

# Fusion of Multispectral and Radar Images to Enhance Classification Accuracy and Estimate the Area under Various Crops Cultivation

Mehdi Saadikhani<sup>1</sup>, Mohadmehdi Maharlooei<sup>2\*</sup>, Mohamad Ali Rostami<sup>3</sup>, Mohsen Edalat<sup>4</sup>

1. MSc Student in Biosystems Mechanical Engineering, Department of Biosystems Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2. Assistant Professor of Department of Biosystems Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Cell number: 09177122035

(Corresponding Author Email: [maharlooei@uk.ac.ir](mailto:maharlooei@uk.ac.ir))

3. Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Resource Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

4. Associate Professor of Department of Agronomy and Plant Breeding, Shiraz University, Shiraz, Iran.

## Introduction

Remote sensing is the science of data acquisition about an object, a complication, or phenomena related to a geographic location without physical contact with them. The use of remote sensing data is rapidly expanding. Researchers have always been interested in classifying land coverage phenomena accurately using multispectral images. One of the factors that reduces the accuracy of the classification map is the existence of uneven surfaces and high-altitude areas. The presence of high-altitude points makes some difficulties for the sensors to obtain accurate reflection information from the surface of the phenomena. Radar imagery with the use of digital elevation model (DEM) is effective in identifying and determining altitude phenomena. Using specifications of two completely different sensors in order to take the advantageous of each sensor capabilities is called image fusion technique. In this study, the feasibility of employing the fusion technique to improve the overall accuracy of classifying land coverage phenomena using time series NDVI images of Sentinel 2 satellite imagery and PALSAR radar imagery of ALOS satellite was investigated. Also, the results of predicted vs. measured area of fields under cultivation of wheat, barley and canola were studied.

## Materials and Methods

Thirteen Sentinel-2 multispectral satellite images with 10-meter spatial resolution from the Bajgah region in Fars province dated from Nov 2018 to June 2019 were downloaded at the L1C processing level to classify the cultivated lands and other phenomena. Ground truth data were collected through several field visits using handheld GPS to pinpoint different phenomena in the region of study. Seven classes of land coverage and phenomena include 1) Wheat 2) Barley 3) Canola 4) Tree 5) Residential regions 6) Soil and 7) others were distinguished in the region. After preprocessing operations such as radiometric and atmospheric corrections using predefined built-in algorithms recommended by other researchers in ENVI 5.3 and cropping the region of study (ROI) from the original image, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated for each individual image. The DEM was obtained from the PALSAR sensor radar image with the 12.5-meter spatial resolution of the ALOS satellite. After preprocessing and cropping the ROI, a binary mask of radar images was created using threshold values of altitudes between 1764 and 1799 meters above the sea level in ENVI 5.3. The NDVI time series were then composed of all 13

images and integrated with radar image by pixel-level integration method. The purpose of this process was to remove the high-altitude points in the study area that would reduce the accuracy of the classification map. The image fusion process was performed using ENVI 5.3 as well. The support Vector Machine (SVM) classification method was employed to train the classifier for both fused and unfused images as promoted by literatures.

To evaluate the effectiveness of deploying image fusion, the Overall accuracy, Commission and Omission errors were calculated using a Confusion matrix. To study the accuracy of the estimated area under cultivation of main crops in the region vs. actual measured values of the area, regression equation and percentage of difference were calculated.

## **Results and Discussion**

Visual inspection of classified output maps shows the differences in classifying similar classes such as buildings and structures versus regions covered with bare soil and, lands under cultivation versus natural vegetation in high altitude points in the fused images when comparing them to the unfused images. These visual evaluations were verified by statistical metrics as well. The SVM algorithm in fusion mode provided 7.5% higher accuracy versus the non-fused image with 98.06% accuracy and 0.97 kappa coefficient.

As stated earlier, considering the similarities between the soil class (stones and rocks in mountains) and manmade buildings and infrastructures increase the omission error and miss classification in unfused image classification. The same problem was arisen, for crop lands additionally, due to shallow vegetation at high altitude points. These results were consistent with previous pieces of literature that reported the same miss classification in analogous classes. Considering the predicted vs. measured area under cultivation of wheat and barley show that predicted values were overestimated by 3 and 1.5 percent respectively but for canola, the area was underestimated by 3.5 percent with respect to annotations.

## **Conclusion**

The main focus of this study was employing the image fusion technique to improve the classification accuracy of satellite imagery. Integration of PALSAR sensor data from ALOS radar satellite with multi-spectral imagery of Sentinel 2 satellite, was acceptably enhanced the classification quality of output maps by eliminating the high-altitude points and biases due to rocks and natural vegetation at hills and mountains. Statistical metrics such as overall accuracy, Kappa coefficient, commission and omission errors also confirmed by the visual findings in fused vs. unfused classification maps.

**Keywords:** Confusion Matrix, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Radar Image, Sentinel 2 satellite, Support Vector Machine

# ادغام تصاویر چند طیفی و راداری به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی و برآورد سطح زیر

## کشت محصولات زراعی

مهدی سعدیخانی<sup>۱</sup>، محمدمهدی مهارلویی<sup>۲\*</sup>، محمدعلی رستمی<sup>۳</sup>، محسن عدالت<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

۲. دانشیار بخش مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

(نویسنده مسئول [maharlooei@uk.ac.ir](mailto:maharlooei@uk.ac.ir))

۳. استادیار پژوهش بخش فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران.

۴. دانشیار بخش زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

### چکیده

سنجش از دور فنّ به دست آوردن اطلاعات درباره یک شیء، عارضه و یا پدیده‌های مربوط به یک منطقه جغرافیایی خاص بدون تماس فیزیکی با آن‌ها است. دستیابی به دقت بالا در طبقه‌بندی عوارض سطح زمین به کمک تصاویر چندطیفی همواره مد نظر پژوهشگران بوده است. یکی از عوامل کاهش دقت نقشه طبقه‌بندی، ناهموار بودن سطح زمین است. وجود نقاط مرتفع موجب می‌شود که سنجنده در دریافت دقیق اطلاعات بازتابی از سطح پدیده‌ها با مشکل روبه‌رو شود. تصاویر رادار با ارائه مدل رقومی ارتفاع (DEM) در شناسایی و تعیین ارتفاع پدیده‌های سطح زمین موثر است. استفاده از خصوصیات تصاویر دو سنجنده کاملاً متفاوت به منظور بهره‌گیری از قابلیت‌های مثبت آن‌ها با کمک روش ادغام تصاویر ممکن می‌شود. در این پژوهش به منظور برآورد سطح زیر کشت و طبقه‌بندی محصولات زراعی و سایر پدیده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، از تصاویر چندطیفی ماهواره سنتینل ۲ مربوط به منطقه باجگاه واقع در استان فارس استفاده شد. بدین منظور سری زمانی NDVI متشکل از ۱۳ تصویر ایجاد و با تصویر راداری سنجنده PALSAR در سطح پیکسل، با هدف حذف نقاط مرتفع، تلفیق شد. نتایج این پژوهش نشان داد طبقه‌بندی تصاویر برای شناسایی مزارع زیر کشت محصولات مختلف بادقت بالایی انجام شده است و سطح زیر کشت با دقت ۹۷ درصد در گندم، ۹۹/۵ درصد در جو و ۹۶/۵ درصد در کلزا نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه تخمین زده شده است. تصاویر ادغام‌شده دارای دقت کلی ۹۸/۱ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۷ بود که دقت کلی را نسبت به تصاویر مجزا ۷/۵ درصد بهبود بخشید.

