang X, Huang Y, Fan J, et al. Jointly Assimilating MODIS LAI and ET Products Into the SWAP Model for Winter Wheat Yield Estimation. IEEE J Sel Top Appl Earth Obs Remote Sens [Internet]. 2015 Aug;8(8):4060-71. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7063257/>
5. Onojeghuo AO, Blackburn GA, Wang Q, Atkinson PM, Kindred D, Miao Y. Rice crop phenology mapping at high spatial and temporal resolution using downscaled MODIS time-series. GIScience Remote Sens [Internet]. 2018 Sep 3;55(5):659-77. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15481603.2018.1423725>
6. Peng D, Huete AR, Huang J, Wang F, Sun H. Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data. Int J Appl Earth Obs Geoinf [Internet]. 2011 Feb;13(1):13-23. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0303243410000656>

- يترافق نضج القمح المبكر مع مناطق الزراعة البعلية، وخاصة بالتقارب مع انتشار مناطق الاستقرار الثانية والثالثة في مساحات متفرقة وغير مركزة في نطاق محدد خلال النصف الثاني من أبريل.
- يبدأ تتابع النضج الزمني كسمة مميزة لفترات متقاربة في داخل البلاد اعتباراً من الجنوب في اتجاه الشمال ومن المناطق السهلية في اتجاه الجبلية.
- تداخل بعض المناطق فيما بين أطوار النضج المختلفة الناتجة من الاختلاف في موعد الزراعة، الذي وإن اختلف لا يخرجها عن السمة العامة لتوقيت الحصاد في تلك المنطقة، علماً أن هذا الاختلاف الطفيف في المنطقة الواحدة مهم جداً ومفيد في خدمة العملية الإنتاجية، لإمكانية تتالي عملية الحصاد من قبل الحصادات (والعماله مع وسائل الخدمة المرافقة) فيما بين الحقول وتجنب فرط الحبوب على السنابل إذا ما نضجت وتأخرت عملية الحصاد عن موعدها.
- تكون آخر أماكن يُسجل فيها النضج في المناطق الجبلية المرتفعة ذات المساحات القليلة، وعلى نحو يصعب فيها استخدام الآلات الكبيرة التي تستخدم في المساحات الواسعة.
- ومن ثم، تُمكن الخرائط الموضوعة في الأشكال (19-24) مع الجدول (3) في عملية إدارة العملية الإنتاجية من:
 - تقدير مساحة وإنتاج القمح في مراحل النضج المبكر لكل منطقة.
 - توجيه عملية الحصاد في حينها بقدر مساحة وطاقة الإنتاج إلى المناطق ذات النضج المبكر، ثم تتبعها لمسار النضج - كما تحدده خرائط التطور الفينولوجي والنضج - في عملية الحصاد والتسويق والتخزين.
 - تجهيز وسائل النقل المناسبة في أماكن الإنتاج بموعدها.
 - تجهيز الصوامع بالطاقة التخزينية الكافية لاستيعاب حجم الإنتاج المتوقع، آخذين في الحسبان وجود كمية مخزنة فائضة من عام سابق من عدمه؛ لحساب الكم الممكن استيعابه.
 - تحديد المناطق التي تدخل في مرحلة الحصاد معاً للتنسيق الأمثل فيما بينها، وتحديد توجيه عملية الحصاد إلى المناطق ذات الأولوية من حيث درجة الضرر والفقد بعد النضج، وكذلك لتوجيه الإنتاج المحصود منها إلى أماكن التخزين المناسبة التي قد تكون متقاربة.

5- المقترحات

- حسبما تقرر في النتائج البحثية لإدارة العملية الإنتاجية للقمح في سوريا من خلال مراقبة الأطوار الفينولوجية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد؛ يُقترح ما يلي:
- مراقبة أطوار نمو القمح باستخدام الاستشعار عن بعد على مستوى البلاد، نظراً إلى تسجيل عدد كبير من أطوار النمو (الفينولوجية) المتباينة في التوقيت نفسه.
