


## Rain-Fed Wheat Area Mapping Using MODIS and Landsat Images (Case Study: Ahar City)

Amir Hossen Nazemi.<sup>1\*</sup>, Hamed Sabzchi Dehkharghani.<sup>2</sup>, Ali Ashrafi Sadraddini.<sup>1</sup>, Abolfazl Majnooni Haris.<sup>3</sup> 

1. Prof., Dep. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Ph.D. Candidate in Irrigation and Drainage Engineering, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Associate Prof., Dep. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

### Abstract

Application of the remote sensing methods in crop area mapping on a large spatiotemporal scale serves as an alternative to costly time-consuming field data gathering methods. So far, some methods have been developed for wheat and rice area mapping using the images from optical and radar sensors. Some of these methods are appropriate for humid climates with several cloudy days, while others use complex processes in terms of combining both optics and radar images. Meanwhile, methods based on the unique variation of the vegetation index time series belongs to each crop are relatively simple methods that can be used for crop area mapping. The objective of this study is to improve one of the proposed methods for rain-fed wheat area mapping, in which a step-by-step elimination algorithm of non-wheat pixels was applied to MODIS images. The Improved algorithm took advantage of both MODIS and Landsat Images in terms of their high temporal and high spatial resolutions, respectively. The mentioned process could detect rain-fed wheat areas from the pastures and heterogeneous areas with higher accuracy in comparison with the previous algorithm. The overall accuracy, Kapa index, and F1 score for the final rain-fed wheat map was 92.5%, 0.67, and 0.71 respectively.

**Keywords:** Crop area mapping, Vegetation Index, Rain-fed wheat, MODIS, Landsat.

\* Correspondence Address: Dep. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz. Postal Code: 5166616471. Tel: (+98)9144135797, (+98)9143135281.

Email: nazemi@tabrizu.ac.ir

https://doi.org/10.52547/gisj.12.4.19



نسخ از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۹  
Vol.12, No. 4, Winter 2021 Iranian Remote Sensing & GIS

۱۹-۳۴

مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی اراضی گندم دیم با استفاده از تصاویر مادیس و لندست (مطالعه موردی: شهرستان اهر)

- امیرحسین ناظمی<sup>۱\*</sup>، حامد سبزیجی دهخوارقانی<sup>۲</sup>، علی اشرف صدرالدینی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مجنونی هریس<sup>۳</sup>
۱. استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
  ۲. دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
  ۳. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۷

### چکیده

توسعه روش‌های سنجش از دور در پهنه‌بندی اراضی زیر کشت محصولات کشاورزی در مقیاس گسترده مکانی و زمانی، به صورت جایگزین شیوه‌های پرهزینه و زمان‌بر جمع‌آوری آمار میدانی، در حال گسترش است. تا کنون، روش‌هایی برای شناسایی اراضی زراعی، با استفاده از تصاویر سنجنده‌های اپتیک و راداری، مطرح شده است. برخی از این روش‌ها، با تأکید بر فرایندهای حذف پیکسل‌های ابری، مناسب اقلیم مرطوب با روزهای متعدد ابرناکی هستند و برخی دیگر، به دلیل روش به کاررفته در آنها به منظور ترکیب تصاویر هر دو سیستم اپتیک و راداری، پیچیده‌گی‌های خاص خود را دارند. در این میان، روش‌های مبتنی بر استفاده از ویژگی‌های منحصربه‌فرد سری زمانی شاخص گیاهی هریک از محصولات زراعی فرایند نسبتاً ساده‌تری در پهنه‌بندی اراضی زراعی دارد. هدف از این پژوهش بهبود یکی از روش‌های مطرح‌شده برای تفکیک اراضی زیر کشت گندم دیم است که در آن از الگوریتم حذف گام‌به‌گام پیکسل‌های غیرگندم و تصاویر سنجنده مادیس استفاده شده بود. برای بهبود الگوریتم مذکور، طی فرایندی، از قدرت تفکیک زمانی تصاویر سنجنده مادیس و قدرت تفکیک مکانی تصاویر ماهواره لندست ۸ بهره گرفته شد. فرایند جدید، ضمن رفع نقاط ضعف الگوریتم سابق در تشخیص مراتع و اراضی غیرگندم از اراضی گندم دیم، به خصوص در پیکسل‌های ناهمگن، موجب افزایش دقت این الگوریتم در پهنه‌بندی اراضی گندم دیم شد؛ به طوری که روش مطرح‌شده توانست با مقادیر صحت کلی، شاخص کاپا و F1 به ترتیب برابر با ۰.۹۲۵، ۰.۶۷ و ۰.۷۱، با دقت قابل قبولی، سطوح زیر کشت گندم دیم را تفکیک کند.

**کلیدواژه‌ها:** پهنه‌بندی، شاخص گیاهی، گندم دیم، مادیس، لندست.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، کدپستی: ۵۱۶۶۱۶۴۷۱، تلفن: ۹۱۴۳۱۳۵۲۸۱ (+۹۸) ۴۱۳۳۹۲۷۹۲ (+۹۸)

## ۱- مقدمه

روش‌های شناسایی با امواج ماکروویو، به دلیل تأثیرپذیری کمترشان از شرایط اتمسفری، در سال‌های اخیر پیشرفت چشمگیری داشته و در این میان، برای پهنه‌بندی محصولات کشاورزی، از تصاویر رادار روزنه‌ مصنوعی<sup>۱</sup> استفاده شده است (Wei et al., 2019).

پوشش‌های سنگین ابری همواره کیفیت تصاویر سنجنده‌های اپتیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند؛ بنابراین، از بین این سنجنده‌ها، مادیس مناسب به نظر می‌رسد زیرا قدرت تفکیک زمانی بالا در تولید سری زمانی شاخص‌های گیاهی دارد. از سوی دیگر، احتمال دستیابی به تصاویری با کیفیت بالا از سنجنده‌هایی همچون لندست و اسپات با دوره برگشت ۱۶ و ۲۶ روزه، در شرایط آب‌وهوایی ابری، کمتر از سنجنده مادیس است (Guan et al., 2016). همچنین، به دلیل امکان دسترسی به تصاویر روزانه و محصولات هشت‌روزه سنجنده مادیس، محققان می‌توانند از تصاویر این سنجنده برای روزهای خاصی از دوره رشد گیاهی، متناسب با اهداف تحقیق خود، استفاده کنند. باین حال، وجود پوشش ابری در تصاویر این سنجنده نیز موجب ایجاد آشفتگی در سری زمانی شاخص‌های گیاهی می‌شود و تا امروز، روش‌هایی برای حذف پیکسل‌های ابری، در این مورد، پیشنهاد شده‌اند. یکی از ساده‌ترین این روش‌ها حذف مقادیر بازتاب‌های بزرگ‌تر از ۰.۲ در باند آبی است که، بدین ترتیب، پیکسل‌های دارای پوشش ابری ضخیم شناسایی می‌شوند (Son et al., 2014). حتی پس از این مرحله، معمولاً پیکسل‌های نیمه‌ابری باقی‌مانده همچنان از ملایمت نمودار سری زمانی شاخص‌های گیاهی می‌کاهند که سایر محققان، برای رفع آن، برآزش منحنی‌های گوناگونی همچون اس - جی، لگاریتمی و گوسین را روی سری‌های زمانی مذکور، پیشنهاد داده‌اند (Guan et al., 2016).