**کلید واژه‌ها:** سنتینل ۲، شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI)، ضریب کاپا، ماتریس آشفتگی، ماشین بردار پشتیبان

### مقدمه

سنجش از دور؛ فنّ به دست آوردن اطلاعات درباره یک عارضه و یا پدیده‌های مربوط به یک منطقه جغرافیایی است که از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های خروجی ابزاری است که در تماس فیزیکی با شیء و یا پدیده تحت بررسی نباشد (Lillesand et al., 2015). امروزه سنجش از

دور بیشتر به معنی مشاهده زمین از راه فضا بوده و با استفاده از ماهواره صورت می‌گیرد. برای این منظور می‌توان مشخصه‌های یک شیء و یا یک پدیده را بدون نیاز به منبع نور اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل کرد. در اصل، منبع داده‌های سنجش از دور تابش الکترومغناطیسی<sup>1</sup> است که از شیء یا پدیده بازتاب یا تشعشع می‌شود (Johnson, 2009).

امروزه پیدایش تصاویر ماهواره‌ای با پوشش دوره‌ای متناوب، ارائه جزئیات بیشتر، سرعت بالاتر و دقت قابل قبول، باعث گسترش کاربردهای سنجش از دوری و افزایش تقاضا به خدمات سنجش از دور شده است. با استفاده از این داده‌ها مناطق تحت پوشش در فواصل زمانی کمی پایش می‌شوند و نقشه‌هایی با جزئیات زیاد می‌توانند تولید شوند. از این تصاویر می‌توان در برنامه‌ریزی شهری اعم از مدیریت منابع طبیعی، گسترش شهری، برنامه‌ریزی شبکه حمل و نقل و نقشه‌برداری استفاده کرد (Ahmad, 2005).

با توجه به این‌که هدف اساسی فناوری سنجش از دور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمین است، بنابراین طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌شود. روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پوشش اراضی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند. انتخاب روش، به هدف مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد (Knorn et al., 2009).

نقطه‌ی عطف پژوهش‌های سنجش از دور در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل پوشش‌های گیاهی در تصاویر چندطیفی توسط روز<sup>2</sup> و همکاران در سال ۱۹۷۴ میلادی ارائه‌ی شاخص تفاضلی نرمالیزه‌ی گیاهی (NDVI) بوده است. این شاخص که تا به امروز به عنوان شاخص اصلی تجزیه و تحلیل گیاهان از تصاویر چند طیفی در مقالات و پژوهش‌های مختلف همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Nouri et al., 2017).

از میان این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش‌هایی با هدف کلی استخراج گیاه از تصویر (Malingreau et al., 1989)، برآورد نوع محصولات، مقدار سطح زیرکشت و پایش رشد گیاهان (Myneni et al., 1992)، طبقه‌بندی پوشش زمین (Senay Elliott, 2000)، تشخیص زود هنگام قحطی و خشکسالی (Kogan, 1995) براساس تحلیل داده‌ها سنجش از دور در یک بازه زمانی مشخص و همچنین آنالیز آب وهوا (Bounoua et al., 2000) اشاره کرد.

پایش و بررسی یک منطقه وسیع به نهادها و دستگاه‌های تصمیم‌گیر این امکان را می‌دهد تا بتوانند میزان سطح زیر کشت یک محصول خاص در یک منطقه را تعیین و تبع آن میزان تولید آن محصول را پیش‌بینی کنند، تا علاوه بر تامین امنیت غذایی جامعه، سیاست‌های اقتصادی کشور نیز در بخش واردات و صادرات محصولات کشاورزی به شکل دقیق‌تری تنظیم شود (Rahnama et al., 2019).

تغییر در پدیده‌ها و عرضه‌های زمینی در یک بازه زمانی به کمک داده‌های سری زمانی<sup>3</sup> قابل تحلیل و مطالعه است. این تحلیل‌ها امکان پیش‌بینی تغییرات در آینده را براساس آنچه در دوره‌های زمانی گذشته اتفاق افتاده است را فراهم می‌نماید. سری زمانی به ساده‌ترین مفهوم، عبارت است از ارزیابی تغییرات تدریجی که در بازه زمانی نسبتاً طولانی اتفاق افتاده است (Wang et al., 2014). بررسی محل، وسعت، نوع و تکرار تغییرات پوشش زمین، همچنین شناسایی الگوهای مکانی و زمانی تغییرات از طریق تفسیر و تجزیه و تحلیل نقشه‌های مکرر پوشش زمینی،

---

<sup>1</sup> Electromagnetic radiation

<sup>2</sup> Rouse

<sup>3</sup> Time Series Data

دیدنی وسیع از فرایندهای مسبب تغییر اساسی را فراهم می‌کند (Gomez et al., 2016).

استفاده از داده‌های به‌دست آمده از چندین سنجنده مزایای بسیار زیادی در مقایسه با استفاده از داده‌های حاصل از سنجنده‌های منفرد دارد. برای نمونه، استفاده از انواع داده‌های برداشت شده از طریق سنجنده‌های مختلف باعث افزایش دقت طیفی و مکانی در فرآیند مشاهده و تخمین می‌شود (Zhang et al., 2017). به همین دلیل امروزه، ادغام و ترکیب داده‌های مختلف به منظور دستیابی به اطلاعات جدید که حاوی جنبه‌های اطلاعاتی مفید در هر یک از داده‌های اولیه باشد، جایگاه ویژه‌ای دارد. در میان سنجنده‌های موجود، سنجنده‌های راداری و چندطیفی به علت توانایی بالا در جمع‌آوری اطلاعات ارتفاعی و طیفی مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند (Fang et al., 2017).

یکی از جدیدترین روش‌های مورد استفاده در سنجش از دور، ادغام تصویر<sup>۱</sup> است. این روش از شاخه‌های مربوط به ترکیب اطلاعات<sup>۲</sup> است که در آن دو یا چند تصویر متفاوت از یک صحنه مشابه توسط الگوریتم ادغام با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا تصویر جدیدی تولید شود (Efimov et al., 2018).

در پژوهشی که به منظور شناسایی و پهنه‌بندی گونه مهاجم تمشک کوهی (American Bramble) در یک پارک ملی در آفریقای جنوبی انجام شد نتایج ادغام تصاویر ماهواره سنتینل<sup>۳</sup> و لندست<sup>۸</sup> با باندهای راداری ماهواره سنتینل<sup>۱</sup> در طی فصول مختلف سال نشان داد که استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان در تصاویر ادغام شده ماهواره سنتینل<sup>۲</sup> با دقت ۷۶ درصد انجام شده است. این دقت برای تصاویر ادغام‌شده ماهواره لندست<sup>۸</sup> حدود ۷۲ درصد گزارش شده است (Rajah et al., 2018).