 - تحديد توقيت النضج اللبني - الشمعي بما يحدد معه توقيت الحصاد.
 - استخدام الاستشعار عن بعد في تتبع أماكن ومسار النضج الزمني لتوجيه عملية إدارة الإنتاج.
 - تقدير مساحة وإنتاج القمح في مراحل النضج المبكر لكل منطقة.
 - ضرورة زيادة الحجم الصومعي ذي الاستيعاب التخزيني في الفئة الأقل من 75 ألف طن بالقرب من حقول الإنتاج، مع زيادة الحجم التخزيني الصومعي المستدام ذي الصفة الاستراتيجية (100 ألف طن فأكثر) بالقرب من أماكن التصنيع والاستهلاك.
 - الاتجاه إلى رفع الطاقة التخزينية الدائمة بحالة الصوامع، وليس التخزين بطرق مرحلية لما يحصل من فقد كبير أثناء النقل والتخزين.

7. Araya S, Ostendorf B, Lyle G, Lewis M. Remote Sensing Derived Phenological Metrics to Assess the Spatio-Temporal Growth Variability in Cropping Fields. *Adv Remote Sens* [Internet]. 2017;06(03):212–28. Available from: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ars.2017.63016>
8. Huang Y, Lu L. Monitoring Winter Wheat Phenology Using Time Series of Remote Sensing Data. In: 2009 Second International Conference on Information and Computing Science [Internet]. IEEE; 2009. p. 135–8. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5169558/>
9. Yan F, Shi P, Wu J, Wang Y. Study on Phenology Character of Winter Wheat by Modis-Evi Data in Hebei China. In: IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium [Internet]. IEEE; 2008. p. I-327–I-330. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4778860/>
10. Zhang M, Fan J, Zhu X, Li G, Zhang Y. Monitoring winter-wheat phenology in North China using time-series MODIS EVI. In: Neale CMU, Maltese A, editors. 2009. p. 747227. Available from: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.829972>
11. Kalubarme MH, Potdar MB, Manjunath KR, Mahey RK, Siddhu SS. Growth profile based crop yield models: A case study of large area wheat yield modelling and its extendibility using atmospheric corrected NOAA AVHRR data. *Int J Remote Sens* [Internet]. 2003 Jan 26;24(10):2037–54. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160210156018>
12. Sehgal V.K.; D.R. Rajak; K.N. Chaudhary; V.K. Dadhwal. Improved Regional Yield Prediction by Crop Growth Monitoring System Using Remote Sensing Derived Crop Phenology. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2002; 34 (7): 329–334.
13. Huang J, Sedano F, Huang Y, Ma H, Li X, Liang S, et al. Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Agric For Meteorol* [Internet]. 2016 Jan;216:188–202. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168192315007480>
14. Chen Y, Zhang Z, Tao F. Improving regional winter wheat yield estimation through assimilation of phenology and leaf area index from remote sensing data. *Eur J Agron* [Internet]. 2018 Nov;101:163–73. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030118305306>
15. Huang J, Ma H, Sedano F, Lewis P, Liang S, Wu Q, et al. Evaluation of regional estimates of winter wheat yield by assimilating three remotely sensed reflectance datasets into the coupled WOFOST–PROSAIL model. *Eur J Agron* [Internet]. 2019 Jan;102:1–13. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030118306300>
16. Skakun S, Vermote E, Franch B, Roger J-C, Kussul N, Ju J, et al. Winter Wheat Yield Assessment from Landsat 8 and Sentinel-2 Data: Incorporating Surface Reflectance, Through Phenological Fitting, into Regression Yield Models. *Remote Sens* [Internet]. 2019 Jul 27;11(15):1768. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/15/1768>