در دهه‌های اخیر، رشد جمعیت و تقاضا برای غذای بیشتر نیازمند هم‌اندیشی تصمیم‌سازان عرصه امنیت غذایی برای اتخاذ سیاست‌های مناسب است که لزوم رهیافت به چنین تدابیری دسترسی به داده‌های مورد اطمینان است. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در این بخش، که از طریق توزیع پرسشنامه‌های آماری و یا اندازه‌گیری‌های میدانی انجام می‌گیرد، کاری زمان‌بر و پرهزینه است. در بخش گردآوری اطلاعات مربوط به سطح اراضی کشت محصولات زراعی، استفاده از روش‌های سنجش از دور در پهنه‌بندی گیاهان زراعی در مقیاس گسترده مکانی و زمانی، به‌منزله جایگزین شیوه‌های آمارگیری میدانی، در حال گسترش است (خداکرمی و سفیانیان، ۱۳۹۱). همراه با توسعه استفاده از تصاویر مادیس<sup>۱</sup>، SPOT، AVHRR، MERIS، VEGITATION و در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در مقیاس جهانی و با قدرت تفکیک مکانی پایین (Gomez et al., 2016)، از همین تصاویر برای تهیه نقشه پهنه‌بندی گیاهان زراعی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالاتر، در مقیاس منطقه‌ای، بهره‌برداری مؤثری شده است. روش‌های به‌کاررفته اغلب بر سری زمانی شاخص‌های گیاهی استوارند و از هر دو طیف اپتیک و ماکروویو در آنها استفاده شده است (Mosleh et al., 2015). تا کنون روش‌هایی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های اپتیک و راداری، برای تفکیک پهنه‌های محصولات گوناگون در اراضی کشاورزی، عرضه شده است (Guan et al., 2016; Pan et al., 2012; Son et al., 2014). سنجنده‌های مرسوم در طیف اپتیک مورد استفاده در این روش‌ها عبارت‌اند از لندست<sup>۲</sup>، اسپات<sup>۳</sup>، مادیس، RapidEye و NOAA که از آنها در تولید سری زمانی شاخص‌هایی همچون شاخص گیاهی تفاضل نرمال‌شده<sup>۴</sup>، شاخص سطح برگ<sup>۵</sup>، شاخص گیاهی بهبودیافته<sup>۶</sup> و پهنه‌بندی اراضی با روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، بهره برده شده است (Khan et al., 2018; Khan et al., 2016; Mosleh et al., 2015). توسعه

1. MODIS
2. Landsat
3. SPOT
4. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
5. Leaf Area Index (LAI)
6. Enhanced Vegetation Index (EVI)
7. Synthetic Aperture Radar (SAR)

تابع بعدی از سیگنال باقی‌مانده از کسر تابع IMF از سیگنال اصلی استخراج می‌شود. در مطالعه مورد نظر، با توجه به اینکه شدت سیگنال سومین تابع در کاربری اراضی غیربرنج کمتر از ۰.۰۵ است، این معیار برای جداسازی پیکسل‌های برنج به کار رفت. پس از تفکیک پیکسل‌های برنج، رابطه‌ای رگرسیونی بین مقادیر شاخص‌های گیاهی و عملکرد محصول برنج توسعه داده شد و نتایج حاکی از آن بود که مدل پیشنهادی می‌تواند عملکرد محصول برنج را با جذر میانگین مربعات خطای کمتر از ۸.۱٪ (نسبت عملکرد محصول به میانگین آن)، برآورد کند (Son et al., 2014).

به‌منظور بهره‌مندی از قدرت تفکیک زمانی بالای سنجنده مادیس در تهیه سری زمانی شاخص تفاضل گیاهی نرمال‌شده و نیز قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره‌های لندست و سنتینل<sup>۶</sup>، در تفکیک پهنه‌های گوناگون کاربری اراضی، تلاش‌هایی برای ترکیب تصاویر یادشده انجام گرفته است (Skakun et al., 2017). بدین ترتیب، NDVI هر کلاس از حل دستگاه معادله‌ای به‌دست می‌آید که، در سمت چپ آن، مقادیر NDVI پیکسل‌های مادیس و در سمت راست آن، ترکیب خطی مقادیر NDVI کلاس‌های تشکیل‌دهنده آن، در وزن‌های مربوط به مساحت هر یک، قرار داشته باشد. در این فرایند، برای تعیین مساحت زیر پوشش هر کلاس، از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست استفاده شد و نتایج نشان داد که نقشه پهنه‌بندی‌شده حاصل از ترکیب تصاویر دو سنجنده مذکور همواره همبستگی بیش از ۰.۷۸ دارد (Busetto et al., 2008). چون سیگنال دریافتی با سنجنده مادیس، از پیکسل‌هایی شامل بیش از یک کلاس کاربری، حاوی اثر ترکیبی آن کلاس‌ها خواهد بود؛ برای ظاهرسازی اثر هر یک از این

روش‌هایی که از این سری‌های زمانی بازتولیدشده برای تفکیک پیکسل‌های محصولات کشاورزی بهره می‌برند پیچیده و اغلب مناسب کشت برنج و اقلیم مرطوب است. در این شیوه‌ها، با محاسبه مجموع مقادیر پویا در طول زمان<sup>۱</sup>، که برآمده از مفهوم کمترین میزان مربعات خطاست، میزان تشابه پیکسل مورد مطالعه با یک پیکسل استاندارد برای برنج (Guan et al., 2016) بررسی می‌شود و یا این دو، براساس اختلاف در شدت توابع حالت اصلی<sup>۲</sup> حاصل از سری زمانی شاخص گیاهی پیشرفته<sup>۳</sup> در پیکسل برنج و پیکسل غیربرنج از هم تفکیک می‌شوند (Chen et al., 2012; Son et al., 2014). به‌منظور بررسی میزان تشابه سری زمانی یک پیکسل با پیکسل برنج، ماتریسی از قدر مطلق اختلاف مقادیر NDVI پیکسل مورد نظر در هر گام زمانی با مقادیر NDVI پیکسل استاندارد در طول زمان تشکیل شد. سپس دنباله‌ای از اعضای ماتریس، به‌صورتی که مجموع اعضای دنباله کمترین مقدار باشد، از ماتریس مذکور استخراج شد و این مقدار، به‌منزله مجموع مقادیر پویا در طول زمان (DTW)<sup>۴</sup> برای آن پیکسل، در نظر گرفته شد. در نهایت، با استفاده از پیکسل‌های نظارت‌شده، حد آستانه DTW برای برنج تعیین و پهنه‌بندی اراضی برنج، براساس آن، صورت گرفت. نتایج نشان داد که مجموع مساحت اراضی محاسبه‌شده زیر کشت برنج، با استفاده از تصاویر مادیس در طول زمان، با ضریب همبستگی ۰.۸۰۹ مطابق خوبی با نتایج حاصل از آماربرداری‌های رسمی دارد (Guan et al., 2016). در زمینه استفاده از توابع IMF در تفکیک اراضی برنج، ابتدا، با استفاده از روش تجزیه‌ای مبتنی بر تجربه<sup>۵</sup>، سری زمانی مورد مطالعه به هشت تابع IMF تجزیه شد. برای تولید هر تابع، ابتدا باندهای بالا و پایین روی نقاط اکسترمم سری زمانی ترسیم و از تفاضل میانگین باندها از سری زمانی، سیگنالی جدید پدید آمد. تولید سیگنال‌های جدید تا جایی ادامه می‌یابد که سری زمانی از حالت نامتقارن خارج شود و در این صورت، می‌توان گفت که اولین تابع IMF استخراج شده است.

1. Dynamic Time Warping Distance
2. Intrinsic Mode Function (IMF)
3. Enhanced Vegetation Index
4. Dynamic Time Warping Distance
5. Empirical Mode Decomposition (EMD)
6. Sentinel

دقت پهنه‌بندی می‌شود، بر تعداد مراحل لازم برای پردازش می‌افزاید. از این رو، انتخاب هریک از روش‌های یادشده باید برحسب اهداف تحقیق و میزان دقت مورد نظر باشد.