در پژوهش دیگری در کلمبیا به منظور شناسایی سطح زیر کشت درخت پالم (Palm Oil Tree) از داده‌های ماهواره سنتینل<sup>۲</sup> و باندهای راداری ماهواره سنتینل<sup>۱</sup> استفاده شد. داده‌ها در دو وضعیت استفاده از داده‌های باندهای مرئی ماهواره سنتینل<sup>۲</sup> بدون انجام ادغام و ادغام‌شده با باندهای راداری ماهواره سنتینل<sup>۱</sup> برای شناسایی درخت پالم با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین جنگل تصادفی<sup>۴</sup> تحلیل گردید. نتایج نشان داد بالاترین دقت کلی در طبقه درخت پالم ۸۲/۱۴ درصد بوده که در شرایط ادغام تصاویر بدست آمده است. این در حالیکه دقت طبقه‌بندی در وضعیت ادغام‌نشده حدود ۱۱/۵ درصد کمتر بوده است (Monsalve-Tellez et al., 2022).

وجود نقاط مرتفع در تصویر چندطیفی موجب ایجاد خطاهایی در تفکیک و طبقه‌بندی پدیده‌ها می‌شود. نتایج تحقیقی که در منطقه بم به منظور پایش سطح زیر کشت نخلستان خرما با استفاده از تصاویر ماهواره لندست<sup>۸</sup> انجام شد نشان داد که الگوریتم‌های طبقه‌بندی در تفکیک مناطق کوهستانی داری پوشش مرتعی با پدیده‌های زراعی که در مناطق کم‌ارتفاع قرار دارند، دچار خطا می‌شوند (Rahnama et al., 2018). نقشه خروجی فرآیند طبقه‌بندی حاوی پیکسل‌های مخلوط است که این امر موجب کاهش کمی و کیفی دقت طبقه‌بندی می‌شود. به علت قابلیت تصاویر راداری در ارائه مدل رقومی ارتفاع (DEM)، استفاده همزمان از تصویر راداری و تصویر چندطیفی می‌تواند در حذف مناطق مرتفع کوهستانی از تصویر موثر باشد.

<sup>1</sup> Image Fusion

<sup>2</sup> Data Integration

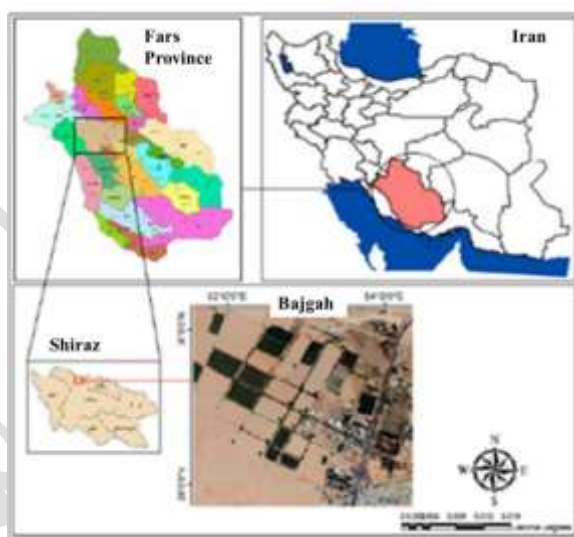
<sup>3</sup> Sentinel 2

<sup>4</sup> Random Forest

یکی از ماهواره‌هایی که داده‌های بسیار کاربردی در زمینه مطالعات علوم زمین تهیه و در اختیار کاربران قرار می‌دهد، ماهواره آلوس<sup>۱</sup> می‌باشد، که در ژاپن به‌عنوان دایچی<sup>۲</sup> شناخته می‌شود. این ماهواره دارای ۳ سنجنده است که سنجنده<sup>۳</sup> PALSAR آن رادار است. داده‌های خروجی ارتفاعی این سنجنده برای تهیه توپوگرافی و مطالعه پوشش‌های گیاهی بسیار مفید است. این پژوهش با هدف طبقه‌بندی پوشش گیاهی و محاسبه سطح زیر کشت زمین‌های زراعی و بررسی استفاده از روش ادغام تصویر چندطیفی ماهواره سنتینل ۲ و تصویر راداری ماهواره آلوس به منظور افزایش دقت نقشه طبقه‌بندی پوشش گیاهی و سایر پدیده‌های زمینی انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزارع دانشکده کشاورزی واقع در ۱۵ کیلومتری شهرستان شیراز انجام شد. شیراز در بخش مرکزی استان فارس، در ارتفاع ۱۴۸۶ متر بالاتر از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدلی دارد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در منطقه باجگاه در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شیراز و بین طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی واقع است. شکل ۱ محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محدوده مطالعاتی تحقیق

Fig 1. Study region map

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، نرم‌افزارهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفت. از نرم‌افزار ENVI<sup>۴</sup> (نسخه ۵،۳، توسعه یافته شرکت ITT VIS، آمریکا) به منظور پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، استفاده شد. این نرم‌افزار شامل ابزارهای تصحیح هندسی، تصحیح اتمسفری، تجزیه و تحلیل زمین، تجزیه و تحلیل تصاویر راداری، برخی قابلیت‌های GIS برداری و رستری، پشتیبانی تصاویر با

<sup>1</sup> Advanced Land Observation Satellite (ALOS)

<sup>2</sup> Daichi

<sup>3</sup> Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar

<sup>4</sup> Environment For Visualizing Images

فرمت‌های مختلف و غیره می‌باشد (Rahnama et al., 2018).

نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰٫۵، توسعه یافته شرکت ESRI، آمریکا) برای تبدیل انواع داده‌های رقومی به فرمت برداری و انتقال تصاویر پردازش شده جهت اعمال روش کارتوگرافی بهره گرفته شد. برای ثبت موقعیت زمینی پدیده‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، از یک سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) دستی (Garmin، مدل GPSMAP62s، تایوان) استفاده شد. نقاط ثبت شده در حافظه دستگاه، با استفاده از نرم‌افزار BaseCamp (نسخه ۱٫۱، توسعه یافته شرکت Garmin، تایوان) تخلیه و به صورت یک نقشه وکتوری مورد استفاده قرار گرفت. برای جمع‌آوری داده‌های سنجش از دور، از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ استفاده گردید. این ماهواره، دومین سری از ماهواره‌های سنتینل، از نوع مدار قطبی است که از ۱۳ باند طیفی در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز طول موج کوتاه برخوردار است. در این پژوهش از ۱۳ تصویر که از ۲۱ نوامبر ۲۰۱۸ تا ۳۰ ژوئن ۲۰۱۹ دریافت شده است، استفاده گردید. بر اساس اهداف تحقیق؛ از باندهای مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز طول موج کوتاه، در قالب یک دیتاست<sup>۱</sup> ۵ باندهای استفاده شد و مشخصات باندهای مورد استفاده جهت ایجاد دیتاست در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- باندهای مورد استفاده جهت ایجاد دیتاست

