

Research Article

Agricultural Engineering, 47(3) (2024) 337-356

ISSN (P): 2588-526X

DOI: 10.22055/agen.2024.46785.1723

ISSN (E): 2588-5944

## Monitoring and classification of crops by satellite remote sensing technology (Case study: Silakhor plain)

N. Bagheri<sup>1\*</sup>, A.R. Sabzevari<sup>2</sup> and A. Rajabipour<sup>3</sup>

1. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AREEO, Karaj, Iran
2. Former Ph.D Student, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Received: 12 May 2024      Accepted: 2 August 2024      \*Corresponding Author: n.bagheri@areeo.ac.ir

### Abstract

**Introduction:** The use of remote sensing, due to the provision of timely data and the high capability of image analysis, as well as the possibility of studying in a wide range with acceptable accuracy, is of great help to the planners and implementers of the agricultural sector. Remote sensing is one of the effective tools for monitoring, studying and determining the degree of agricultural and horticultural products, especially in large areas. Therefore, Annual Landsat images are valuable resources that enable us for crop monitoring regarding diagnosis, crop yield prediction, and crop-cultivation pattern studies.

**Materials and Methods:** Landsat 8 and OLI satellite images related to 2018 were used to estimate the overall level of crops in the area and to separate the agricultural area from other land uses. The images were downloaded from the site <http://earthexplorer.usgs.gov>, which is related to row 37 and path 166. In order to collect additional information used in this research, Google Earth images and ground control points taken with a GPS device, Garmin model 64S, were employed. The statistical data given in agricultural year books of Ministry of Agricultural Jihad for the year 2016-2017 were used to verify the results. The classification procedure was carried out to classify different crops. Satellite images from Landsat 8's OLI sensor, along with NDVI index data from a year-long time series, were used to monitor main crops and classify agricultural products in the area.

**Results and Discussion:** According to the results, the area of wheat and barley cultivated lands in the region was estimated to be 10639 ha, which shows an error of about 6.8% compared to the results of Jihad Keshavarzi, which was 9956.56 ha. After classifying the satellite images, using teaching samples that were not involved in the classification process, the accuracy of the classified image was evaluated. In this research, after calculating the cultivated area in GIS, the results were validated by comparing with the available statistics of Jihad-Agriculture and regional service centers and time control points by GPS, Kappa coefficient and general accuracy coefficient. Supervised classification method with support vector machine algorithm and artificial neural network was utilized to separate farms. The crop classification maps were divided into 5 categories, wheat and barley, summer crops, rice crops, irrigated crops and non-agricultural



lands. The lowest amount of commission error in both classification methods, 8.1 %, is related to summer cultivation, and the omission error in non-agricultural lands was 0.5 % in support vector machine method and 2.5% in artificial neural network method. Sentinel-2 images with a spatial resolution of 10 meters were used to prepare the classification map.

**Conclusion:** After classification, the maps produced by satellite images were compared with reference data and ground facts, as well as with the help of satellite images available in Google Earth software. Then the error matrix was formed. Kappa coefficient and overall accuracy were obtained in the vector machine method as 0.74 and 68%, respectively, and in the neural network method as 0.70 and 76% respectively.

**Keywords:** *Remote sensing, Satellite images, Artificial neural network, Support vector machine, Time series.*

## پایش سطح زیر کشت و طبقه بندی محصولات زراعی با استفاده از فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای (مطالعه موردی: دشت سیلاخور)

نیکروز باقری<sup>۱</sup>، علیرضا سبزواری<sup>۲</sup> و علی رجیبی پور<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.  
 ۲- دانش‌آموخته دکتری، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.  
 ۳- استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳	<p>سنجش از دور، یک روش مهم و مؤثر برای تفکیک و تحلیل و طبقه‌بندی محصولات است. استفاده از سنجش از دور، به دلیل فراهم آوردن داده‌های به هنگام و قابلیت تحلیل تصاویر و همچنین امکان مطالعه یک محدوده وسیع و با دقت قابل قبول، کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مجریان بخش کشاورزی می‌کند. در این پژوهش، برای پایش محصولات زراعی عمده پهنه و تفکیک محدوده کشاورزی از سایر مناطق، از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست ۸ استفاده شد. براساس نتایج، مساحت اراضی گندم و جو منطقه، ۱۰۶۳۹ هکتار برآورد شد که در مقایسه با آمارنامه جهاد کشاورزی یعنی ۹۹۵۶/۵۶ هکتار، خطایی حدود ۶/۸ درصد را نشان می‌دهد. برای شناسایی و تهیه نقشه کشت محصولات کشاورزی مختلف از دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد و محصولات در پنج طبقه، کشت تابستانه (صیفی جات: خیار، گوجه، هندوانه، خربزه)، مزارع کشت غلات زمستانه (گندم و جو دیم)، مزارع کشت آبی (یونجه، گندم، جو و کلزای آبی، سیب زمینی)، کشت برنج و اراضی غیر کشاورزی طبقه‌بندی شدند. کمترین مقدار خطای کمیسیون در هر دو روش طبقه‌بندی، ۸ درصد، مربوط به کشت تابستانه است و خطای امیسیون در اراضی غیر کشاورزی در روش ماشین بردار پشتیبان ۰/۵ و در روش شبکه عصبی مصنوعی ۲/۵ درصد بود.</p>
<p>پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲</p> <p><b>کلمات کلیدی:</b>  <b>سنجش از دور،            تصاویر ماهواره‌ای،            شبکه عصبی مصنوعی،            ماشین بردار پشتیبان، سری            زمانی</b></p> <p>* عهده دار مکاتبات:            Email: n.bagheri@areeo.ac.ir</p>	

### مقدمه

اساس برنامه‌ریزی و مدیریت درست کشاورزی داشتن آمار و اطلاعات دقیق و به‌هنگام است. معمولاً جمع‌آوری اطلاعات به روش دستی انجام می‌شود که این روش بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و دقت کمی دارد. همچنین، داده‌ها برای زمان محدودی اعتبار داشته و با گذشت زمان و تغییر شرایط نیاز به جمع‌آوری دوباره آن‌هاست (۲). امروزه فناوری سنسجش از دور به‌عنوان یکی از ابزارهای کارآمد برای پایش، مطالعه و تعیین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی و باغی به‌ویژه در سطوح وسیع استفاده می‌شود (۸). داده‌های سنسجش از دور به دلیل چندزمانه بودن، چندطیفی بودن، قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری مناسب، تنوع و دید وسیع و یکپارچه قادر به تفکیک پدیده‌های گوناگون هستند (۱۱). تصاویر سالانه لندست<sup>۱</sup>، منابع ارزشمندی هستند که نظارت بر محصول را در مسائل مربوط به تشخیص، و پیش‌بینی عملکرد و مطالعات الگوی کشت ممکن می‌کند (۱۲). نتایج پژوهش‌ها در چهار قاره اروپا (۴ منطقه)، آفریقا (۴ منطقه)، آمریکا و آسیا (هر کدام ۲ منطقه زراعی)، و مقایسه تصاویر سه ماهواره سنتینل<sup>۲</sup>، اسپات<sup>۳</sup> و لندست نشان داد که استفاده از ماهواره‌های با قدرت تفکیک مکانی بالا و دارای باند مادون قرمز نزدیک، با به کارگیری روش‌های طبقه‌بندی مانند جنگل تصادفی<sup>۴</sup>، و یادگیری ماشین<sup>۵</sup> نقش مهمی در تولید نقشه‌های کشت محصولات زراعی دارند (۱۰). استفاده از داده‌های مبتنی بر سنسجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، در آفریقا، کاربرد خوبی برای پهنه‌بندی اراضی در مناطق مختلف نشان داده است (۱). پژوهشگران نقشه تناوب منطقه‌ای محصولات کشاورزی در آلمان را مبتنی بر سنسجش از دور و GIS به دست آوردند. اساس این روش

استفاده از داده‌های سنسجش از دور سری زمانی و چرخه فنولوژی محصولات زراعی بود. پس از استخراج نقشه نوع کشت در مرحله اول، نقشه تناوب هشت ساله محصولات و طبقه‌بندی محصول در طول سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۸، بر اساس چرخه فنولوژی مشخص شد (۲۳). در یک پژوهش، برای شناسایی زمین‌های زراعی و انواع محصولات خاص از جمله تنباکو، گندم، جو و باقلا و همچنین الگوی زیر کشت گندم- تنباکو، گندم-باقلا، گندم- جو و گندم- ذرت از تصاویر سنتینل-۲ و لندست ۸ با کمک مدل‌های یادگیری ماشین، درخت تصمیم و جنگل تصادفی استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که این روش برای نظارت و ارزیابی امنیت غذایی در پاکستان مزایایی دارد و به شواهد مطالعات دیگر در مورد استفاده از سنسجش از دور برای شناسایی انواع محصول و الگوهای کشت در کشورهای دیگر می‌افزاید (۲۲).