از میان روش‌های ذکرشده برای پهنه‌بندی گیاهان زراعی، آن دسته از روش‌هایی که از تصاویر سنجنده‌های اپتیک استفاده می‌کنند و در فرایند آنها از ویژگی‌های مراحل رشد گیاه گندم به‌منزله شاخص متمایزکننده اراضی گندم بهره گرفته شده است دارای پیچیدگی کمتری‌اند. در این دسته از روش‌ها، برای اعمال روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده مانند روش ماشین بردار پشتیبان، از تصاویر تاریخ‌هایی استفاده شده که گندم دیم و گندم آبی در سری زمانی NDVI از هم متمایزند (Jin et al., 2016). به‌علاوه، از بین این بازه‌های زمانی متمایزکننده در سری زمانی گندم، از بازه زمانی مربوط به زمستان برای استفاده از مدل‌های رگرسیونی، با هدف تفکیک پیکسل‌های گندم، استفاده شده است (Tao et al., 2017). رویکردی دیگر در این دسته استفاده از شاخصی مرتبط با مراحل فنولوژی گیاه<sup>۴</sup> است که نوسانات سری زمانی شاخص گیاهی بهبودیافته (EVI)<sup>۵</sup> را به چهار مرحله اصلی تقسیم می‌کند؛ مرحله اول مربوط به کاشت، مرحله آخر مربوط به برداشت و دو مرحله میانی مربوط به اولین و دومین نقطه اوج در نمودار EVI است که، در آنها، گندم تفاوت چشمگیری با سایر گیاهان زراعی دارد. پس از تشخیص این مراحل چهارگانه، شاخص فنولوژی نسبی گیاه به‌صورت تابعی از مقادیر EVI در نقاط پیک، اختلاف مقادیر EVI در نقاط پیک با مقادیر مرحله اول و نهایی و نیز، طول دوره مرحله اول تا چهارم تعریف شده و در تفکیک پیکسل‌های گندم به‌کار رفته است. نتایج نشان داد که جذر میانگین مربعات خطا در نقشه نهایی در

کلاس‌ها روی مقادیر این پیکسل‌ها، الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های مستقل<sup>۱</sup> به‌کار رفته است. در این فرایند، فرض بر آن است که مقدار پیکسل مادیس در طیفی از جمع مقادیر حاصل از ضرب دو بردار به‌دست آمده که یکی از این دو بردار مشخص‌کننده رفتار مکانی کلاس‌ها و دیگری مشخص‌کننده رفتار زمانی آنهاست و آثار کلاس‌ها در مقدار پیکسل مادیس مستقل از یکدیگر است. اختلاف نقشه پهنه‌بندی اراضی، به‌دست‌آمده از تکنیک مذکور، برای گندم زمستانه و گیاهان تابستانه در کمترین و بیشترین حالت، به‌ترتیب، ۱۵ و ۲۰٪ با نقشه حاصل از پهنه‌های نظارت‌شده گزارش شد (Ozdogan, 2010).

به‌دلیل اینکه کیفیت تصاویر اپتیک تحت تأثیر پوشش‌های ابری است، رویکرد برخی از محققان، در استفاده از تصاویر رادار روزنه مصنوعی، اغلب بر مبنای بررسی ویژگی ضریب پراکندگی در پلاریزاسیون‌های متفاوت، همراه با طرح روش‌های پهنه‌بندی اراضی کشاورزی با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان<sup>۲</sup>، جنگل تصادفی<sup>۳</sup> و دیگر روش‌های یادگیری ماشین بوده است (Song and Wang, 2019; Sonobe et al., 2014; Tan et al., 2007). محتوای اطلاعات حاصل از سنجنده‌های راداری با سنجنده‌های اپتیک متفاوت است؛ چرا که، در سنجش راداری، قابلیت سطوح به‌منزله عامل پراکندگی امواج الکترومغناطیسی طول موج بلند و در سنجش اپتیک، قابلیت سطوح به‌منزله بازتابندگان طیف نوری و حرارتی بررسی می‌شود. بنابراین، برخی این دو دسته را مکمل هم دانسته و از ترکیب آنها برای پهنه‌بندی پوشش‌های گیاهی استفاده کرده‌اند که نتیجه آن حاکی از بهبود چشمگیر در دقت روش‌های سنجش از دور، برای پهنه‌بندی پوشش‌های گیاهی است (Forkuor et al., 2014; Inglada et al., 2016; Villa et al., 2015; Wang et al., 2015). پردازش اطلاعات راداری، در مقایسه با تصاویر اپتیک، فرایند پیچیده‌تری دارد که ترکیب آن با تصاویر اپتیک، هرچند موجب افزایش

1. Independent Component Analysis (ACI)  
2. Support Vector Machine  
3. Random Forest  
4. Crop Proportion Phenology Index  
5. Enhanced Vegetation Index

سطوح کشت آن و مطابقت با ویژگی‌های اقلیمی منطقه، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

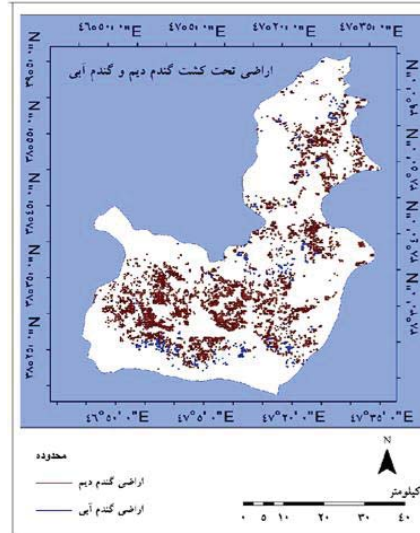
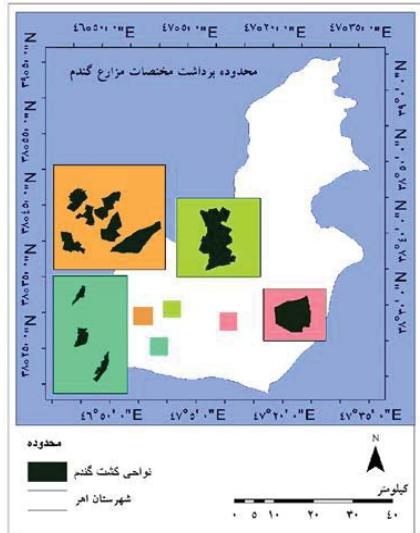
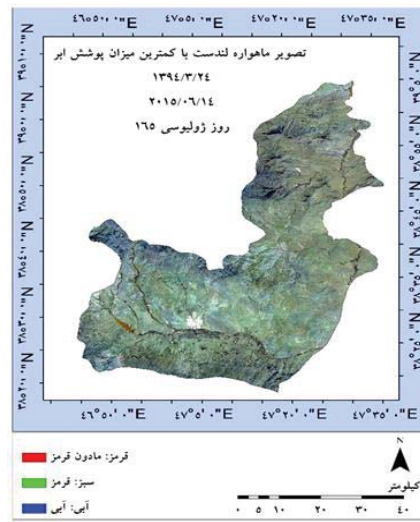
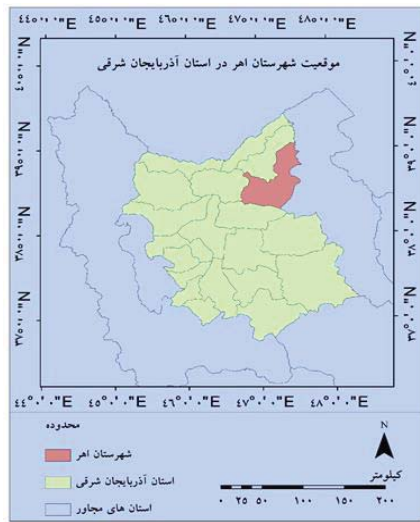
منطقه مورد مطالعه در این پژوهش (شکل ۱) محدوده شهرستان اهر در شمال شرق استان آذربایجان شرقی است و در مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ترکیب رنگی باندهای فرورسرخ، قرمز و آبی ماهواره لندست ۸، با اعمال تصحیحات هندسی و رادیومتری در شکل ۱، نشان می‌دهد که منطقه در حصار نواحی کوهستانی قرار دارد و بخش کشاورزی اغلب در نواحی مرکزی واقع است. اقلیم غالب منطقه از نوع خشک و نیمه‌خشک است و طبق آخرین اطلاعات آماری منتشر شده در سال ۱۳۹۴، حاصل نتایج تفصیلی سرشماری کشاورزی (ذوقی، ۱۳۹۴)، کشت زراعی غالب منطقه گندم، به وسعت ۳۳,۸۳۹ هکتار، شامل ۳۱,۴۳۱ هکتار گندم دیم و ۲,۴۰۸ هکتار گندم آبی است. همچنین، طبق اطلاعات آماری در سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی (۱۳۹۱)، وسعت زراعی کشت گندم حدود ۳۵,۱۰۰ هکتار و شامل ۳۰,۰۰۳ هکتار گندم دیم و ۵,۰۹۷ هکتار گندم آبی است. شکل ۱ مختصات جغرافیایی نواحی نظارت‌شده گندم در سال ۱۳۸۹ را نیز نشان می‌دهد که، با استفاده از دستگاه جی‌پی‌اس (GPS) در یازده قطعه، با میانگین مساحت ۲۰ هکتار، برای تولید سری زمانی NDVI گندم دیم و آبی استفاده شده بود (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش این محققان، از سری زمانی NDVI پیکسل‌های نظارت‌شده گندم حاصل از تصاویر مادیس، برای پهنه‌بندی اراضی گندم دیم و آبی در شهرستان اهر، استفاده شد (نقشه شکل ۱). از این نقشه در