Table 1. Spectral bands used to create dataset

Spectral Band	Spatial resolution(m)	Wavelength (nm)
باند طیفی	توان تفکیک مکانی (متر)	طول موج (نانومتر)
Band 2(Blue) باند ۲ (آبی)	10	490
Band 3(Green) باند ۳ (سبز)	10	560
Band 4 (Red) باند ۴ (قرمز)	10	665
Band 8 (NIR) باند ۸ (مادون قرمز نزدیک)	10	842
Band 11(SWIR) باند ۱۱ (مادون قرمز موج کوتاه)	20	1610

به منظور حذف نقاط مرتفع، از تصاویر مدل رقومی ارتفاعی (DEM) سنجنده PALSAR ماهواره آلوس استفاده شد. تصاویر مورد استفاده از توان تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و توان تفکیک رادیومتریکی ۱۶ بیت برخوردار هستند که در فرایند ادغام با تصاویر ۱۰ متری ماهواره سنتینل ۲، نتیجه بسیار مطلوبی ارائه می‌دهد. ابعاد تصویر این ماهواره ۵۶۷۴×۶۳۸۲ پیکسل می‌باشد. عرض تصویر به دست آمده از سنجنده این ماهواره ۷۰ کیلومتر است (Abdikan, 2018).

برای به دست آوردن اطلاعات دقیق مرجع زمینی<sup>۲</sup> در مورد پدیده‌های موجود، طی چندین مرحله، به منطقه مورد مطالعه مراجعه و موقعیت جغرافیایی هر یک از پدیده‌ها (موقعیت جغرافیایی مزارع مختلف، ساختمان‌ها، زمین‌های آیش، جاده و ...) برداشت شد. نقاط برداشت شده به صورت یک فایل وکتوری وارد نرم افزار Arc Map شدند و پس از اصلاح سیستم مختصات فایل وکتوری، از نمونه‌های مربوط به هر کلاس به

<sup>1</sup> Dataset

<sup>2</sup> Ground Truth

صورت مجزا خروجی تهیه شد. سپس شیپ فایل<sup>۱</sup> مربوط به هر کلاس وارد نرم افزار ENVI 5.3 شده و نسبت به ساخت نمونه مرجع زمینی جهت فرایند اعتبارسنجی اقدام گردید. شکل ۲ نقاط برداشت شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



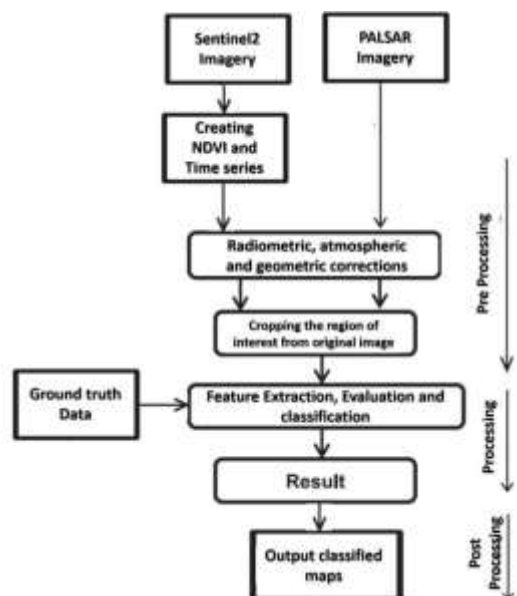
**شکل ۲-** نقاط برداشت شده با دستگاه GPS. نقاط با رنگ‌های مختلف برای تشخیص عارضه‌های مختلف زمینی است.

**Fig 2.** Marked points using handheld GPS. Points with various colors show different phenomena

مراحل انجام این مطالعه، شامل سه مرحله پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش است. مرحله پیش‌پردازش شامل دریافت تصاویر ماهواره‌ای از وب‌گاه شرکت‌های ارائه‌دهنده، تهیه تصاویر سری زمانی از تصاویر ماهواره سنتینل ۲، انجام تصحیحات مختلف و برش تصاویر اصلی هر دو ماهواره برای محدوده مورد مطالعه و در نهایت ادغام تصاویر است. مرحله پردازش شامل استخراج ویژگی‌ها، طبقه‌بندی عوارض و ارزیابی دقت طبقه‌بندی براساس داده‌های مرجع زمینی است. آخرین مرحله مربوط به پس‌پردازش داده‌ها می‌باشد که به تهیه نقشه‌های طبقه‌بندی شده می‌پردازد. روش انجام تحقیق و نحوه کار با تصاویر دریافتی از هر دو ماهواره در فلوچارت شکل ۳ آورده شده است.

<sup>1</sup> Shape File (\*.shp)





شکل ۳- فلوجارت مراحل آماده‌سازی و بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای برای طبقه‌بندی عوارض زمینی.

Fig 3. Flowchart of demonstrating preprocessing and employing satellite images to classify land cover phenomena.

با توجه به اینکه تصاویر مورد استفاده در این تحقیق از لحاظ سطح پردازش در سطح LIC قرار داشتند و در این سطح از پردازش معمولاً تبدیل‌های اصلی صورت نگرفته است، بنابراین بایستی پیش‌پردازش‌های مناسب بر روی باندهای تصویر انجام گیرد. قبل از پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، لازم بود باندهای مورد نیاز تصویر در قالب یک دیتاست ایجاد شده و سپس تصویر جدید در نرم‌افزار فراخوانی شود. به این منظور باندهای مورد نیاز که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ ارائه شد، به صورت تکی فراخوانی و از هر کدام از باندها به عنوان یک لایه<sup>۱</sup> جداگانه خروجی گرفته شد. در نهایت لایه‌ها با هم ترکیب شده و یک دیتاست ۵ باندهای ایجاد گردید.

در این مطالعه برای تصحیح خطاهای هندسی تصاویر ماهواره‌ای، از ابزار تصحیح هندسی نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد. همچنین، به منظور حذف اثرات اتمسفری در تصاویر مورد استفاده، از الگوریتم<sup>۲</sup> QUAC در نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده گردید. با توجه به اینکه تصاویر مورد استفاده در این مطالعه مربوط به زمان‌های مختلف بودند و با زاویه ارتفاعی و روش‌های مختلف برداشت می‌باشند، نیاز بود تا تصحیحات رادیومتریک و جوی روی تصاویر انجام شود. بدین منظور تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 و با روش کالیبراسیون<sup>۳</sup> تصحیح شدند، به این ترتیب که ابتدا مقادیر تابش<sup>۴</sup> تصویر با به کارگیری الگوریتم<sup>۵</sup> FLAASH محاسبه و در مرحله نهایی مقادیر بازتابش<sup>۶</sup> هر تصویر محاسبه گردید، و با استفاده از رابطه ۱ بازه مقادیر تصویر بین ۰ و ۱ تعریف شد.

$$\text{Rescale} = (Y \leq 0) \times 0 + (Y \geq 10000) \times 1 + (0 \leq Y \leq 10000) \times \frac{Y}{10000} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Layer