نتایج برآورد عملکرد محصولات کشاورزی شهرستان زنجان با کمک سنسجش از دور و روش سری زمانی، نشان داد که روش ماشین بردار پشتیبان، بیشترین دقت را در تفکیک چهار محصول برنج، یونجه، پیاز و خربزه داشت. حال آنکه در برآورد عملکرد و تفکیک محصولات گندم دیم و آبی، گیاه جارو و مرتع دقت روش شبکه عصبی مصنوعی بیشتر بود (۱۵). در یک مطالعه، به‌منظور تولید نقشه اراضی کشاورزی شهرستان شهرکرد، در دو کلاس زراعی و غیرزراعی، از سری زمانی شاخص‌های مستخرج از تصاویر سنتینل-۲ استفاده شد. این روش بر مبنای تلفیق نتایج طبقه بندی نظارت شده پیکسل-مبنا بود (۲۱). پژوهشگران در تعیین عملکرد نیشکر با سنسجش از دور، بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۳، از پتانسیل شاخص NDVI، ماهواره لندست ۸ و تحلیل‌های رگرسیونی رابطه بین تصاویر ماه‌های مختلف استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از تصاویر لندست برای برآورد عملکرد محصول نیشکر به ویژه در ماه آگوست مناسب است (۱۹).

نتایج پژوهش تفکیک محدوده و برآورد سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر لندست، مزرعه

- 1- Landsat
- 2- Sentinel
- 3-SPOT
- 4- Random Forest
- 5-Machine Learning

مندی از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شاخص سبزی‌نگی نرمال شده محصولات زراعی در دوران متفاوت رشد و با توجه به تقویم زراعی آن‌ها، نقشه الگوی کشت محصولات منطقه با سه تصویر ماهواره لندست ۸ مشخص شد اعتبارسنجی نتایج با سه روش ضریب کاپا، صحت کلی و مقایسه با آمارنامه جهاد کشاورزی انجام شد. در این پژوهش، سطح زیرکشت گندم، جو، برنج، سیب‌زمینی و علوفه، در روش حداکثر احتمال، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به ترتیب خطایی برابر ۱۰/۲، ۱۸/۶ و ۱/۸ درصد داشت. شاخص NDVI به عنوان بهترین روش برآورد سطح زیرکشت در این ناحیه، در مقایسه با آمار جهاد کشاورزی به ترتیب دارای خطایی معادل ۶/۶، ۳/۵ و ۳/۲ درصد بود که نشان دهنده کارایی مناسب این شاخص در برآورد سطح زیرکشت محصولات با توجه به فنولوژی محصولات است. نقشه کاربری اراضی و الگوی کشت این ناحیه، نشان‌دهنده تمرکز اراضی زراعی با نیاز آبی بالا و همچنین صنایع آب در مجاورت رودخانه زاینده‌رود است (۱۸).

پژوهشگران برای پهنه‌بندی آگرواکولوژیکی نظام‌های تولید گندم دشت کشاورزی شاور خوزستان، از فناوری سنجش از دور استفاده کردند. بر این اساس، نقشه‌های پوشش اراضی با استفاده از تصاویر لندست ۸ و ماهواره IRS تهیه شد. برای پهنه‌بندی از معیارهای طول دوره رشد، پایان دوره رشد، معیارهای مرتبط با خاک، شیب، ارتفاع و کاربری اراضی در GIS، استفاده شد. نتایج نشان داد که طبقه تناسب اقلیم برای محصول گندم بسیار مناسب است و تقریباً ۴۲ و ۵۸ درصد اراضی به ترتیب در طبقه‌های نسبتاً مناسب و تناسب بحرانی قرار گرفتند. همچنین اصلاح محدودیت‌هایی مثل مدیریت صحیح افزایش ماده آلی به خاک و آب شویی اراضی تولید محصول را در این بوم نظام‌ها افزایش داد (۱۴). برای سنجش توانایی ماهواره لندست ۸ با سنجه OLI در شناسایی و تعیین سطح زیرکشت نخلستان‌ها، پژوهشی در قالب چهار روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل، شبکه عصبی مصنوعی

نمونه آستان قدس رضوی با دو روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی، نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای از قابلیت بالایی برای تفکیک سریع اراضی زراعی و تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه و تعیین سطح زیرکشت با دقت نسبتاً مناسب در مقیاس منطقه‌ای برخوردار است (۴). نتایج ارزیابی پهنه بندی زراعی-بوم شناختی بخشی از اراضی قزوین برای کشت گندم با استفاده از RS و GIS، نشان داد که نوع خاک و توپوگرافی تأثیر بیشتری نسبت به متغیر اقلیم در پهنه‌بندی گندم دارند (۲۰).

پژوهشگران برای تعیین سطح زیرکشت زعفران در شهرستان تربت حیدریه از ۵ روش طبقه بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان، فاصله ماهالانویس، حداقل فاصله، حداکثر احتمال، متوازی السطوح<sup>۱</sup> استفاده کردند. به منظور تهیه نقشه پوشش گیاهی از دو شاخص NDVI و SAVI استفاده کردند. با توجه به تقویم زراعی زعفران، روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، با صحت کلی ۹۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹، بیشترین دقت را نشان داد (۱۶).

در تعیین قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و برآورد سطح زیرکشت زعفران شهرستان تربت حیدریه، از چندین شاخص پوشش گیاهی و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده شد و ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب ۰/۸۸ و ۹۸ درصد به دست آمد. همچنین، مساحت سطح زیرکشت زعفران در این مطالعه، ۱۹۵۰۳/۴۵۷۲ هکتار برآورد شد. با توجه به آمار سازمان جهاد کشاورزی مبنی بر ۲۲۰۰۰ هکتار سطح زیرکشت زعفران در سال ۱۳۹۳، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ از قابلیت بالایی برای تفکیک سریع اراضی زعفران در منطقه و تعیین سطح زیرکشت با دقت تقریباً مناسب برخوردار بودند (۷).

در تعیین و بررسی سطح زیرکشت محصولات زراعی در ناحیه لنجانان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با بهره

۳۸۴۱۲ هکتار میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۵۲۲ متر و میانگین بارش سالیانه ۶۲۷ میلی‌متر است (شکل ۱). محصولات گندم و جو (۱۰۰۰۰ هکتار) و برنج (۳۰۰۰ هکتار) عمده کشت زراعت این پهنه را تشکیل می‌دهند (۵).

برای برآورد سطح کلی محصولات زراعی پهنه و تفکیک محدوده کشاورزی از سایر مناطق از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنجده OLI مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور در سال ۲۰۱۸، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، استفاده شد. زمان برداشت تصاویر منطبق با مرحله رشد محصولات در منطقه بود. این تصاویر از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov>، دانلود شده که مربوط به ردیف<sup>۵</sup> ۳۷ و گذر<sup>۶</sup> ۱۶۶، است. به منظور جمع آوری اطلاعات تکمیلی و فهرست‌برداری محصولات انتخابی برای راستی آزمایی نتایج کار از تصاویر گوگل ارث<sup>۷</sup> و نقاط کنترل زمینی برداشت شده با دستگاه GPS گارمین مدل 64s، استفاده شد. از آمارهای وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶، برای ارزیابی نتایج انجام شد. گام‌های طبقه‌بندی به ترتیب زیر است:

(ANN)<sup>۱</sup>، ماشین بردار پشتیبان (SVM)<sup>۲</sup>، طبقه فاصله ماهالونویس (MDC)<sup>۳</sup> و بیشترین فاصله شباهت (MLD)<sup>۴</sup> و روش طبقه‌بندی نظارت نشده K-Means، ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که دقت کلی طبقه‌بندی، ۹۹/۱ درصد با ضریب کاپا ۰/۹۸ مربوط به روش شبکه-عصبی بود. پس از تحلیل داده‌ها، بهترین روش طبقه‌بندی برای شناسایی نخلستان‌ها، روش شبکه‌عصبی معرفی شد (۱۷).

با توجه به مرور منابع و موارد ذکر شده پایش سطح زیرکشت به کشاورزان امکان می‌دهد تا به صورت دقیق‌تر و کارآمدتر، منابع خود را مدیریت کرده و تصمیمات بهتری در خصوص کشت محصولات خود بگیرند. داده‌های به هنگام و قابلیت تحلیل تصاویر و همچنین امکان مطالعه یک محدوده وسیع و با دقت قابل قبول، کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مجریان بخش کشاورزی می‌کند.

هدف از این پژوهش، برآورد سطح زیرکشت محصولات زراعی دشت سیلاخور با استفاده از فناوری سنجش از دور و روش‌های تحلیل داده مبتنی بر هوش مصنوعی مانند ماشین بردار پشتیبان و شبکه‌عصبی مصنوعی است.