مقایسه با نقشه تولیدشده از اراضی زیر کشت گندم، با استفاده از شاخص مورد اشاره و تصاویر ماهواره مادیس، فقط ۱۵ تا ۲۰٪ با نقشه دقیق حاصل از تصاویر ماهواره لندست و ALOS اختلاف دارد (Pan et al., 2012). نتایج استفاده از ویژگی‌های سری زمانی NDVI در پهنه‌بندی اراضی گندم دیم و آبی نیز حاکی از موفقیت فرایندی بود که، برای تفکیک پیکسل‌های گندم، از سری زمانی شاخص‌های گیاهی استفاده کرده است. در این فرایند، بررسی تطابق سری زمانی NDVI هر پیکسل با سری زمانی میانگین‌گیری‌شده پیکسل‌های نظارت‌شده گندم و حذف گام‌به‌گام پیکسل‌هایی که مقادیر NDVI آنها از سری زمانی پیکسل گندم پیروی نمی‌کرد توانست اراضی زیر کشت گندم را از سایر کاربری‌ها، با مقادیر صحت کلی و شاخص کاپای، به ترتیب، برابر با ۸۱٪ و ۶۸٪ تفکیک کند (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹).

با توجه به سادگی و دقت قابل قبول روش پهنه‌بندی مبتنی بر ویژگی‌های فنولوژی گیاهی مؤثر در روند سری زمانی شاخص NDVI گندم، هدف از این پژوهش ارائه فرایندی جدید، برای بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم دیم، با استفاده از سری زمانی شاخص NDVI گندم حاصل از تصاویر سنجنده مادیس است. در این فرایند، با بهره‌گیری از قدرت تفکیک زمانی بالای تصاویر مادیس و قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر لندست ۸، جهت تفکیک اراضی گندم دیم در اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر منطقه مورد مطالعه، استفاده شد. نوآوری به کاررفته در این پژوهش شیوه استفاده ترکیبی از تصاویر سنجنده‌های مادیس و لندست ۸ است؛ به گونه‌ای که، برای پهنه‌بندی اراضی گندم دیم روی تصاویر لندست ۸، از اراضی گندم تفکیک‌شده‌ای استفاده شد که نتیجه الگوریتم به کاررفته روی تصاویر مادیس بود. این فرایند، با توجه به اهمیت کشت گندم در منطقه مورد مطالعه، لزوم اطلاع از

در این منطقه، طی روزهای ۱۲۹ تا ۱۶۵ ژوئیه‌ی ۱۳۸۹ اتفاق می‌افتد. اوج منحنی سری زمانی NDVI گندم پس از مرحله‌ی خوشه‌رفتن و قبل از مرحله‌ی گلدهی آن اتفاق می‌افتد (شکل ۲) (Huang et al., 2015). پس از برداشت گندم، تا شروع فصل کشت جدید، مقادیر شاخص NDVI ثابت و برابر با مقادیر این شاخص در خاک بدون پوشش گیاهی است.

تحقیق حاضر استفاده شد تا الگوریتم پهنه‌بندی اراضی گندم دیم در سال ۱۳۹۴ بهبود داده شود. جدول ۱ نشان‌دهنده‌ی محصولات و تصاویر مورد استفاده در فرایند پهنه‌بندی اراضی گندم دیم در تحقیق حاضر است. گندم زمستانه، در منطقه‌ی مورد مطالعه، در دهه‌ی اول مهر هر سال کاشت و در نیمه‌ی دوم خرداد سال آبی برداشت می‌شود. مرحله‌ی خوشه‌رفتن تا طلایی‌شدن کامل گندم،

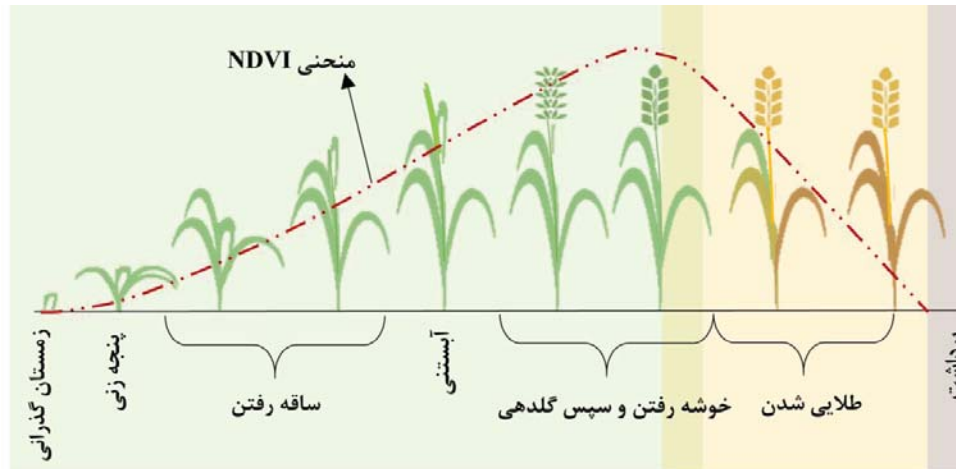


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، شامل شهرستان اهر، واقع در استان آذربایجان شرقی؛ مختصات جغرافیایی نواحی نظارت‌شده گندم در سال ۱۳۸۹؛ سری زمانی NDVI گندم دیم و آبی برای اراضی نظارت‌شده گندم، حاصل از تصاویر مادیس و نقشه‌ی

پهنه‌بندی اراضی گندم دیم و آبی  
منبع: صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹

جدول ۱. تصاویر مورد استفاده برای اجرای فرایند پهنه‌بندی اراضی گندم دیم، در شهرستان اهر

نام محصول / تصویر	تاریخ محصول / تصویر
نقشه پهنه‌بندی اراضی گندم دیم و آبی (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹)	سال ۱۳۸۹
تصاویر مربوط به ۱۱ باند ماهواره Landsat8 (به جز باند ۸) - LANDSAT/LC08/C01/T1/LC08	سال ۱۳۹۴: روزهای ژولوسی ۱۱۳، ۱۴۹ و ۱۶۵



شکل ۲. مراحل رشد گندم و منحنی شاخص گیاهی حاصل از سنجش از دور

## ۲-۲- الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم

تفاوت‌های موجود در تراکم پوشش گیاهی، در پیکسل‌های گندم، ممکن است ناشی از شرایط آب، خاک، گونه و مدیریت کشاورزی باشد. مقادیر هریک از باندهای یادشده در هریک از روزهای ژولوسی طبق روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

$$NDVI \text{ upper limit}_{DOY} = \frac{NDVI_{DOY} + (P \times NDVI_{DOY})}{100} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$NDVI \text{ lower limit}_{DOY} = \frac{NDVI_{DOY} - (P \times NDVI_{DOY})}{100} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$NDVI \text{ upper limit}_{DOY}$  مقدار  $NDVI$  باند بالای شاخص گیاهی در روز ژولوسی مدنظر،  $NDVI \text{ lower limit}_{DOY}$  مقدار باند پایین شاخص گیاهی در روز ژولوسی مورد نظر،  $NDVI_{DOY}$  مقدار

با توجه به دقت مورد قبول نتایج روش‌های پهنه‌بندی مبتنی بر بررسی تطابق روند تغییرات منحنی سری زمانی  $NDVI$  پیکسل‌های تصاویر سنجنده‌های اپتیک با روند تغییرات شاخص مذکور در پیکسل‌های نظارت‌شده گندم، برای بهبود نتایج الگوریتم حذف گام به گام پیکسل‌های غیر گندم از تصاویر مادیس (شکل ۳) (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹)، فرایندی مطرح شد. به منظور حذف گام به گام آن دسته از پیکسل‌هایی که از سری زمانی  $NDVI$  پیکسل‌های نظارت‌شده گندم، حاصل از تصاویر مادیس، پیروی نمی‌کنند؛ ابتدا دو باند مجاز بالا و پایین (شکل ۴) روی سری زمانی  $NDVI$  پیکسل‌های نظارت‌شده گندم قرار گرفت تا از حذف پیکسل‌هایی، که از نظر مقادیر  $NDVI$  اختلاف کمی با پیکسل‌های نظارت‌شده گندم دارند، جلوگیری شود.