<sup>2</sup> Quick Atmospheric Correction

<sup>3</sup> Radiometric Calibration

<sup>4</sup> Radiation

<sup>5</sup> FLAASH Atmospheric Correction

<sup>6</sup> Reflection

## Y: تصویر خروجی الگوریتم FLAASH

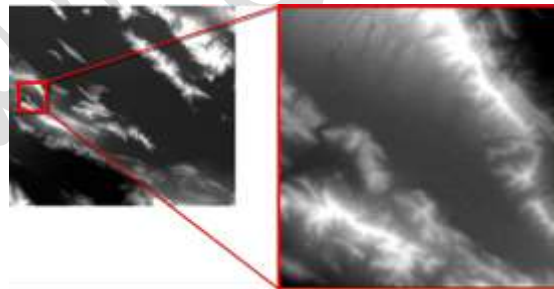
اندازه بزرگ تصاویر ماهواره سنتینل ۲ از سطح زمین (ابعاد هر تصویر  $10980 \times 10980$  پیکسل می‌باشد) و لزوم پردازش حجم وسیع از اطلاعات، موجب پیچیده و زمان‌بر شدن فرایند پردازش می‌شود. به همین دلیل برای افزایش سرعت کار و همچنین دقت فرایند پردازش، محدوده مورد مطالعه، با ابعاد  $540 \times 540$  پیکسل، از روی تصویر اصلی که مراحل پیش‌پردازش روی آن‌ها اعمال شده بود برش زده و جدا شد. فرآیند مذکور در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. نتیجه خروجی حاصل از برش تصویر، در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- تصویر اصلی و محدوده برش خورده دریافتی از ماهواره

Fig 4. Original satellite imagery and cropped region

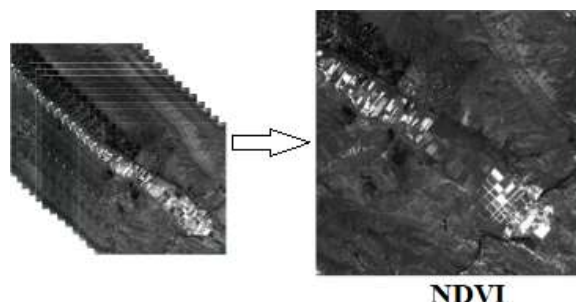
برای ادغام کردن تصاویر دو ماهواره مختلف باید مختصات جغرافیایی هر دو تصویر یکسان باشد، در غیر این صورت نتایج به‌دست آمده با خطا همراه خواهد بود. بدین منظور باید تصاویر راداری نیز مانند تصاویر چندطیفی از روی تصویر اصلی برش داده شوند. نکته مهم دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که، تصاویر راداری و چندطیفی برش خورده باید عینا با هم منطبق باشند تا در فرآیند ادغام خطا ایجاد نشود. نتیجه این فرآیند در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵- تصویر اصلی و محدوده برش خورده مدل رقومی ارتفاعی ماهواره راداری

Fig 5. Original and cropped DEM of radar satellite

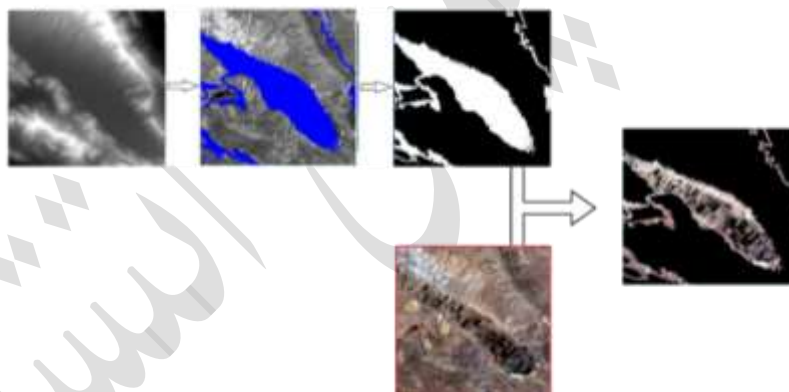
در این پژوهش به منظور طبقه‌بندی پدیده‌های سطح زمین در منطقه مورد مطالعه، از تصاویر سری زمانی حاصل از شاخص NDVI استفاده شد. به این ترتیب که با استفاده از رابطه ریاضی شاخص NDVI، در محیط نرم‌افزار این شاخص برای ۱۳ تصویر اخذ شده محاسبه و سپس تصاویر خروجی با هم ترکیب و دیتاست سری زمانی ایجاد شد. باندهای تشکیل دهنده تصویر سری زمانی تصاویر دریافت‌شده در تاریخ‌های مختلف در بازه زمانی یاد شده در مقدمه است. شکل ۶ مکعب دیتاست سری زمانی NDVI را ارائه می‌نماید.



شکل ۶- مکعب دیتاست سری زمانی NDVI

Fig 6. NDVI Time series dataset cube.

مراحل ادغام تصاویر راداری ماهواره آلوس با تصاویر چندطیفی ماهواره سنتینل ۲ در این پژوهش به طور خلاصه در شکل ۷ نشان داده شده است. بدین منظور ابتدا ارتفاع کلیه نقاط منطقه مورد مطالعه از ماهواره راداری استخراج و براساس نقشه‌های رقومی موجود، نقاط با محدوده ارتفاعی ۱۷۶۴ تا ۱۷۹۹ متر از سطح دریا آستانه‌گذاری شد و به رنگ آبی مشخص می‌شود و لایه ماسک با استفاده از ابزار Build Mask به صورت باینری (سیاه و سفید) در محیط نرم افزار ENVI 5.3 برای تصویر ماهواره ALOS تهیه شد. لایه ماسک ساخته شده در تصویر اصلی ضرب شد و به این ترتیب نقاط با ارتفاع مجاز که دارای مقدار عددی یک در لایه ماسک بود، در تصویر باقی ماند و سایر نقاط عمدتاً نقاط مرتفع کوهستانی حذف شدند. نتیجه نهایی فرآیند ادغام تصویر در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۷- مراحل آماده سازی لایه ماسک از تصاویر راداری و ادغام آن با تصاویر ماهواره سنتینل ۲

Fig 7. Procedure of preparing mask layer from radar imagery and fusing with Sentinel 2 satellite imagery

برای انجام فرآیند طبقه‌بندی در این تحقیق با توجه به نتایج پژوهش‌های مرتبط پیشین (Rahnama et al., 2019; Abdikan, 2018)؛ از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) تصاویر سری زمانی NDVI استفاده شد. این روش یک طبقه‌بندی‌کننده دودویی<sup>۱</sup> و خطی است که با استفاده از توابع کرنل، به منزله یک طبقه‌بندی‌کننده چندکلاسی و غیر خطی نیز به کار می‌رود (ArekhiAdibnejad, 2011). برای استفاده در حالت چندکلاسه، ابتدا باید چند طبقه‌بندی‌کننده دودویی طراحی شود و در نهایت طبقه‌بندی

<sup>1</sup> Binary

نهایی با استفاده از ادغام اطلاعات طبقه‌بندی‌کننده‌های دودویی انجام شود. انجام این فرایند با دو روش یکی در مقابل بقیه<sup>۱</sup> و دسته‌بندی زوج-زوج<sup>۲</sup> اجرا می‌شود. این دو روش به گونه‌ای سعی در استخراج اطلاعاتی از مرزهای بین کلاس‌ها دارند. در روش دسته‌بندی کردن زوج-زوج، میزان اطلاعاتی که از مرز بین کلاس‌ها استخراج می‌شود، بسیار بیشتر از اطلاعاتی است که با روش یکی در مقابل بقیه به دست می‌آید (ArekhiAdibnejad, 2011).