17. Nasrallah A, Baghdadi N, Mhawej M, Faour G, Darwish T, Belhouchette H, et al. A Novel Approach for Mapping Wheat Areas Using High Resolution Sentinel-2 Images. *Sensors* [Internet]. 2018 Jun 29;18(7):2089. Available from: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/7/2089>
18. Nasrallah A, Baghdadi N, El Hajj M, Darwish T, Belhouchette H, Faour G, et al. Sentinel-1 Data for Winter Wheat Phenology Monitoring and Mapping. *Remote Sens* [Internet]. 2019 Sep 25;11(19):2228. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/19/2228>
19. Zhang H, Du H, Zhang C, Zhang L. An automated early-season method to map winter wheat using time-series Sentinel-2 data: A case study of Shandong, China. *Comput Electron Agric* [Internet]. 2021 Mar;182:105962. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105962>
20. Jaafar H, Mourad R. GYMEE: A Global Field-Scale Crop Yield and ET Mapper in Google Earth Engine Based on Landsat, Weather, and Soil Data. *Remote Sens* [Internet]. 2021 Feb 20;13(4):773. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/4/773>
21. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة. حالة الأمن الغذائي والتغذية في العالم: بناء القدرة على الصمود لتحقيق السلام والأمن الغذائي. 2017. روما، إيطاليا. <http://www.fao.org/publications/card/ar/c/I7695>
22. الجهوي، مصطفى سيد أحمد. الفاقد لأهم السلع الزراعية الغذائية في جمهورية مصر العربية، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، جامعة الدول العربية. 1995. الخرطوم، السودان.
23. المنظمة العربية للتنمية الزراعية. دراسة الفاقد الناتج عن الحصاد الآلي للحبوب (القمح) في الوطن العربي. 1992. الخرطوم، السودان. <https://bit.ly/3tmCUa4>
24. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء. اعداد مختلفة، 2016. القاهرة، مصر.
25. محمود، ممدوح السيد ومحمد، جيهان عبد المعز. دراسة اقتصادية لأثر الممارسات الزراعية على الفاقد لمحصول القمح في محافظة سوهاج. مجلة أسبوط للعلوم الزراعية. 2017; 48 (4). مصر. https://ajas.journals.ekb.eg/article_5533_a79390f71a3452e813f8c2dd13627903.pdf
26. نعمه، علاء علي عبد السلام. دراسة تحليلية للفاقد في محصول القمح من المنتج حتى المستهلك النهائي في محافظة الشرقية. المجلة المصرية للبحوث الزراعية. 2016. 94 (1). القاهرة، مصر. https://ejar.journals.ekb.eg/article_151820_1e4eafcb22e30fc8fec66475cca2d282.pdf
27. Vocke G. and Ali M. U.S. Wheat Production Practices, Costs, and Yields: Variations Across Regions. United States Department of Agriculture. Economic Research Service Economic Information Bulletin Number 116 August 2013. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/43783/39923_eib116.pdf
28. Bartholomeu DB, da Rocha FV, Péra TG, Caixeta-Filho JV. Postharvest losses in the wheat logistics chain: A Brazilian case study. *J Agric Sci Technol B* [Internet]. 2016 May 28;6(5). DOI:10.17265/2161-6264/2016.05.005. Available from: https://www.researchgate.net/publication/317951512_Postharvest_Losses_in_the_Wheat_Logistics_Chain_A_Brazilian_Case_Study
29. Prater M, Sparger A, Bahizi P, O'Neil, Jr. D. Rail's loss of grain transportation market share. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Marketing Service, December 2013. [Internet]. Available from: http://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Rail's_Loss_of_Grain_Transportation_Market_Share.pdf
30. إبراهيم، ناصر. تصميم ونمذجة خوارزميات التنبؤ الطيفي بإنتاج القمح من بيانات الصور الفضائية متعددة الأطياف متعددة المراحل. الاستشعار عن بعد. 2014؛ العدد 26: 1-26. دمشق، سوريا.