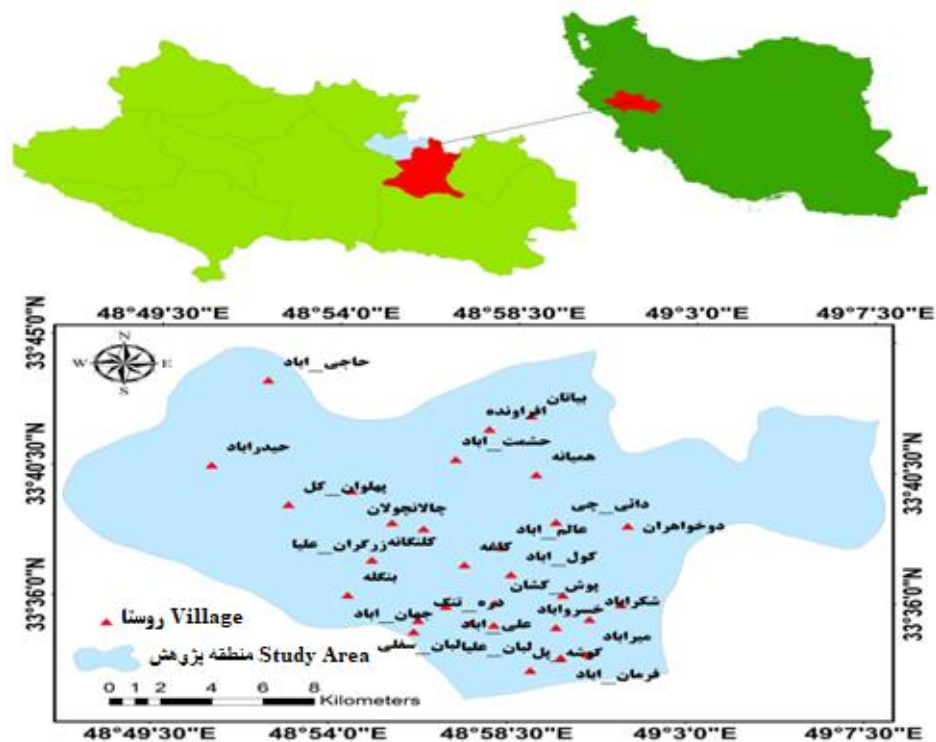
## مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت سیلاخور پایین، واقع در شهرستان درود استان لرستان، با مختصات از "۳۳° ۳۶' تا "۳۳° ۴۵' عرض شمالی و از "۴۸° ۴۹' تا "۷° ۳۰' طول شرقی، قرار دارد. مساحت کل این منطقه

- 
- 1- Artificial Neutral Network
  - 2- Support Vektor Machine
  - 3-Mahalanobis Distance Classifier
  - 4- Maximium Likelihood Classifier

---

1- Row  
2- Path  
3- Google Earth



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد پژوهش

Figure (1) Location of the studied area

گندم و جو، تصاویر ژوئن، جولای و آگوست (خرداد، تیر و مرداد) برای کشت‌های تابستانه، تصاویر سپتامبر، اکتبر و نوامبر (شهریور، مهر و آبان) برای کشت برنج، بر اساس چرخه فنولوژی محصولات در منطقه در نظر گرفته شدند. در فروردین ماه، عمده کشت محصولات منطقه به گندم و جو اختصاص داشت و کشت‌های تابستانه در مراحل تهیه زمین بود. همچنین، محصول برنج نیز که عمده سطح کشت منطقه را بعد از گندم و جو داشت، هنوز کشت نشده بود. همچنین، در اواسط شهریور، برنج در اوج مرحله بلوغ قرار داشت که سبزیگی و بازتاب بالایی داشته و تقریباً در این زمان، محصولی دیگر در سطح منطقه کشت نمی‌شد. نتایج پژوهش پژوهشگران نیز نشان داده است که تفکیک‌پذیری غلات در دوره‌ی بلوغ محصولات نسبت به دوره‌ی رشد چشمگیرتر است (۶). مقایسه تقویم زراعی محصولات کشاورزی مختلف منطقه برای تعیین زمان مناسب تهیه تصویر در هر دو مرحله تصویربرداری در جدول (۱)، نشان داده شده است.

### انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مناسب

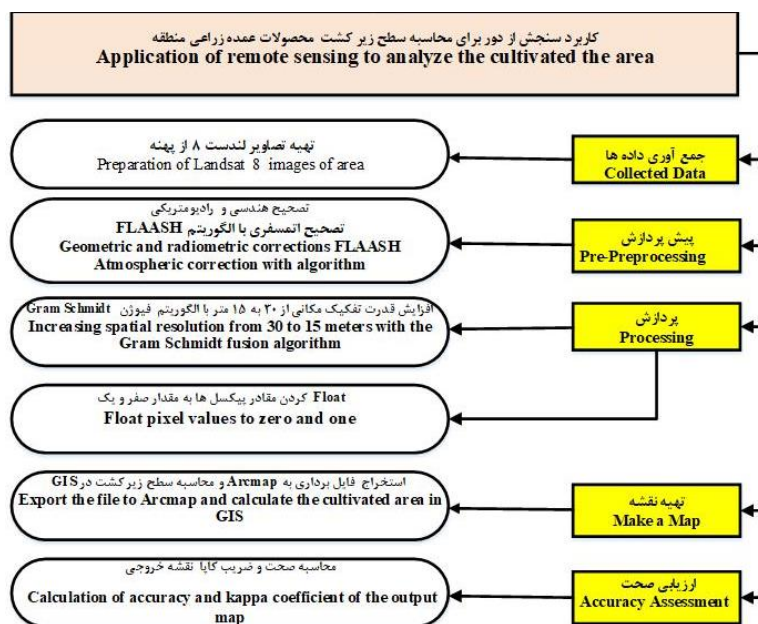
به دلیل چرخه فنولوژی مشابه بین بعضی محصولات مثل غلات (گندم و جو)، نمی‌توان از یک تصویر برای تفکیک و استخراج سطح کلی زیرکشت محصولات زراعی عمده منطقه استفاده کرد. بنابراین، در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها از تصاویر ماه‌های مختلف سال برای محصولات زراعی گوناگون استفاده شد. برای استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای و تعیین دامنه زمانی مناسب به منظور تهیه تصاویر، ابتدا با مراجعه به مراجع موجود و نیز مراجعه به منطقه و با کمک کشاورزان و مالکان اراضی و همچنین بر اساس اطلاعات دریافتی از اداره جهاد کشاورزی شهرستان دورود، ۱۲ تصویر مربوط به سال ۲۰۱۸ میلادی (سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶)، انتخاب شد. تصویر ماه‌های فوریه و می (بهمن و اردیبهشت)، به دلیل پوشش ابری بالا، از روند تحلیل و تفسیر تصاویر حذف شد. در ادامه تصاویر ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل (دی، اسفند و فروردین) برای کشت

باقری و همکاران: پایش سطح زیر کشت و طبقه بندی..

جدول (۱) مقایسه تقویم زراعی و چرخه فنولوژیکی محصولات غالب در دشت سیلاخور

Table (1) Comparing the farming calendar and phenological cycle of dominant crops in Silakhor plain

وضعیت رویشی محصول در زمان برداشت تصویر	وضعیت زمین خارج از زمان برداشت تصویر	تصویر محدوده زمانی	محصول غالب منطقه
Vegetative grade in the period of taking images	Ground grade out of the period range of taking images	TimePeriod of image	Main crop of the area
شروع تا اوج سبزیگی Beginning to the highest of greenness	مرحله تهیه زمین، برداشت نشده، کاملاً برداشت شده و بازتاب خاک غالب است. Tillage stage, unharvested, completely harvested, and soil reflection is dominant.	بهمن، اسفند و فروردین Feb, Mar, Apr	گندم و جو Wheat and Barley
شروع تا اوج سبزیگی Beginning to the highest of greenness	مرحله تهیه زمین، برداشت نشده، کاملاً برداشت شده و بازتاب خاک غالب است. Tillage stage, unharvested, completely harvested, and soil reflection is dominant	اردیبهشت، خرداد و مرداد May, Jun, July	کشت‌های تابستانه Summer Crops
شروع تا اوج سبزیگی Beginning to the highest of greenness	مرحله تهیه زمین، برداشت نشده، کاملاً برداشت شده و بازتاب خاک غالب است. Tillage stage, unharvested, completely harvested, and soil reflection is dominant.	شهریور، مهر و آبان Sep, Oct, Nov	برنج Rice



شکل (۲) مراحل کار طبقه‌بندی و تولید نقشه کشت محصولات زراعی

Figure (2) Work Flow of classification and production of crop cultivation maps



## پیش پردازش تصاویر

پس از بارگیری تصاویر، تصحیح اتمسفری به وسیله الگوریتم Quick Atmospheric Correction، انجام شد. در ادامه برای افزایش قدرت تفکیک مکانی تصاویر لندست، از باند پانکروماتیک با توان تفکیک مکانی ۱۵ متر برای افزایش توان تفکیک مکانی دیگر باندها از ۳۰ متر به ۱۵ متر، استفاده شد. از روش گرم اشمیت<sup>۱</sup>، برای ادغام تصاویر استفاده شد (۲۵).