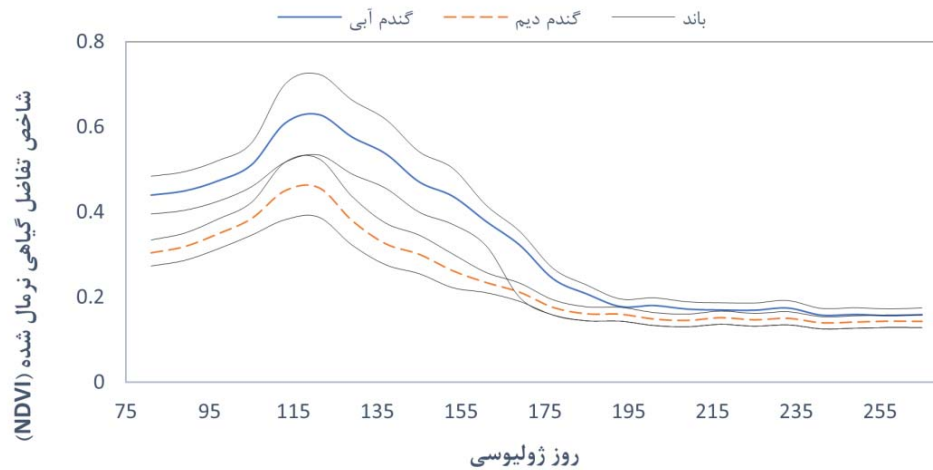


انتخاب مقدار بزرگ‌تر P برای دوره اوج منحنی NDVI گندم منجر به حفظ پیکسل‌های این گیاه، با تراکم‌هایی متفاوت از پوشش گیاهی، در نقشه نهایی اراضی گندم می‌گردد. الگوریتم ارائه شده در شکل ۲، برای گندم دیم و گندم آبی و به منظور تعیین مقادیر P و تفکیک هر یک از انواع کشت گندم، جداگانه اجرا می‌شود.

NDVI پیکسل‌های نظارت‌شده گندم در روز ژولیوسی مدنظر و P درصد مجاز تجاوز از مقدار NDVI پیکسل‌های نظارت‌شده گندم است که مقدار آن، به روش تجربی و طی اجرای الگوریتم به‌زای مقادیر متفاوت P، به دست می‌آید. مقدار P برابر با ۱۵٪، برای روزهای ژولیوسی بین ۱۰۶ تا ۱۵۳، و مقدار P برابر با ۱۰٪، برای سایر روزها، در دوره رشد گندم پیشنهاد شده است.



شکل ۲. الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم در تصاویر مادیس، با استفاده از سری زمانی NDVI پیکسل‌های نظارت‌شده گندم



شکل ۴. باند بالا و پایین NDVI برای گندم دیم و آبی، براساس مقدار تجربی تعیین شده برای مقدار P، در منطقه مورد مطالعه

مکانی نقشه نهایی اراضی گندم، نقشه مورد نظر حاصل از تصاویر مادیس، پس از جداسازی مراتع و نیز پیکسل‌های ناخالص از آن، در محیط گوگل ارث به‌منزله اراضی نظارت‌شده گندم برای مرحله بعد آماده شد. شایان ذکر است که برداشت چنین وسعتی از اراضی نظارت‌شده گندم با استفاده از جی‌پی‌اس پرهزینه و زمان‌بر است؛ بنابراین، در این مرحله استفاده از نقشه اصلاح‌شده اراضی گندم، حاصل از تصاویر مادیس، پیشنهاد شد.

در گام بعدی، اراضی آماده‌شده به‌منزله اراضی نظارت‌شده گندم وارد محیط نرم‌افزار ENVI شد تا فرایند پهنه‌بندی گندم دیم، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی<sup>۲</sup>، بیشترین تشابه<sup>۳</sup> و ماشین بردار پشتیبان، این بار روی تصویری صاف (کم‌ابرتین تصویر در یکی از روزها، طی دوره کشت گندم) از ماهواره لندست-۸، انجام شود تا، نخست، قدرت تفکیک مکانی نقشه اراضی گندم از ۲۵۰ متر به ۳۰ متر کاهش یابد و دوم، ضعف‌های اشاره‌شده

۲-۳- الگوریتم بهبودیافته تفکیک پیکسل‌های گندم فلوجارت بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم (شکل ۵) با دو هدف اصلی طراحی شده است؛ یکی از این اهداف افزایش قدرت تفکیک مکانی نقشه پهنه‌بندی اراضی گندم، از ۲۵۰ متر به ۳۰ متر، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸، و دیگری افزایش دقت آن، با رفع نقاط ضعف الگوریتم اولیه است. پس از بررسی نقشه اراضی گندم دیم حاصل از الگوریتم اعمال‌شده روی تصاویر مادیس در محیط گوگل ارث<sup>۱</sup> مشخص شد، به‌رغم ارقام مورد قبول گزارش‌شده در مورد شاخص‌های طبقه‌بندی، روش یادشده، در تفکیک پیکسل‌های گندم از تپه‌هایی که در فصل بهار از گیاهان مرتعی پوشیده می‌شوند، دچار ضعف است. یکی دیگر از نقاط ضعف این الگوریتم، که ناشی از درشت‌بودن پیکسل‌های تصاویر مادیس می‌شود، نداشتن دقت در شناسایی اراضی گندمی است که وسعت آنها، در برابر مساحت یک پیکسل مادیس، کمتر است. همچنین، گاه در بخشی از یک پیکسل تفکیک‌شده به‌منزله پیکسل گندم، ترکیبی از سایر کاربری‌ها در محیط گوگل ارث مشاهده شد که علت آن نیز پایین‌بودن قدرت تفکیک مکانی تصاویر مادیس محسوب می‌شود. برای بهبود دقت و قدرت تفکیک

1. Google Earth  
2. Neural Network  
3. Maximum Likelihood

به‌منزله اراضی زیر کشت گندم، در تصویر انتخاب و دو تصویر پیش از آن نیز محاسبه شد. برحسب اینکه تاریخ‌های سه تصویر مرحله قبل در شاخه نزولی یا صعودی منحنی NDVI گندم واقع شده باشد، روند صعودی و یا نزولی مقادیر NDVI در پیکسل‌های تفکیک‌شده کنترل و پیکسل‌های خارج از روند مذکور از نقشه نهایی اراضی گندم حذف می‌شوند تا نقشه نهایی اراضی زیر کشت گندم دیم، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری، تولید شود.

الگوریتم تفکیک اراضی گندم، تا حد امکان، برطرف شود. در این فرایند، از تمامی باندهای ماهواره لندست ۸ استفاده شد؛ به‌جز باند ۸. در گام بعدی، از ترکیب هر سه نقشه حاصل از روش‌های پهنه‌بندی نظارت‌شده در تهیه اراضی زیر کشت گندم دیم استفاده شد؛ به‌گونه‌ای که پیکسل‌های نهایی در هر سه روش به‌منزله پیکسل گندم شناسایی شده باشند. سپس، با استفاده از باندهای سرخ و فروسرخ ماهواره لندست ۸، مقادیر NDVI برای پیکسل‌های شناسایی‌شده در گام پیشین،



شکل ۵. فلوچارت بهبود دقت و قدرت تفکیک مکانی نقشه پهنه‌بندی اراضی گندم دیم حاصل از تصاویر مادیس، با اعمال روش‌های پهنه‌بندی نظارت‌شده روی تصاویر لندست ۸