در مطالعه حاضر الگوریتم SVM با روش زوج-زوج مقادیر عامل جریمه<sup>۳</sup> و سطح هرم<sup>۴</sup> به صورت خودکار و بر اساس مقادیر نرم افزاری به ترتیب ۱۰۰ و ۰ در نظر گرفته شد. به منظور بررسی تاثیر ادغام تصاویر در دقت طبقه‌بندی، فرآیند طبقه‌بندی در دو وضعیت (۱) تصاویر سری زمانی ادغام‌شده ماهواره سنتینل ۲ با داده‌های راداری ماهواره آلوس و (۲) تصاویر سری زمانی بدون ادغام ماهواره سنتینل ۲ انجام شد. در این مطالعه برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی از عکس‌های هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و همچنین نقاط برداشت شده با دستگاه GPS در عملیات میدانی استفاده شده و سعی شد پیکسل‌های تعلیمی برای هر کلاس معین در داخل منطقه همگن با پراکنش مناسب ایجاد شود. تعداد پیکسل به کار گرفته شده در هر نمونه تعلیمی، حداقل به اندازه ده برابر تعداد باندهای طیفی سنجنده مورد استفاده انتخاب گردید (Tuia et al., 2014). جدول ۲ مشخصات داده‌های اعتبارسنجی مرجع زمینی را نشان می‌دهد. در این جدول کلیه عوارض زمینی موجود در منطقه مورد مطالعه طی بازدیدهای میدانی مشخص گردید و نام هر کلاس عارضه به همراه توصیف آن آورده شده است. تعداد نمونه‌های برداشت شده در هر کلاس نیز آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات نمونه‌های میدانی اعتبارسنجی برای طبقه‌بندی نظارت شده

Table 2. Specifications of ground truth annotation for supervised classification

کد کلاس Class code	نام کلاس Class Name	توصیف کلاس Class Description	تعداد نمونه‌ها Number of Samples
1	Wheat	Irrigated and rain fed wheat fields	130
2	Barley	Barley fields	80
3	Canola	Canola fields	120
4	Soil	Bare soil, uncultivated fields	110
5	Tree	Orchards and green belts	50
6	Reside	Niyayesh and Sadra town, administrative offices	50
7	ntial	Alfalfa and other minor crop fields	80
	Others		

پس از طبقه‌بندی، به منظور تعیین قابلیت داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه نتایج طبقه‌بندی با داده‌های زمینی با هدف ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی باید نتایج صحت سنجی شوند. از آنجایی که امکان کنترل تمام پیکسل‌های تصویر با واقعیت‌های زمینی وجود ندارد بدین منظور، باید از نمونه‌های آزمایشی به عنوان کلاس صحیح زمینی استفاده شود. ارزیابی خطا و برآورد صحت طبقه‌بندی معمولاً بر اساس

<sup>1</sup> One-against-all

<sup>2</sup> One-against-one

<sup>3</sup> Fine agent

<sup>4</sup> Surface of the Pyramid

پارامترهای آماری که از ماتریس آشفتگی<sup>۱</sup> استخراج می‌شود، انجام می‌گیرد. این ماتریس حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل نمونه‌های آموزشی در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است که دقت طبقه‌بندی کل تصویر را در یک جدول نشان می‌دهد ([Lillesand et al., 2015](#)).

با محاسبه پارامترهای دقت کلی<sup>۲</sup>، ضریب کاپا<sup>۳</sup>، خطای حذف شده<sup>۴</sup> و خطای گماشته<sup>۵</sup> کیفیت طبقه‌بندی مورد ارزیابی قرار گرفت ([Rahnama et al., 2019](#); [Palubinskas et al., 2011](#)).

از آنجا که دانستن سطح زیر کشت دقیق و برآورد مقدار تولیدی محصولات استراتژیک از اهمیت بسزایی برخوردار است، در این تحقیق پس از طی تمامی مراحل پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش، تصویر با بالاترین دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا انتخاب گردید و مساحت پدیده‌های موجود در تصویر محاسبه شد. با مقایسه مساحت‌های تخمین زده شده از تصاویر ماهواره‌ای و مساحت واقعی اراضی در منطقه که از طریق نمونه‌برداری‌های میدانی بدست آمده بود، دقت مساحت تخمین زده شده با استفاده از شاخص‌های درصد تغییر و معادله رگرسیونی ارزیابی شد.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این بخش ابتدا مقایسه‌ای کیفی بین تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از فرآیند ادغام تصاویر دو ماهواره سنتینل ۲ و آوس با نتیجه طبقه‌بندی تصویر ادغام‌نشده ماهواره سنتینل ۲ صورت می‌گیرد، سپس نتایج حاصل از طبقه‌بندی نظارت شده تصویر سری زمانی NDVI، در دو وضعیت ادغام شده و ادغام نشده ارائه می‌شود و در نهایت نتایج مربوط به اعتبارسنجی نقشه طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس آشفتگی به تفصیل بیان می‌گردد.

## طبقه‌بندی نظارت شده

طبقه‌بندی تصویر سری زمانی NDVI با استفاده از الگوریتم SVM انجام شد. با استفاده از این روش طبقه‌بندی، تعداد ۷ کلاس پدیده، تفکیک شد. الگوریتم در دو وضعیت ادغام شده و ادغام نشده به ترتیب، دقت کلی ۹۸/۰۶٪ (ضریب کاپای ۰/۹۷) و ۹۰/۴۸٪ (ضریب کاپای ۰/۸۹) ایجاد کردند. نتیجه ارزیابی طبقه‌بندی، با استفاده از ماتریس آشفتگی بیانگر این موضوع است که ادغام تصویر راداری و چندطیفی و به تبع آن حذف نواحی مرتفع از روی تصویر، موجب افزایش دقت کلی طبقه‌بندی می‌شود.