## پردازش تصاویر

### تعریف طبقه‌ها

در تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه سیلاخور، پنج طبقه شامل، مزارع کشت غلات زمستانه (گندم و جو دیم)، مزارع کشت آبی (یونجه، کلزای آبی، گندم و جو آبیو سبب زمینی)، مزارع کشت برنج، مزارع صیفی جات (خیار، گوجه فرنگی، خربزه و هندوانه) و اراضی غیر کشاورزی در نظر گرفته شدند.

### استخراج شاخص NDVI

از شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده<sup>۲</sup>، به عنوان یکی از پرکاربردترین محاسبات بانندی به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، استفاده شد (۱۶). در این پژوهش محدوده بازتاب (۰/۳ تا ۱)، استفاده شد. در نهایت پس از اعمال شاخص NDVI، و تعیین حد آستانه مناسب روی تصاویر منتخب، مناطق زیرکشت شناسایی و با انتقال به نرم افزار ArcGIS، در قالب یک فایل برداری، سطح زیرکشت محصولات عمده و استراتژیک منطقه محاسبه شد. پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای برداشت شده، در نرم افزار ENVI5.3.1، انجام شد. فرآیند پیش‌پردازش و پردازش تصاویر در شکل (۲)، آمده است.

## ارزیابی صحت کلی طبقه‌بندی

از بین ۴ روش مرسوم طبقه‌بندی (شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، حداکثر احتمال شباهت، حداقل فاصله) به علت دقت بالاتر، روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی انتخاب شد. پس از پایان طبقه‌بندی، نتایج حاصل از طریق مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی و نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، صحت تصویر طبقه‌بندی ارزیابی شد. استفاده از GPS، برای تعیین موقعیت نقاط کنترل زمینی از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این نقاط به عنوان مراجعه برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. دقت بالا و قابل اعتماد بودن موقعیت این نقاط برای انجام فعالیت‌های مرتبط با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای بسیار حیاتی است. دقت موقعیت نقاط کنترل زمینی بسیار مهم است زیرا دقت این نقاط می‌تواند تأثیر زیادی بر دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای داشته باشد. در این پژوهش با استفاده از دستگاه GPS، موقعیت ۲۵۰ نقطه از کشت‌های مختلف در ۵ طبقه تفکیکی، برداشت شد. از این اطلاعات برای بهبود دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. برای تعیین صحت طبقه‌بندی از دو پارامتر دقت کلی<sup>۳</sup> و ضریب کاپا<sup>۴</sup> استفاده شد. پس از محاسبه سطح زیرکشت، نتایج با آمارنامه جهاد کشاورزی و مراکز خدمات کشاورزی منطقه مقایسه شد.

## نتایج و بحث

با بررسی نتایج مرتبط با پایش محصولات عمده زراعی منطقه و بر اساس جدول (۳)، مقدار NDVI، ۰/۵ است. غلات به‌ویژه گندم و جو در ماه فروردین در این منطقه در میانه رشد رویشی از لحاظ چرخه فنولوژی قرار دارند که مقدار NDVI، این محصولات در این مرحله رشد در بین محدوده ۰/۵-۱ است. طبق نتایج به‌دست آمده مساحت

- 1- Gram Schmidt
- 2- Normalized Deference Index
- 3- Kappa Coefficient
- 4- Accuracy Coefficient

- 3- Overall Accuracy
- 4- Kapa Coefficient

کشت این منطقه نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، اوج رسیدگی این طبقه در ماه پنجم (اردیبهشت ماه) است. این نمودارها با چرخه فنولوژی گندم و جو کاملاً سازگار است. شکل (۴، ج) نشان می‌دهد این گروه محصولات در سه ماهه اول سال میلادی NDVI، کمتر از ۰/۳ را داشته و رسیدگی آن‌ها در بین ماه پنجم و ششم به بالاترین مقدار رسیده و در ماه‌های هفتم، هشتم و نهم مقدار این شاخص از ۰/۷ کمتر نمی‌شود و نشان‌دهنده تابستانه بودن این کشت‌ها است. زیرا طی هفته‌های میانی تابستان، به تناوب و به صورت دوره‌ای برداشت می‌شوند. شکل (۴، د)، بیانگر کشت‌های آبی منطقه است و دلیل این امر این است که همان‌طور که شاخص طیفی این گروه نشان می‌دهد، در بعضی ماه‌ها مقدار NDVI، به شدت افت پیدا می‌کند که به علت آبیاری این محصولات در آن زمان است، زیرا آب و کشت‌های غرقابی سبب افزایش جذب امواج الکترومغناطیسی و کاهش بازتاب در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک می‌شود. شاخص NDVI، در شکل (۴، و)، بسیار پایین بوده و این شاخص در اکثر ماه‌های سال کمتر از ۰/۳ دارد. مناطق خالی از پوشش گیاهی و غیر کشاورزی چنین رفتار طیفی از خود نشان می‌دهند.

اراضی زراعی گندم و جو منطقه، ۱۰۶۳۹ هکتار برآورد شد که در مقایسه با نتایج آمارنامه جهاد کشاورزی یعنی ۹۹۵۶/۵۶ هکتار، خطایی حدود ۶/۸ درصد را نشان می‌دهد که بنا به نتایج پژوهش‌های قبلی در این زمینه، قابل قبول و دارای اعتبار است (۱۳).

شکل (۳)، محدوده NDVI، ۰/۵ تا ۱، مزارع گندم و جو در را نشان می‌دهد. پراکندگی این دو کشت، در کل بهینه سیلاخور است؛ اما در بخش‌های غربی و شمال غربی این ناحیه بیشتر است. همچنین سطوح کشت غیر از گندم و جو، به صورت رنگ سفید، نشان داده شده است.

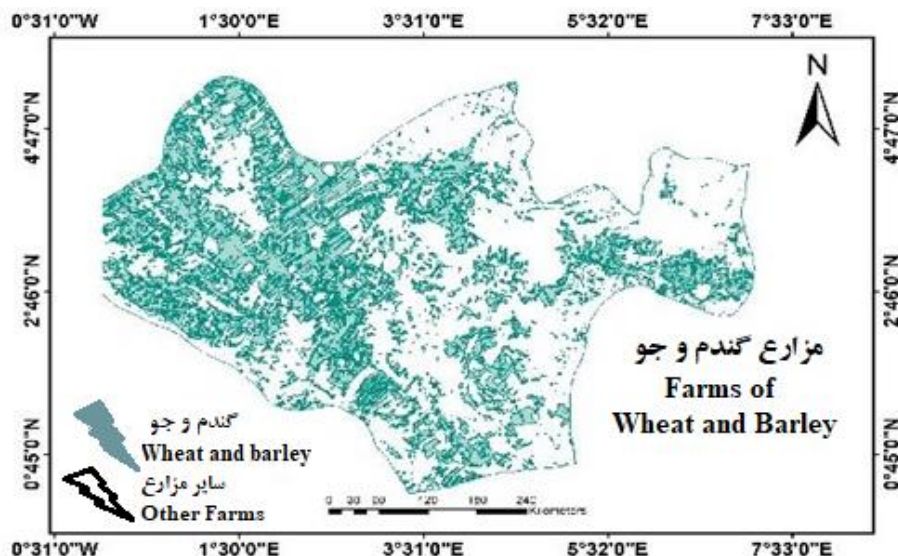
### نتایج طبقه بندی و تهیه نقشه کشت محصولات زراعی منطقه

در شکل (۴)، ۱۰ نمونه شاخص طیفی از هر یک از طبقه‌ها مربوط به تصاویر ده ماه از سال، نشان داده شده است. در شکل (۴، الف) که مربوط به تغییرات شاخص NDVI برنج در طول ماه‌های کشت است، نمونه‌های برداشت‌شده در یک محدوده طیفی قرار دارند و NDVI، محصول در سری زمانی تصاویر سنتینل در ماه‌های هشتم و نهم در محدوده بالاترین مقدار (عدد ۱)، قرار دارد که در منطقه پژوهش، بین مرداد و شهریور ماه کشت برنج در اوج رسیدگی قرار دارد. شکل (۴، ب)، تغییرات شاخص NDVI گندم و جو را در طول ماه‌های

جدول (۳) برآورد مساحت سطح زیر کشت محصولات عمده

Table (3) Area under cultivation of major crops with the help of NDVI index in the

نرخ خطا (درصد)	آمارنامه (هکتار)	برآورد سنجنش از دور (هکتار)	نوع محصول
Error (%)	Year book data (ha)	Remote sensing estimation (ha)	Crop Type
+6.8	9956.56	10639	گندم و جو Wheat and Baeley



شکل (۳) مزارع زیرکشت گندم و جو در فروردین ماه  
Figure (3) Farms under wheat and barley cultivation (April)