## ۲-۴- آماره‌های اعتبارسنجی

به منظور فراهم آوردن امکان ارزیابی صحت نقشه پهنه‌بندی شده، از شاخص کاپا در کنار مقدار صحت کلی استفاده می‌شود که روابط این دو از این قرار است (Congalton, 1991):

$$OA = \frac{\sum X_{ii}}{N} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\bar{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه،  $OA$  صحت کلی،  $X_{ii}$  مجموع اعضای قطر اصلی ماتریس خطا،  $N$  کل پیکسل‌های نظارت شده،  $\bar{K}$  شاخص کاپا،  $x_{i+}$  مجموع سطر  $i$  و  $x_{+i}$  مجموع ستون  $i$  ماتریس خطا محسوب می‌شوند. به تازگی در منابع علمی، برای سنجش میزان دقت نقشه پهنه‌بندی شده، استفاده از مقدار  $F1$  پیشنهاد شده و مشخص گردیده که معنی‌داری این مقدار بیشتر از شاخص‌های صحت کلی و کاپا است (Zhou et al., 2017). مقدار  $F1$  به منزله میانگین هارمونیک دقت تولیدکننده و دقت کاربر بدین صورت تعریف می‌شود:

$$F1 = 2 \times \frac{P_a - U_a}{P_a + U_a} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$P_a$  دقت تولیدکننده و  $U_a$  دقت کاربر است.  $F1$  مقداری بین ۰ تا ۱ را به خود اختصاص می‌دهد که هرچه این مقدار نزدیک به ۱ باشد، حاکی از دقت بالای فرایند پهنه‌بندی است و هرچه این مقدار نزدیک به ۰ باشد، دقت پایین آن را نشان می‌دهد. صحت کلی بیانگر نسبت تعداد پیکسل‌های به‌درستی طبقه‌بندی شده است. برای محاسبه آماره‌های اعتبارسنجی از اراضی گندم دیم نظارت شده‌ای که قبلاً به منظور اجرای روش‌های پهنه‌بندی نظارت شده، وارد محیط نرم‌افزار ENVI شده بود در جایگاه نمونه‌های ارزیابی استفاده شد. وسعت این اراضی برابر با ۱۸۰۰ هکتار، شامل ۴۸ قطعه از اراضی گندم دیم بود.

## ۳- نتایج

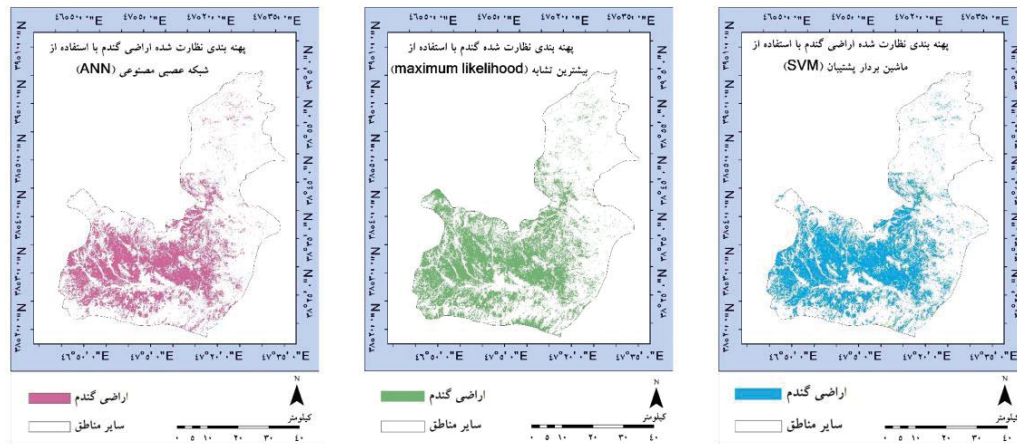
شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه اراضی زیر کشت گندم در نتیجه اجرای روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده شبکه عصبی، بیشترین تشابه و ماشین بردار پشتیبان روی

تصویری صاف از ماهواره لندست ۸، طی ۲۴ خرداد ۱۳۹۴، در محدوده شهرستان اهر است. مساحت اراضی پهنه‌بندی شده به روش‌های شبکه عصبی، بیشترین تشابه و ماشین بردار پشتیبان، به ترتیب، ۸۳،۱۳۰، ۱۰۲،۲۸۰ و ۸۹،۱۴۰ هکتار برآورد شد. این در حالی است که حدود ۷۰،۳۶۰ هکتار از این اراضی، به صورت مشترک و با هر سه روش، به منزله اراضی گندم دیم شناسایی شدند. به طور کلی، هر سه روش یادشده بیشتر اراضی گندم دیم را در مناطق مرکزی شهرستان اهر، شناسایی کرده‌اند. با توجه به آمار حاصل از اراضی زیر کشت گندم دیم این شهرستان، که مجموع مساحت آن را تا ۳۱،۴۳۱ هکتار گزارش کرده‌اند، مشخص می‌شود که تمامی ۷۰،۳۶۰ هکتار اراضی شناسایی شده در سال مورد مطالعه زیر کشت گندم نبوده و سطوح شناسایی شده ممکن است شامل اراضی آیش و یا خطای روش‌های پهنه‌بندی باشد. بنابراین، برای تفکیک اراضی واقعی زیر کشت گندم دیم از اراضی شناسایی شده، با استفاده از باندهای سرخ و فرسرخ ماهواره لندست ۸، مقادیر NDVI برای تصویر پهنه‌بندی شده و نیز دو تصویر پیش از آن (در مجموع، ۳ تصویر)، به شرط پایین بودن میزان پوشش ابری، محاسبه شد (شکل ۷). تاریخ هر سه تصویر به روزهای ۲۳ اردیبهشت و ۸ و ۲۴ خرداد سال ۱۳۹۴ بازمی‌گردد که مصادف بود با مرحله نزولی (پس از نقطه اوج) منحنی سری زمانی NDVI گندم دیم؛ بنابراین، انتظار می‌رفت مقادیر NDVI در پیکسل‌های شناسایی شده، به ترتیب، از ۲۳ اردیبهشت تا ۲۴ خرداد، روند نزولی داشته باشد.

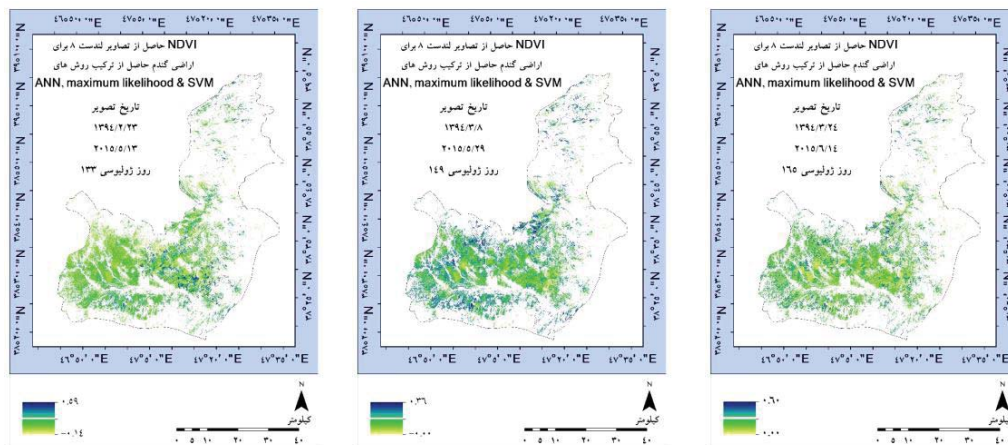
برای تولید نقشه نهایی اراضی گندم دیم در سال مورد مطالعه، در این پژوهش، پس از حذف آن دسته از پیکسل‌هایی که مقادیر NDVI در آنها از روند نزولی پیروی نمی‌کردند، نقشه اراضی گندم دیم شهرستان اهر تهیه شد. این نقشه متعلق به سال ۱۳۹۴ و با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری است (شکل ۸). نقشه مذکور

بیشتر اراضی کشت گندم در شهرستان اهر در مناطق مرکزی آن واقع شده و در مناطق شمالی و مناطق حاشیه‌ای، از یکپارچگی و وسعت این اراضی کاسته می‌شود. با توجه به اینکه کاربری اراضی مناطق حاشیه‌ای و شمالی شهرستان از نوع مناطق کوهستانی دارای پوشش جنگلی است؛ شناسایی اراضی گندم دیم با یکپارچگی و وسعت بیشتر در مناطق مرکزی شهرستان، به‌روشنی مطرح‌شده در این پژوهش، توجیه‌پذیر است.