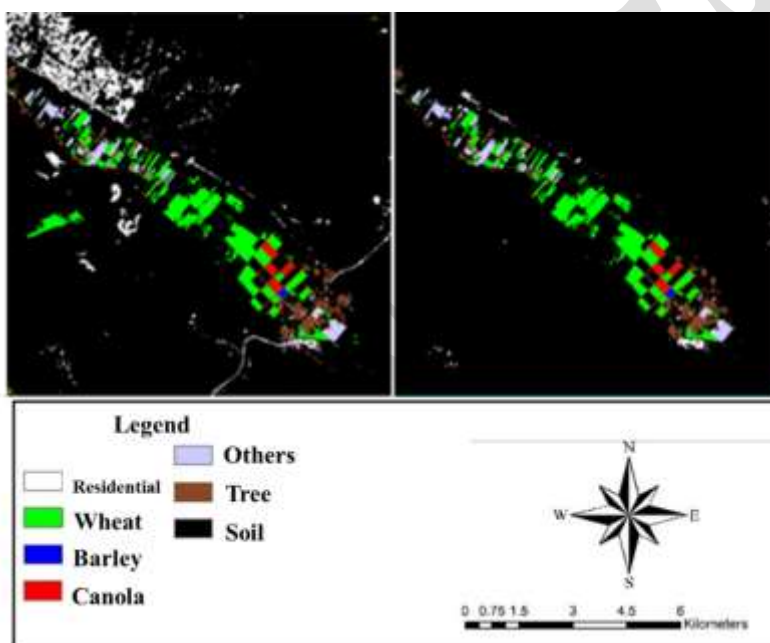
## مقایسه کیفی تصویر طبقه‌بندی ادغام شده و تصویر ادغام نشده

در شکل ۸ مقایسه‌ای بین تصویر حاصل از فرآیند ادغام و تصویر ادغام نشده صورت گرفته است و تاثیر تکنیک ادغام تصویر را در نتیجه

---

<sup>1</sup> Confusion matrix  
<sup>2</sup> Overall accuracy  
<sup>3</sup> Kappa coefficient  
<sup>4</sup> Omission Error  
<sup>5</sup> Commission Error

بصری و کیفی طبقه‌بندی نشان می‌دهد. تصویر سمت چپ خروجی طبقه‌بندی تصویر ادغام نشده و تصویر سمت راست نتیجه طبقه‌بندی تصویر ادغام شده را نشان می‌دهد. در تصویر سمت چپ رنگ سفید بیانگر مناطق مسکونی و شهری است. به دلیل شباهت طیفی برون‌زدگی‌های سنگی در ارتفاعات با ساختمان‌های مسکونی، در این تصویر کلاس مسکونی با خطا مواجه شده و باعث کاهش دقت طبقه‌بندی شده است. همچنین پوشش مرتعی موجود در نواحی کوهستانی و مرتفع اطراف منطقه مورد مطالعه موجب تداخل کلاسی بین پدیده‌های گیاهی شده و به تبع آن دقت کمی و بصری تصویر خروجی تحت تاثیر قرار گرفته است. تکنیک ادغام تصویر راداری و چندطیفی با حذف ارتفاعات موجود در منطقه مطالعاتی باعث تولید نقشه طبقه‌بندی با کیفیت و همچنین افزایش دقت طبقه‌بندی شده است. این نتیجه براساس تحقیقات [Rahnama et al \(۲۰۱۹\)](#) مورد انتظار بود. در تحقیق یاد شده به دلیل عدم حذف نقاط مرتفع کوهستانی برخی پوشش‌های گیاهی به اشتباه به عنوان پوشش گیاهی مزارع یونجه در منطقه مورد مطالعه، طبقه‌بندی شده بود.



**شکل ۸-** مقایسه نقشه طبقه‌بندی و تاثیر ادغام تصویر. راست: تصویر ادغام شده چپ: تصویر ادغام نشده

**Fig 8.** Comparison between output classified maps and effect of image fusion. Right: output map of Sentinel2+ALOS, Left: output map of Sentinel 2

نتیجه ماتریس آشفتگی مربوط به الگوریتم در شرایط ادغام‌شده بیانگر این است که پدیده‌های گیاهی (گندم، جو و کلزا) با دقت بسیار بالایی از سایر پدیده‌ها جداسازی شده‌اند. در شرایط ادغام‌نشده الگوریتم در ایجاد تمایز بین دو کلاس مسکونی و خاک و همچنین پوشش‌های مختلف گیاهی ضعیف عمل کرد به همین سبب دقت کلی طبقه‌بندی تحت تاثیر این موضوع کاهش یافت. همچنین بیشترین خطای الگوریتم در تفکیک ۳ کلاس جو، درخت و کلزا از سایر کلاس‌ها بود که نتیجه آن افزایش خطای حذف شده در این کلاس‌ها و به تبع آن کاهش دقت کلی طبقه‌بندی بود. ماتریس آشفتگی و مشخصات آماری مربوط به ارزیابی دقت طبقه‌بندی سری زمانی NDVI مربوط به منطقه باجگاه در دو

وضعیت ادغام شده و ادغام نشده در جدول های ۳ و ۴ ارائه شده است. این نتایج توسط پالوبینسکاس و همکاران در طبقه بندی فضای شهری شهر مونیخ نیز بدست آمده است. در آن پژوهش خطا در بین کلاس های جاده و ساختمان مسکونی در تصاویر غیر ادغام شده ۳۵ درصد بود که پس از ادغام تصاویر ماهواره و رادار این خطا به ۳ درصد کاهش پیدا کرد. (Palubinskas et al., 2011). در پژوهش دیگری از ادغام تصویر ماهواره آوس با ماهواره لندست ۸ برای طبقه بندی پوشش گیاهی در مناطق جنگلی در استان بارتین ترکیه استفاده شد و ادغام تصاویر باعث افزایش دقت طبقه بندی پوشش گیاهی تا ۹۴/۳۲ درصد شده است. در شرایط ادغام نشده میزان دقت کلی ۸۸/۴۰ درصد گزارش شد. (Abdikan, 2018).

جدول ۳- ماتریس آشفتگی مربوط به طبقه بندی عوارض در شرایط ادغام نشده ماهواره سنتینل ۲

Table 3. Confusion matrix for classification of unfused image of Sentinel 2 satellite

خطای گماشته (%) Commission Error (%)	مرجع شده Referenced								کلاس Class	طبقه بندی شده Classified
	مجموع Total	سایر Others	گندم Wheat	درخت Tree	خاک Soil	مسکونی Residential	کلزا Canola	جو Barley		
0	78	0	0	0	0	0	0	78	جو Barley	
0	118	0	0	0	0	0	118	0	کلزا Canola	
0	47	0	0	0	0	47	0	0	مسکونی Residential	
0.92	108	0	0	0	107	1	0	0	خاک Soil	
10.71	56	0	1	50	3	0	0	2	درخت Tree	
2.27	132	1	129	0	0	0	2	0	گندم Wheat	
2.47	81	79	0	0	0	2	0	0	سایر Others	
	620	80	130	50	110	50	120	80	مجموع Total	
		1.25	0.77	0	2.73	6	1.67	2.50	خطای حذف شده (%) Omission Error (%)	
			0.97					98.06	دقت کلی (%) Overall Accuracy (%)	
									Kappa coefficient	

جدول ۴- ماتریس آشفتگی مربوط به طبقه بندی عوارض در شرایط ادغام تصاویر ماهواره سنتینل و راداری

Table 4. Confusion matrix for classification of Fused images of Sentinel 2 and radar satellites

خطای گماشته (%) Commission Error (%)	مرجع شده Referenced								کلاس Class	طبقه بندی شده Classified
	مجموع Total	سایر Others	گندم Wheat	درخت Tree	خاک Soil	مسکونی Residential	کلزا Canola	جو Barley		
0	71	0	0	0	0	0	0	71	جو Barley	
0	94	0	0	0	0	0	94	0	کلزا Canola	
0	45	0	0	0	0	45	0	0	مسکونی Residential	
4.67	107	0	0	0	102	5	0	0	خاک Soil	