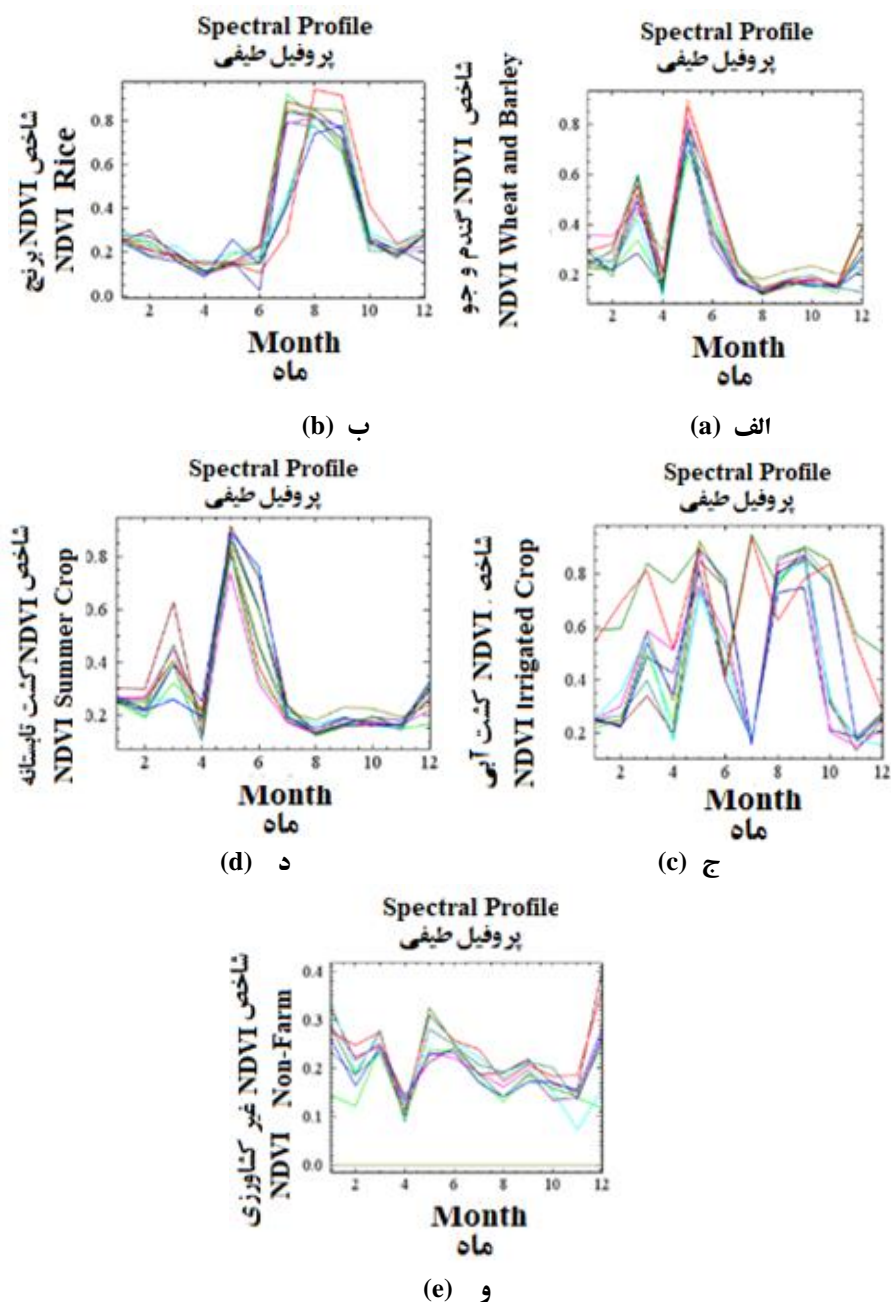
عدد ۲ دارند که نشانه تفکیک پذیری بالای این طبقات است. لازم به ذکر است که معمولاً از شاخص تبدیل واگرایی به تنهایی برای تفکیک طبقه‌ها استفاده نمی‌شود و بلکه ضریب کاپا و ضریب صحت کلی نیز استفاده شدند. پس از بررسی اولیه الگوریتم‌های طبقه‌بندی شامل ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی، حداکثر احتمال شباهت، حداقل فاصله، نقشه بردار زاویه طیفی و متوازی السطوح در نرم افزار ENVI، دو الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی به لحاظ کیفیت و صحت و انطباق با واقعیات زمینی، انتخاب شدند. بهترین ترکیب زمانی، در سه تصویر مربوط به ماه‌های می، جولای و سپتامبر (اردیبهشت، تیر و شهریور) بود که برای مقایسه و صحت سنجی استفاده شدند. پس از طبقه‌بندی، نقشه‌های تولید شده، با داده‌های مرجع و واقعیت زمینی و با کمک تصاویر ماهواره‌ای موجود و نقاط برداشت شده با GPS مقایسه شد. در جدول (۵) ضریب کاپا و ضریب صحت کلی طبقه‌بندی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. ضریب کاپا یک معیار آماری است که برای اندازه‌گیری میزان توافق بین دو مشاهده یا دو روش اندازه‌گیری در یک مسئله طبقه‌بندی

در ادامه پس از اطمینان از اختصاص درست، شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی هر طبقه با چرخه فنولوژی محصولات موردنظر در آن طبقه طیفی، جدول (۴)، تبدیل واگرایی و واگرایی طبقه‌ها را نسبت به هم نشان می‌دهد. در نرم افزار ENVI، دو شاخص Jeffries Transformed و Matusita distance Divergence برای صحت نقاط برداشت شده (Roi)<sup>۱</sup>، وجود دارد که مقدار هر دو شاخص، بین صفر تا ۲ متغیر است. حد آستانه نقاط برداشت شده بالاتر از ۱/۹ معتبر است. اگر مقدار تفکیک طبقه‌ها، کمتر از یک باشد، به احتمال زیاد طبقه‌های انتخابی با اختلاط رو به رو هستند. بر اساس این شاخص، ۵ طبقه تفکیکی به صورت زوج مقایسه‌ای سنجیده می‌شوند. نتایج نشان داد که مقدار تفکیک طبقه معرف کشت گندم و جو با طبقه معرف کشت برنج، طبقه معرف کشت برنج با طبقه معرف مناطق غیرکشاورزی و طبقه معرف کشت آبی با طبقه معرف مناطق غیرکشاورزی، مقدار واگرایی برابر با دو، دارند که نشان می‌دهد امکان تداخل طیفی این طبقات کاملاً منتفی است و تفکیک پذیری کاملی بین آن‌ها برقرار است. بقیه طبقات هم مقداری نزدیک به

1- Region of Interest

2- Spectral Angle Mapper

باقری و همکاران: پایش سطح زیر کشت و طبقه بندی..



شکل (۴) شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر سری زمانی

(الف: برنج؛ ب: گندم و جو؛ ج: کشت تابستانه؛ د: کشت آبی؛ و: زمین‌های غیر کشاورزی)

Figure (4) NDVI index extracted from images (2018 time series)

(a: rice; b: wheat and barley; c: summer crop; d: irrigated crop; e: non-agricultural land)

یک، نشان‌دهنده توافق کامل بین دو طبقه و ارزش صفر، نشان‌دهنده توافق تصادفی است. ضریب صحت کلی این معیار نشان‌دهنده میزان صحت کلی طبقه‌بندی مدل است.

مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ضریب بر اساس میزان توافق مشاهده‌شده نسبت به توافق تصادفی محاسبه می‌شود. معمولاً دامنه ضریب کاپا بین -۱ و ۱ است. ارزش

صورت مجزا، از پارامترهای دیگری نظیر دقت کاربر و دقت تولیدکننده استفاده می‌شود. بر اساس جدول ۶، بیشترین دقت کاربر در کشت تابستانه در هر دو روش ۹۱/۹ درصد است و دقت تولیدکننده برای اراضی غیرکشاورزی و اراضی برنج بیشترین مقدار را داشته‌است. تک مؤلفه‌هایی نظیر دقت کلی و ضریب کاپا نتایج کلی طبقه‌بندی را نشان می‌دهند و اطلاعاتی در مورد تک‌تک طبقه‌ها ارائه نمی‌دهند. دقت کاربر مربوط به اطلاعات زمینی و برداشت‌های مکانی کشت‌های مختلف و دقت تولیدکننده مربوط به تحلیل‌ها و برداشت‌های نرم‌افزاری است.

در مقایسه با نتایج پژوهش‌های قبلی، تعیین و بررسی سطح زیرکشت محصولات زراعی در ناحیه لنجان با استفاده از تصاویر ماهواره ای مشابه پژوهش حاضر سطح زیر کشت گندم و جو تقریباً با ۶ درصد خطای منفی برآورد شد (۱۸). مشابه این پژوهش، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی کشت زعفران در تربیت حیدریه از دقت نسبتاً مناسب در مقیاس منطقه‌ای برخوردار است (۷).

نتایج برآورد سطح زیر کشت گندم در دو شهرستان همدان و بهار، سطح زیر کشت گندم با دقت مناسب با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. (۶).