حاصل فرایند بهره‌برداری از قدرت تفکیک زمانی بالای تصاویر مادیس و قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر لندست ۸ است. مجموع مساحت حاصل از فرایند بهبود الگوریتم تفکیک اراضی گندم ۳۷,۷۴۵ هکتار به‌دست آمد که شباهت بیشتری با آمار سرشماری کشاورزی، در مقایسه با مساحت حاصل از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی، بیشترین تشابه و ماشین بردار پشتیبان دارد. همان‌طور که در شکل ۸ مشخص است،



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی اراضی زیر کشت گندم دیم حاصل از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده شبکه عصبی، بیشترین تشابه و ماشین بردار پشتیبان روی تصویری صاف از ماهواره لندست ۸، متعلق به ۲۴ خرداد ۱۳۹۴، در محدوده شهرستان اهر



شکل ۷. نقشه شاخص NDVI برای اراضی تجمیع‌شده زیر کشت گندم دیم حاصل از تصاویر ماهواره لندست ۸، مربوط به روزهای ۲۳ اردیبهشت و ۸ و ۲۴ خرداد سال ۱۳۹۴، در شهرستان اهر

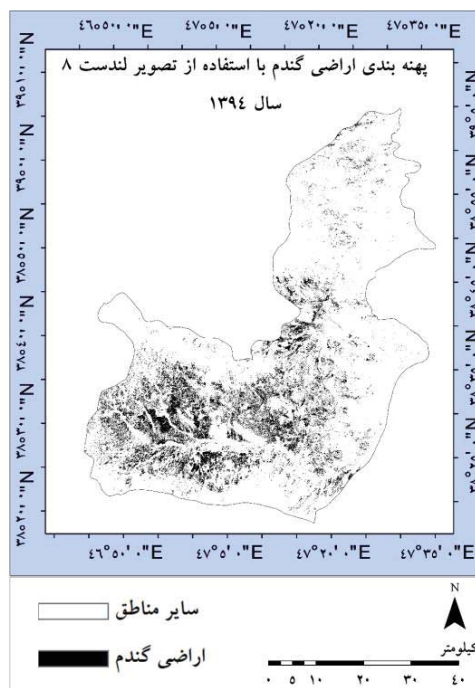
بخشی از اراضی نظارت‌شده گندم دیم، از طریق فرایند پیشنهادی در این پژوهش، جزء اراضی گندم پهنه‌بندی‌نشده است. یکی از دلایل آن را می‌توان وجود اراضی آیش در میان این اراضی، در سال مورد مطالعه، در نظر گرفت و بخشی دیگر را نیز می‌توان متوجه خطای خود روش پیشنهادی دانست. بنابراین، انتظار می‌رود دقت فرایند مذکور از مقادیر گزارش‌شده نیز بیشتر باشد. مقادیر گزارش‌شده برای آماره‌های اعتبارسنجی، در جدول ۲، حداقل دقت گزارش‌شده در مورد فرایند بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم دیم مطرح‌شده در این پژوهش شمرده می‌شوند.

**جدول ۲.** دقت تولیدکننده، دقت کاربر، صحت کلی، شاخص کاپا و مقدار F1 حاصل از ماتریس ابهام، به‌منظور نقشه پهنه‌بندی‌شده حاصل از فرایند بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم دیم، برای شهرستان اهر در سال ۱۳۹۴

دقت (%)		
دقت تولیدکننده	دقت کاربر	
۱۰۰	۹۱/۷۳	سایر مناطق
۵۵/۶۲	۱۰۰	اراضی گندم دیم
<b>آماره‌های اعتبارسنجی</b>		
صحت کلی (%)	شاخص کاپا	مقدار F1
۹۲/۵	۰/۶۷	۰/۷۱

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

از میان روش‌های پهنه‌بندی اراضی زراعی، که تا کنون برای استفاده از تصاویر سنجنده‌های اپتیک و راداری به‌طور مجزا و یا ترکیبی پیشنهاد شده است (Chen et al., 2012; Forkuor et al., 2014; Guan et al., 2016; Inglada et al., 2016; Ozdogan, 2010; Villa et al., 2015; Busetto et al., 2008)، روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های فنولوژی گیاهی مؤثر در روند سری زمانی شاخص NDVI گندم، در عین سادگی، از دقت قابل‌قبولی برخوردارند (Huang et al., 2015; Pan et al., 2012). از این‌رو، در این پژوهش، روشی جدید برای پهنه‌بندی اراضی گندم دیم پیشنهاد شد. این روش، در واقع، فرایندی برای بهبود الگوریتمی بود که از



**شکل ۸.** نقشه اراضی زیر کشت گندم دیم در سال ۱۳۹۴، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری در شهرستان اهر، حاصل از فرایند بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم

جدول ۲ آماره‌های اعتبارسنجی حاصل از ماتریس ابهام را برای نقشه نهایی اراضی زیر کشت گندم حاصل از فرایند بهبود الگوریتم تفکیک پیکسل‌های گندم دیم در سال ۱۳۹۴ در شهرستان اهر، نشان می‌دهد. همان‌طور که از مقادیر جدول ۲ مشخص است، روش مطرح‌شده در این پژوهش توانسته با مقدار صحت کلی، مقدار شاخص کاپا و مقدار F1، به ترتیب، برابر با ۹۲.۵٪، ۰.۶۷ و ۰.۷۱ سطوح زیر کشت گندم دیم را با دقت مورد قبولی برآورد کند. با توجه به اینکه نمونه‌های ارزیابی به‌کاررفته در این پژوهش ممکن است شامل اراضی آیش در سال مورد مطالعه هم بوده باشد، می‌توان نتیجه گرفت که، در صورت امکان حذف اراضی آیش از اراضی نظارت‌شده گندم دیم، یکی از عوامل کاهش دقت تولیدکننده می‌توانست برطرف شود زیرا دقت تولیدکننده به‌ازای اراضی گندم بیان می‌کند

روند تغییرات مقدار شاخص‌های گیاهی با استفاده از سنجنده‌های اپتیک فراهم باشد.

#### ۵- منابع

خداکرمی، ل.، سفیانیان، ع.، ۱۳۹۱، کاربرد سنجنش از دور چندزمانی در تعیین سطح زیر کشت علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و‌خاک، دوره ۱۶، شماره ۵۹، صص. ۲۳۱-۲۱۵.

ذوقی، ف.، ۱۳۹۴، نتایج تفصیلی سرشماری کشاورزی سال ۱۳۹۳ استان آذربایجان شرقی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان آذربایجان شرقی. سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۱، کشاورزی، جنگلداری و شیلات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان آذربایجان شرقی، ج. ۴، صص. ۱۸۹-۲۵۵.

صدرالدینی، ا.ع.، سبزی دهخوارقانی، ح.، ناظمی، ا.ح.، مجنونی هریس، الف.، ۱۳۹۹، کاربرد الگوریتم سبال در تعیین حداکثر سهم روزانه گندم دیم از منابع آب سبز با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (مطالعه موردی: شهرستان اهر)، سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۱، صص. ۲-۱.

Busetto, L., Meroni, M. & Colombo, R., 2008, **Combining Medium and Coarse Spatial Resolution Satellite Data to Improve the Estimation of Sub-Pixel NDVI Time Series**, Remote Sensing of Environment, 112(1), PP. 118-131.

Chen, C.F., Chen, C.R. & Son, N.T., 2012, **Investigating Rice Cropping Practices and Growing Areas from MODIS Data Using Empirical Mode Decomposition and Support Vector Machines**, GIScience & Remote Sensing, 49(1), PP. 117-138.

1. Pan

ویژگی‌های منحصربه‌فرد سری زمانی NDVI گندم، به‌منظور پهنه‌بندی اراضی زیر کشت آن، استفاده می‌کرد (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹). الگوریتم مورد اشاره، در تفکیک اراضی گندم دیم از تپه‌های دارای پوشش گیاهان مرتعی و نیز در تفکیک اراضی گندم دیم غیریکپارچه با وسعت‌های اندک، ضعف داشت زیرا قدرت تفکیک مکانی تصاویر سنجنده مادیس پایین بود؛ بنابراین، در این پژوهش، طی فرایندی هم از مزیت تصاویر سنجنده مادیس از لحاظ قدرت تفکیک زمانی بالای آن و هم از مزیت تصاویر ماهواره لندست-۸، از نظر قدرت تفکیک مکانی بالای آن، بهره گرفته شد.