پژوهش حاضر در ارزیابی و قابلیت طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل ۲، و ضریب کاپا و صحت کلی ۰/۷۴ و ۶۸ درصد نتایج بهتری نسبت به پژوهش تعیین سطح زیر کشت ارقام پسته داشت (۲۳).

در شناسایی زمین‌های زراعی و انواع محصولات خاص از جمله تنباکو، گندم، جو و گرم و همچنین الگوهای زیر کشت گندم- تنباکو، گندم- گرم، گندم- جو و گندم- ذرت از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و لندست ۸ با کمک الگوریتم‌های سنجش از دور روش بردار ماشین مانند این پژوهش نتایج قابل قبول‌تری داشت (۲۲).

برای بررسی بهتر الگوی کشت منطقه در شکل (۵)، کاربری‌های غیر کشاورزی به صورت رنگ طوسی نمایش داده شده است و پراکندگی محصولات عمده

با در نظر گرفتن نقطه کنترل زمینی، این دو معیار به ما کمک می‌کنند تا بفهمیم که مدل طبقه‌بندی چقدر دقیق است و چه میزان با نتایج واقعی تطابق دارد.

با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه-عصبی، کاربری و پوشش اراضی شامل مزارع گندم و جو، برنج، مزارع کشت تابستانه (عمدتاً هندوانه، سیب‌زمینی، خیار و گوجه)، مزارع کشت آبی (یونجه و سیب زمینی) و اراضی غیرکشاورزی (شامل مرتع و زمین بایر) شناسایی شد. پس از طبقه‌بندی، در جدول (۶)، ماتریس خطای نتایج طبقه‌بندی شده به همراه خطاهای امیسیون<sup>۱</sup> و کمسیون<sup>۲</sup>، دقت کاربر<sup>۳</sup> و دقت تولیدکننده<sup>۴</sup> ارائه شده است. خطای امیسیون به این معنی است که الگوریتم یک نمونه را به عنوان منفی دسته‌بندی کند؛ در حالی که در واقع باید به عنوان مثبت دسته‌بندی می‌شد. به عبارت دیگر، الگوریتم یک واقعیت را اشتباهاً نادیده بگیرد. این خطا به معنی از دست دادن موارد مهم است و ممکن است در مواردی که شناسایی یا تشخیص یک وضعیت خاص بسیار حیاتی است. خطای کمسیون، به این معنی است که الگوریتم واقعیتی را که واقعاً وجود ندارد به عنوان واقعیت موجود تشخیص می‌دهد. این خطا به معنی ایجاد اشتباهات مثبت است و ممکن است منجر به اتخاذ تصمیمات نادرست یا ایجاد هزینه‌های ناخواسته شود. هدف در طراحی الگوریتم‌های یادگیری ماشینی این است که خطای امیسیون و کمسیون را به حداقل برسانیم. این معمولاً با تنظیم پارامترها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی و انتخاب مناسب ویژگی‌ها و داده‌ها انجام می‌شود. کمترین مقدار خطای کمسیون در هر دو روش طبقه‌بندی، ۸/۱۱ درصد، مربوط به کشت تابستانه بود و خطای امیسیون در اراضی غیر کشاورزی در روش ماشین بردار پشتیبان ۰/۵ و در روش شبکه عصبی مصنوعی ۲/۵ درصد بود. برای برآورد دقت هرکلاس به

- 1- Omission
- 2- Commission
- 3- User Accuracy
- 4- Producer Accuracy

باقری و همکاران: پایش سطح زیر کشت و طبقه بندی..

شبکه عصبی به درستی به عنوان منطقه غیر کشاورزی تشخیص داده شده است. در بقیه موارد هر دو الگوریتم با توجه به واقعیت های زمینی، از دقت مناسبی برخوردارند. در مجموع با این روش های طبقه بندی، کشت های گندم و جو به دلیل چرخه فنولوژی یکسان و تقویم زراعی مشابه، قابل تفکیک نیست. به همین دلیل این دو کشت با هم در یک طبقه در نظر گرفته شدند. اما چنانچه ترکیب زمانی مناسبی برای شاخص NDVI، در مورد کشت برنج لحاظ شود این کشت به خوبی قابل تشخیص است. در هر دو تصویر شکل (۵ و ۶)، مناطق آبی و فیروزه ای به این کشت اختصاص دارد. کشت های تابستانه شامل کشت هندوانه، خیار، گوجه و سیب زمینی است که با رنگ سبز در هر دو شکل (۵) و (۶)، نشان داده شده است. در نهایت عمده کشت های آبی (شامل یونجه، که در تمام سال شاخص NDVI، بالایی از خود نشان می دهند و همچنین کلزای آبی و گندم و جو آبی) با رنگ صورتی نمایش داده شده است.

منطقه شامل گندم و جو، کشت تابستانه، کشت های آبی و کشت برنج و سایر اراضی بر روی نقشه مشخص شده است. این شکل حاصل تحلیل نقشه کشت منطقه با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان است. شالیزارهای برنج که با رنگ آبی بر روی نقشه مشخص است، بیشتر در مجاورت رودخانه قرار دارند و در محدوده میانی ناحیه بیشتر از سایر مناطق دشت سیلاخور دیده می شوند. با فاصله گرفتن از رودخانه، کشت گندم و جو بیشتر شده و این اراضی در قسمت های مختلف منطقه پراکنده اند و بیشتر این اراضی در مناطق شمال غرب و جنوب شرقی منطقه دیده می شوند. در مجاورت با گندمزارهای شمال شرقی، محدوده مرتع و مناطق با ارتفاع بالا و غیر کشاورزی، در سطح وسیعی از اراضی مشاهده می شود که به کشت دیم اختصاص یافته است. در مقایسه با الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی شکل (۶)، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، سد مروک دورود واقع در موقعیت  $33^{\circ} 40' 0''$  عرض شمالی و  $49^{\circ} 5' 0''$  طول شرقی، را به عنوان کشت تابستانه در نظر گرفته است؛ در صورتی که این ناحیه یک پهنه آبی است. اما در الگوریتم

جدول (۴) مقایسات زوجی بر مبنای تبدیل واگرایی (واگرایی) طبقات انتخابی

Table (4) Pairwise comparisons based on divergence transformation of selected classes

طبقه ها Classes	برنج Rice	گندم و جو Wheat and Barley	کشت تابستانه Summer Crop	کشت آبی Irrigated Crop	غیر کشاورزی Non- Farm
برنج Rice	-	2	1.99	1.99	2
گندم و جو Wheat and Barley	2	-	1.99	1.99	1.98
کشت تابستانه Summer Crop	1.99	1.99	-	1.99	1.99
کشت آبی Irrigated Crop	1.99	1.99	1.99	-	2
غیر کشاورزی Non-Farm	2	1.98	1.99	2	-

جدول (۵) ضریب کاپا و ضریب صحت کلی طبقه‌بندی (با احتساب ۲۵۰ نقطه کنترل زمینی)

Table (5) Kappa coefficient and overall classification accuracy coefficient (including 250 ground control points)

صحت کلی Overall Accuracy	ضریب کاپا Cappa Coefficient	الگوریتم Algorithm
68	0.74	ماشین بردار پشتیبان Support Vector Machine
76	0.70	شبکه عصبی Neural Network