اساس روش پیشنهادی، در این پژوهش، استفاده از ویژگی‌های منحصربه‌فرد سری زمانی شاخص گیاهی گندم بود که، از این نظر، با روش پن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) مشابه است. آنها، پس از تشخیص مراحل چهارگانه متمایزکننده سری زمانی EVI گندم از سایر گیاهان، با تعریف شاخص فنولوژی نسبی گیاه به‌منزله تابعی از مقادیر EVI در این مقاطع زمانی، با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس، اقدام به تفکیک اراضی گندم کرده بودند. تفاوت اصلی روش مطرح‌شده در پژوهش حاضر با روش پن و همکاران، در سال ۲۰۱۲، استفاده از الگوریتم بهبودیافته حذف گام‌به‌گام پیکسل‌های غیرگندم، به جای استفاده از شاخص فنولوژی نسبی گیاه، است. تفاوت اصلی الگوریتم مورد اشاره با نسخه اولیه‌اش (صدرالدینی و همکاران، ۱۳۹۹) استفاده از نقشه پهنه‌بندی شده خروجی به‌روش اولیه، به‌منزله اطلاعات ورودی به‌روش توسعه‌یافته آن است. نقشه خروجی روش توسعه‌یافته با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری توانست، درعین حالی که ضعف روش قبلی را در حذف مراتع و اراضی ناهمگن، برطرف می‌کند؛ دقت آن را در تفکیک اراضی گندم دیم، با مساحت‌های کمتر نیز، افزایش دهد. شایان ذکر است که روش مطرح‌شده، همانند سایر روش‌های مبتنی بر سری زمانی شاخص‌های گیاهی، مناسب با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک با روزهای ابرناکی کم است تا امکان رصد

- Congalton, R.G., 1991, **A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data**, Remote Sensing of Environment, 37(1), PP. 35-46.
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T. & Zoungrana, E., 2014, **Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa**, Remote Sensing, 6(7), PP. 6472-6499.
- Gomez, C., White, J.C. & Wulder, M.A., 2016, **Optical Remotely Sensed Time Series Data for Land Cover Classification: A Review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 116, PP. 55-72.
- Guan, X., Huang, C., Liu, G., Meng, X. & Liu, Q., 2016, **Mapping Rice Cropping Systems in Vietnam Using an NDVI-Based Time-Series Similarity Measurement Based on DTW Distance**, Remote Sensing, 8(1), P. 19.
- Huang, J., Tian, L., Liang, S., Ma, H., Becker-Reshef, I., Huang, Y., Su, W., Zhang, X., Zhu, D. & Wu, W., 2015, **Improving Winter Wheat Yield Estimation by Assimilation of the Leaf Area Index from Landsat TM and MODIS Data into the WOFOST Model**, Agricultural and Forest Meteorology, 204, PP. 106-121.
- Inglada, J., Vincent, A., Arias, M. & Marais-Sicre, C., 2016, **Improved Early Crop Type Identification by Joint Use of High Temporal Resolution SAR and Optical Image Time Series**, Remote Sensing, 8(5), P. 362.
- Jin, N., Tao, B., Ren, W., Feng, M., Sun, R., He, L., Zhuang, W. & Yu, Q., 2016, **Mapping Irrigated and Rainfed Wheat Areas Using Multi-Temporal Satellite Data**, Remote Sensing, 8(3), P. 207.
- Khan, A., Hansen, M.C., Potapov, P.V., Adusei, B., Pickens, A., Krylov, A. & Stehman, S.V., 2018, **Evaluating Landsat and Rapideye Data for Winter Wheat Mapping and Area Estimation in Punjab, Pakistan**, Remote Sensing, 10(4), P. 489.
- Khan, A., Hansen, M.C., Potapov, P., Stehman, S.V. & Chatta, A.A., 2016, **Landsat-based wheat mapping in the heterogeneous cropping system of Punjab, Pakistan**, International Journal of Remote Sensing, 37(6), PP. 1391-1410.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y. & Qiu, G., 2007, **Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-Density Cypress Forest**, Sensors, 7(11), PP. 2636-2651.
- Mosleh, M., Hassan, Q. & Chowdhury, E., 2015, **Application of Remote Sensors in Mapping Rice Area and Forecasting Its Production: A Review**, Sensors, 15(1), PP. 769-791.
- Ozdogan, M., 2010, **The Spatial Distribution of Crop Types from MODIS Data: Temporal Unmixing Using Independent Component Analysis**, Remote Sensing of Environment, 114(6), PP. 1190-1204.
- Pan, Y., Li, L., Zhang, J., Liang, S., Zhu, X. & Sulla-Menashe, D., 2012, **Winter Wheat Area Estimation from MODIS-EVI Time Series Data Using the Crop Proportion Phenology Index**, Remote Sensing of Environment, 119, PP. 232-242.
- Skakun, S., Vermote, E., Roger, J.C. & Franch, B., 2017, **Combined Use of Landsat-8 and Sentinel-2A Images for Winter Crop Mapping and Winter Wheat Yield Assessment at Regional Scale**, AIMS geosciences, 3(2), P. 163.



- Son, N.T., Chen, C.F., Chen, C.R., Minh, V.Q. & Trung, N.H., 2014, **A Comparative Analysis of Multitemporal MODIS EVI and NDVI Data for Large-Scale Rice Yield Estimation**, *Agricultural and Forest Meteorology*, 197, PP. 52-64.
- Song, Y. & Wang, J., 2019, **Mapping Winter Wheat Planting Area and Monitoring Its Phenology Using Sentinel-1 Backscatter Time Series**, *Remote Sensing*, 11(4), P. 449.
- Sonobe, R., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N. & Shimamura, H., 2014, **Random Forest Classification of Crop Type Using Multi-Temporal TerraSAR-X Dual-Polarimetric Data**, *Remote Sensing Letters*, 5(2), PP. 157-164.
- Tan, C.P., Koay, J.Y., Lim, K.S., Ewe, H.T. & Chuah, H.T., 2007, **Classification of Multi-Temporal SAR Images for Rice Crops Using Combined Entropy Decomposition and Support Vector Machine Technique**, *Progress In Electromagnetics Research*, 71, PP. 19-39.
- Tao, J.B., Wu, W.B., Zhou, Y., Wang, Y. & Jiang, Y., 2017, **Mapping Winter Wheat Using Phenological Feature of Peak before Winter on the North China Plain Based on Time-Series MODIS Data**, *J. Integr. Agric*, 16, PP. 348-359.
- Tokay, A., D'Adderio, L.P., Porcù, F., Wolff, D.B. & Petersen, W.A., 2017, **A Field Study of Footprint-Scale Variability of Raindrop Size Distribution**, *Journal of Hydrometeorology*, 18(12), PP. 3165-3179.
- Villa, P., Stroppiana, D., Fontanelli, G., Azar, R. & Brivio, P., 2015, **In-Season Mapping of Crop Type with Optical and X-band SAR Data: A Classification Tree Approach Using Synoptic Seasonal Features**, *Remote Sensing*, 7(10), PP. 12859-12886.
- Wang, J., Xiao, X., Qin, Y., Dong, J., Zhang, G., Kou, W., Jin, C., Zhou, Y. & Zhang, Y., 2015, **Mapping Paddy Rice Planting Area in Wheat-Rice Double-Cropped Areas through Integration of Landsat-8 OLI, MODIS, and PALSAR Images**, *Scientific Reports*, 5, P. 10088.
- Wei, S., Zhang, H., Wang, C., Wang, Y. & Xu, L., 2019, **Multi-Temporal SAR Data Large-Scale Crop Mapping Based on U-Net Model**, *Remote Sensing*, 11(1), P. 68.
- Zhou, T., Pan, J., Zhang, P., Wei, S. & Han, T., 2017, **Mapping Winter Wheat with Multi-Temporal SAR and Optical Images in an Urban Agricultural Region**, *Sensors*, 17(6), P. 1210.