جدول (۶) ماتریس خطای نتایج روش‌های طبقه‌بندی

Table (6) Error matrix of the results of classification methods

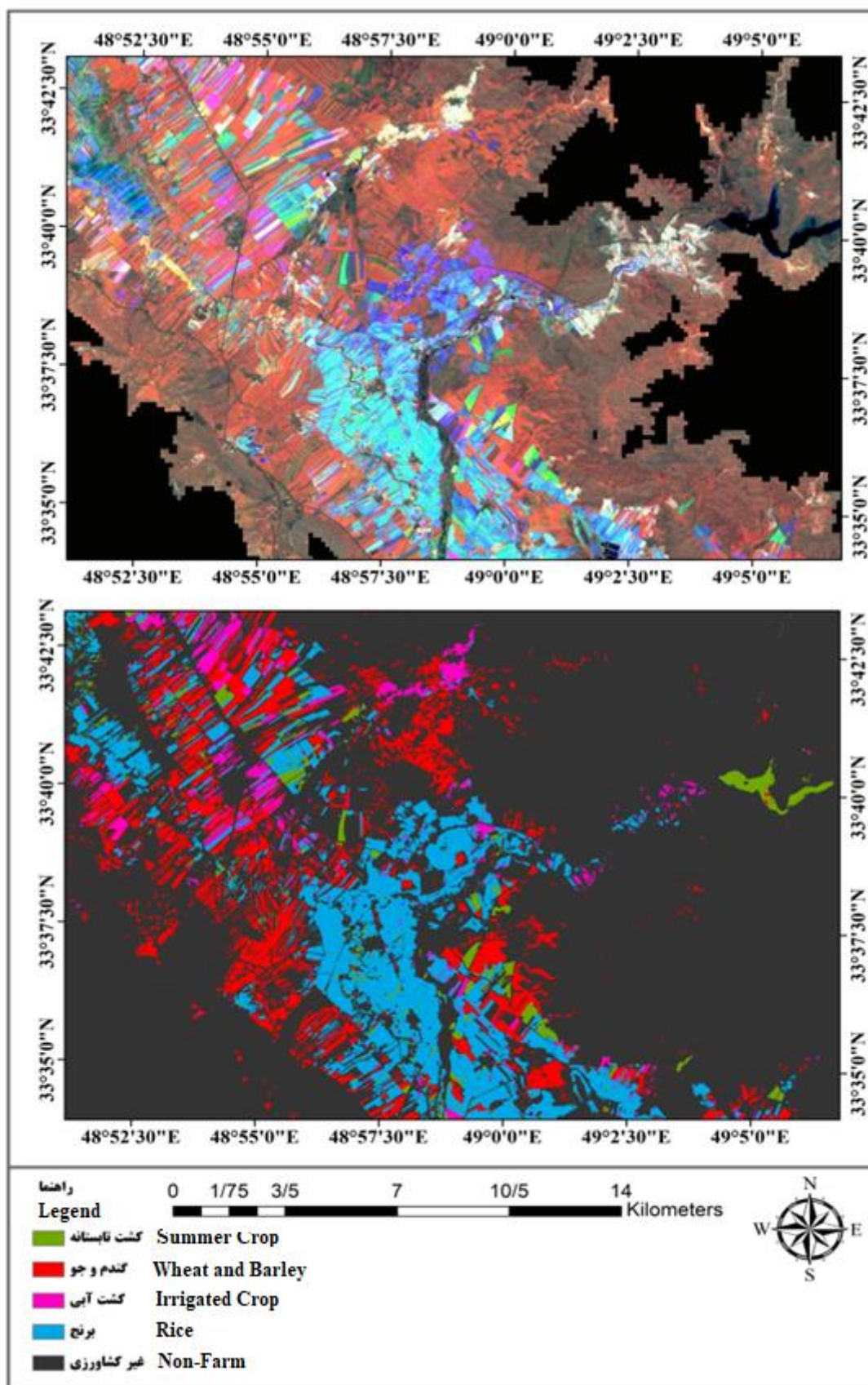
محصولات Crops	طبقه بندی Classification	برنج Rice	گندم و جو Wheat and Barley	کشت تابستانه Summer Crop	کشت آبی Irrigated Crop	غیر کشاورزی Non-Farm	خطای کمسیون Commission Error
برنج Rice	SVM	10	6	76	2	0	19.15
گندم و جو Wheat and Barley	ANN	10	8	76	4	0	22.45
کشت تابستانه Summer Crop	SVM	6	50	10	10	0	34.21
کشت آبی Irrigated crop	ANN	8	66	12	10	4	34.00
غیر کشاورزی Non-Farm	SVM	68	4	2	0	0	8.11
جمع Sum	ANN	68	4	2	0	0	8.10
دقت کاربر User accuracy	SVM	2	6	2	78	0	11.36
تولید کننده Producer Accuracy	ANN	2	4	2	74	0	9.74
	SVM	14	34	10	10	100	40.48
	ANN	12	18	8	12	96	34.25
	SVM	100	100	100	100	100	-
	ANN	100	100	100	100	100	-
	SVM	91.89	65.79	80.75	88.64	59.52	-
	ANN	91.89	66	77.55	90.24	65.75	-
	SVM	68	50	76	78	100	-
	ANN	38	66	76	74	96	-

ANN: شبکه عصبی مصنوعی، SVM: ماشین بردار پشتیبان

SVM: Support Vector machine ANN: Artificial Neural Network

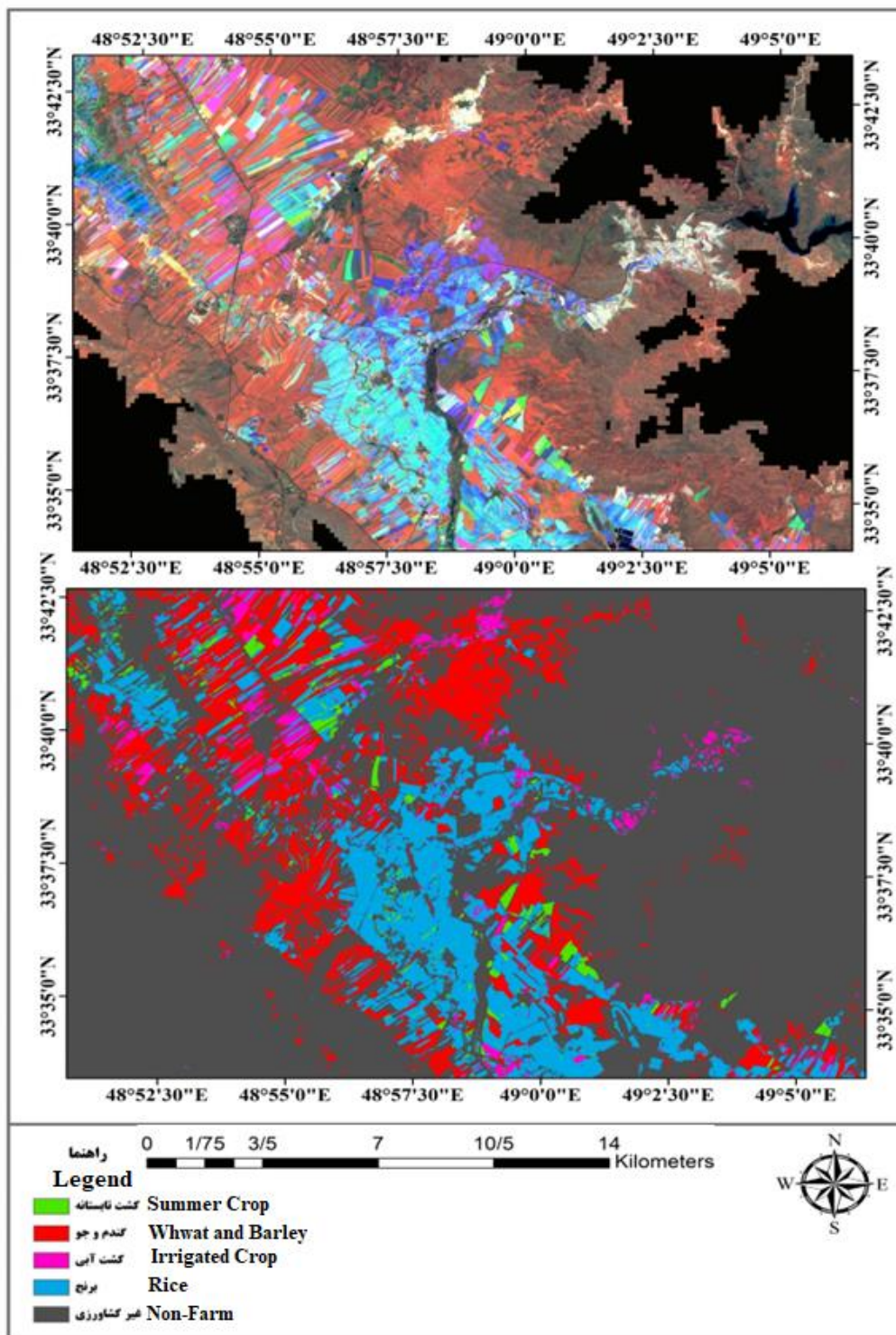


باقری و همکاران: پایش سطح زیر کشت و طبقه بندی..



شکل (۵) نقشه الگوی کشت منطقه با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (تصویر بالا پیش از فیوژن، تصویر پایین پس از فیوژن)  
 Figure (5) Cropping pattern of area map with support vector machine algorithm





شکل (۶)- نقشه الگوی کشت منطقه با الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی (تصویر بالا پیش از فیوژن، تصویر پایین پس از فیوژن)

Figure (6) Cropping pattern of area map with artificial neural network algorithm

### نتیجه گیری

در این پژوهش برای پایش سطح زیر کشت و تعیین مقدار مساحت کشت منطقه از تصاویر سنجنده ماهواره لندست ۸ و برای تهیه نقشه طبقه بندی از تصاویر سنتینل ۲ با تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده شد.

میزان NDVI، محصول در سری زمانی تصاویر سنتینل در ماه های هشتم و نهم در محدوده بالاترین مقدار (عدد ۱)، قرار دارد که در منطقه پژوهش، بین مرداد و شهریور ماه کشت برنج در اوج رسیدگی بود. اوج رسیدگی این طبقه در ماه پنجم (اردیبهشت ماه) است. مقدار شاخص دیورژانش نشان می دهد که در این پژوهش امکان تداخل طیفی بین طبقات کاملاً منفی است و تفکیک پذیری کاملی بین نقشه استخراجی محصولات وجود دارد. و به طور کلی نتایج نشان داد با توجه به عامل زمان و هزینه، برآورد سطح زیر کشت با این روش در مقایسه با روش نقشه برداری زمینی و نیز خطای ناشی از روش جمع آوری میدانی آمارهای کشاورزی که با دخالت انسانی بیشتری همراه است، روش قابل قبولی است.

ضریب کاپا و صحت کلی در روش ماشین بردار به- ترتیب ۰/۷۴ و ۶۸ درصد و در روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۰/۷۰ و ۷۶ درصد به دست آمد.

تک مؤلفه‌هایی نظیر دقت کلی و ضریب کاپا نتایج کلی طبقه بندی را نشان می دهند و اطلاعاتی در مورد تک تک طبقه ها ارائه نمی دهند. برای برآورد دقت هر طبقه به صورت مجزا، از مؤلفه دیگری نظیر دقت کاربر و دقت تولیدکننده استفاده می شود. بالاترین دقت کاربر در کشت در هر دو روش ۹۱/۸۹ درصد است و دقت تولیدکننده برای اراضی غیرکشاورزی و اراضی برنج بالاترین مقدار را داشته است.

تکنیک به کار رفته در این پژوهش برای تعیین سطح زیرکشت غلات به خصوص گندم و جو با توجه به مقایسات و کنترل زمینی موثر بوده ولی امکان جداسازی

این دو محصول در روش طبقه بندی کشت وجود ندارد. که برای این کار باید از سنجنده های با دقت بالاتر و روش های طیفی دیگر استفاده کرد.

در مقایسه روش های طبقه بندی، الگوریتم ماشین- بردار پشتیبان، سد مروک دورود واقع در موقعیت ۰° ۴۰' ۳۳" عرض شمالی و ۵۰° ۴۹' طول شرقی، را به عنوان کشت تابستانه در نظر گرفته است در صورتی که این ناحیه یک پهنه آبی است. اما در الگوریتم شبکه عصبی به درستی به عنوان منطقه غیرکشاورزی تشخیص داده شده است. در بقیه موارد هر دو الگوریتم با توجه به واقعیت های زمینی، از دقت مناسبی برخوردارند. در مجموع با این روش ها، طبقه بندی کشت های گندم و جو به دلیل چرخه فنولوژی یکسان و تقویم زراعی مشابه، قابل تفکیک نیست. به همین دلیل این دو کشت با هم در یک طبقه در نظر گرفته شدند. اما چنانچه ترکیب زمانی مناسبی برای شاخص NDVI، در مورد کشت برنج لحاظ شود این کشت به خوبی قابل تشخیص است و برای محاسبه دقیق تر سطح زیرکشت برنج، علاوه بر استفاده از تلفیق تصاویر مالتی اسپکترال از تصاویر راداری طول موج بلند هم استفاده شود. زیرا این تصاویر به دلیل تشخیص ارتفاع، قادر به تفکیک کشت برنج از سایر محصولات تابستانه که چرخه فنولوژی یکسانی با این محصول داشته یک روش کاربردی محسوب می شود.

### Reference

1. AbdelRahman, M. A. E., Natarajan, A., and Hegde, R. 2016. Assessment of land suitability and capability by integrating remote sensing and GIS for agriculture in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(1), 125-141. (in Persian with English abstract).
2. Ahmadi, S., and Hasani, H. 2023. Fusion of spectral and spatial information for agricultural crop classification in multi-temporal Sentinel images (Case Study: Qorveh County). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 15(1), 39-61. (in Persian with English abstract).
3. Ahmadpour, A., Solaimani, K., Shokri, M., and Ghorbani, j. 2011. Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. *Journal of RS and GIS for natural resources (journal of applied RS and GIS techniques in natural resource science)*, 2(2), 69-80. (in Persian with English abstract).
4. Alipour, A. 2018. Crop Production Planning Combining Economic and Environmental Priorities Case study: Varamin Agricultural Complex. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(1), 185-198. (in Persian with English abstract).
5. Anonymous, 2019. Agricultural statistics of the year 2017-2018, first volume: crops, Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication technology center.
6. Ashourloo, D., Matkan, A., Mirbagheri, B., and SHahri, M. 2014. Extracting wheat biomass using satellite data and geographically weighted regression. *Applied Field Crops Research (pajouhesh and sazandegi)*, (104), 121-128. (in Persian with English abstract).
7. Farzadmehr, J., and Tabaki\_Bajestani, K. 2018. Capability of landsat 8 satellite images to estimate the area under cultivation of saffron (case study: city of torbat heydarieh). *Aaffron Agronomy and Technology*, 6(1), 49-60. (in Persian with English abstract).
8. Felegari, S., Sharifi, A., Moravej, K., Amin, M., Golchin, A., Muzirafuti, A., Zhao, N. 2021. Integration of Sentinel 1 and Sentinel 2 Satellite Images for Crop Mapping. *Applied Sciences*, 11(21), 10104.
9. Hedayati, A., Vahidnia, M. H., and Aghamohammadi, H. 2022. Detection of Rice Fields in Rasht Township Using Multi-Temporal Landsat-8 Images. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 14(3), 15-30) . (in Persian with English abstract).
10. Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., Dedieu, G., Sepulcre, G., Bontemps, S., and Defourny, P. 2015. Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using high temporal and spatial resolution satellite optical imagery. *Remote Sens.* 7, 12356-12379.
11. Janalipour, M., and Taleai, M. 2017. Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 38(1), 82-99.
12. Karimi, N., Sheshangosht, S., and Eftekhari, M. 2022. Crop type detection using an object-based classification method and multi-temporal Landsat satellite images. *Paddy and Water Environment*, 20(3), 395-412.
13. Khajehdin, S., and Pourmanafi, S. 2007. Determination of rice paddies areas using digital data irs sensors around zayandeh rud in isfahan region. *Water and Soil Science (journal of science and technology of agriculture and natural resources)*, 11(1 (b)), 513-527. (in Persian with English abstract).
14. Mosadeghi, A., Akbari, N., Bakhshandeh, A., Sarmadian, F., Nasiri, B., and Soufizadeh, S. 2019. Agroecological zoning of wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems using RS and GIS in the Shavoor Plain of Khouzeestan. *Journal of Agroecology*, 11(4), 1527-1543. (in Persian with English abstract).

15. Mousavi, S. A., Janalipour, M., and Abbaszadeh Tehrani, N. 2021. Estimation of Agricultural Crop Yield Using Sentinel-2 Images (Case Study: Zanjan City). *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 13(2), 61-74. (in Persian with English abstract).
16. Rahimzadegan, M., and Pourgholam, M. 2015. Identification of the area under cultivation of saffron using landsat-8 temporal satellite images (case study: torbat heydarieh). *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resource Science)*, 7(4). (in Persian with English abstract).
17. Rahnama, S., Maharlooei, M., Rostami, M. A., and Maghsoudi, H. 2019. Determining the best classification algorithm in order to estimate the area under date palm cultivation using landsat 8 satellite imagery. *Journal of Agricultural Machinery*, 9(2), 321-335.
18. Riahi, V., Zeaiean Firouzabadi, P., Azizpour, F., and Darouei, P. 2019. Identification and investigation of the area under cultivation in Lenjanat using Landsat 8 satellite images. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 19(52), 147-169. (in Persian with English abstract). 19 (52) :147-169.
19. Shiba, B., Dlamini, S and Singwane, S. (2020). Remote Sensing for Sugarcane Crop Yield Estimation in Eswatini: Case of Lower Usuthu Smallholder Irrigation Project Sugarcane Farms. *International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries*. 8(1): 19-27.
20. Taati, a., and Sarmadian, F. 2014. Agro-ecological zoning of the qazvin area for wheat (*Triticum aestivum* L.) using RS and GIS. *Journal Of Agroecology*, 7(3), 368-380. (in Persian with English abstract).
21. Taheri Dehkordi, A., Valadanouzj, M. J., and Safdarinezhad, A. 2022. Cropland Mapping through Integration of Segmentation and Classification Techniques in Google Earth Engine. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 14(1), 1-20.
22. Tariq, A., Yan, J., Gagnon, A. S., Riaz Khan, M., and Mumtaz, F. 2023. Mapping of cropland, cropping patterns and crop types by combining optical remote sensing images with decision tree classifier and random forest. *Geo-spatial Information Science*, 26(3), 302-320.
23. Waldhoff, G., Lussem, U and Bareth, G. 2017. Multi-Data Approach for remote sensing-based regional crop rotation mapping: A case study for the Rur catchment, Germany. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 61, 55-69.
24. Zare\_khormizie, H., GHafarian\_malamiri, H.R., and Mortaz, M. 2020. Evaluation of supervised classification capability of landsat-8 and sentinel-2a satellite images in determining type and area of pistachio cultivars. *Journal of RS and GIS for natural resources (journal of applied RS and GIS techniques in natural resource science)*, 11 (1): 38. (in Persian with English abstract).
25. Zoleikani, R., Zoj, M. J. V., and Mokhtarzadeh, M. 2017. Comparison of pixel and object-oriented based classification of hyperspectral pansharpened images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 45(1), 25-33.