26.47	68	0	10	50	0	0	8	0	Soil درخت
4	125	1	120	0	4	0	0	0	Tree گندم
28.18	110	79	0	0	4	0	18	9	Wheat سایر
	620	80	130	50	110	50	120	80	Others مجموع
		1.25	7.69	0	7.27	10	21.67	11.25	خطای حذف شده (%) Omission Error (%)
	0.89								دقت کلی (%) Overall Accuracy (%)
									Kappa coefficient

اگرچه در اکثر مقالات مرور شده در زمینه ادغام تصاویر، دقت طبقه‌بندی در تصویر حاصل از ادغام بیشتر از تصویر غیرادغام شده بوده است اما در پژوهش هانگر و همکاران در طبقه‌بندی عوارضی چون زمین‌های آیش و جنگل بهبود معنی‌داری حاصل نشده است و همچنین در مورد حوضه‌های آبریز استفاده از تصاویر ادغام شده باعث کاهش دقت طبقه‌بندی شده است (Hunger et al., 2016). خلاصه‌ای از پژوهش‌های یادشده در بخش‌های مقدمه و نتایج برای مقایسه در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵ - مقایسه نتایج برخی پژوهش‌های مرتبط  
Table 5. Results summary of related literature

مرجع Reference	خلاصه نتیجه Results Summary	روش ادغام Fusion method	نوع پوشش Type of land cover
<a href="#">Rajah et al., 2018</a>	The overall accuracy 76% with Sentinel2 + SAR and 72% with Landsat8+SAR while for single unfused images were 65% and 53%, respectively.	Sentinel2+ SAR/Sentinel 1 Landsat8+ SAR/Sentinel 1	تمشک وحشی American Bramble
<a href="#">Monsalve-Tellez, et al., 2022</a>	The overall accuracy of classification in fusion mode was 84.1% with 11.5% improvement respect to single imagery.	Sentinel2+ SAR/Sentinel 1	درخت پالم Palm oil Tree
<a href="#">Abdikhan, 2018</a>	Improved the overall accuracy up to 7% in fusion mode.	Landsat8+ PALSAR/ALOS	پوشش جنگل Forest
<a href="#">Hunger et al., 2016</a>	Improved the overall accuracy up to 30% in the fused image versus single imagery. The producer's and user's accuracy were significantly improved in cultivated land and urban area classification. The Forest and fallow lands classification were not significantly different in both conditions and water body was negatively affected in fused mode.	Sentinel2+ SAR/Sentinel1	حوضه های ابریز، زمین‌های زراعی و آیش، مناطق جنگلی و مناطق شهری Water body, Cultivated and Fallow land, Forest and Urban areas
<a href="#">Palubinkas et al., 2011</a>	Improved the classification accuracy of infra-structure and	Worldview-2+Terra SAR/ Spotlight	زیرساخت‌های شهری



## تخمین سطح زیر کشت محصولات اصلی منطقه مورد مطالعه

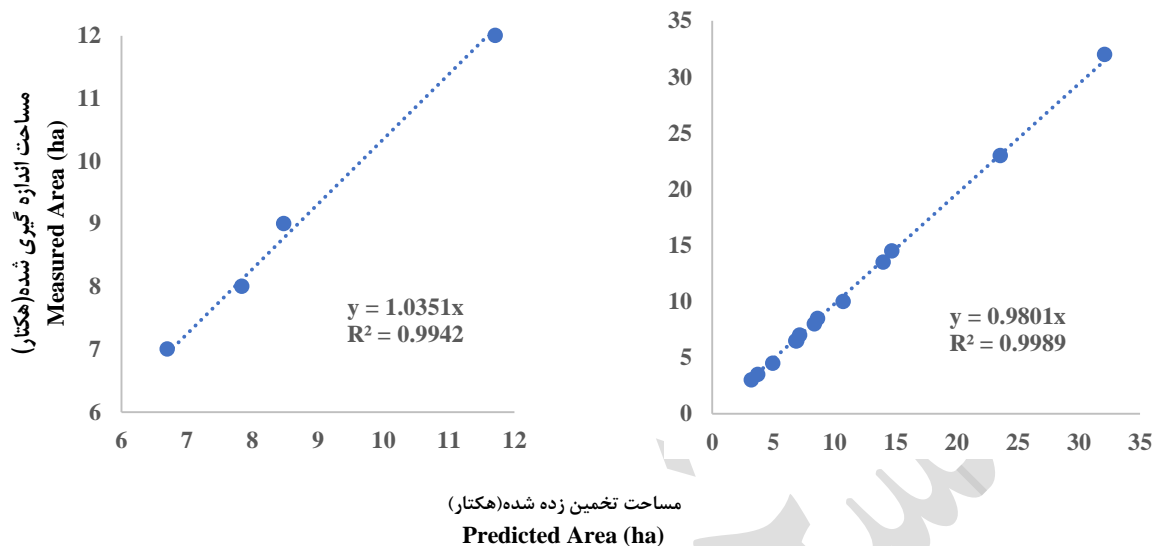
جدول ۶ نتایج مربوط به مجموع مساحت زیر کشت اراضی در منطقه مورد مطالعه برای سه محصول گندم جو و کلزا نشان می‌دهد. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که طبقه‌بندی با دقت مناسبی در حالت ادغام تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و آلوس برای تخمین سطح زیر کشت انجام شده است. کمترین درصد تغییر مساحت تخمین زده شده نسبت به مساحت واقعی مربوطه به تنها مزرعه جو موجود در منطقه است و بیشترین درصد تغییر مربوط به مزرعه کلزا است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در مزارع گندم و جو تخمین مساحت بر اساس سنجش از دور با بیش تخمینی و در مورد کلزا مساحت کمتر تخمین زده شده است. علامت منفی در ستون درصد تغییر مبین همین مسئله است.

جدول ۶- مساحت اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده کلاس‌های زمین زراعی در منطقه مورد مطالعه

Table 6. Measured vs. predicted cultivated area in study region

کلاس Class	مساحت اندازه‌گیری شده (هکتار) Measured Area(ha)	مساحت تخمین زده شده (هکتار) Predicted Area(ha)	درصد تغییر Difference percentage
گندم Wheat	140	144.2	3
جو Barley	5.5	5.58	1.5
کلزا Canola	36	34.7	-3.6

شکل‌های ۹ راست و چپ به ترتیب مساحت تخمین زده شده (محور افقی) در مقابل مساحت اندازه‌گیری شده (محور عمودی) زمین‌های زراعی زیر کشت گندم و کلزا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. هر نقطه دایره‌ای مساحت مربوط به یک قطعه مزرعه را نشان می‌دهد و خطچین رابطه رگرسیونی بین این دو مساحت را نمایش می‌دهد. همان‌طور که معادله رگرسیونی و ضریب تبیین در هر نمودار نشان می‌دهد مساحت‌های تخمین زده شده نسبت به مساحت‌های واقعی دقت مناسبی دارد و تقریباً بر روی خط معیار  $y=x$  قرار گرفته است. ضریب زاویه خط بزرگتر از مقدار واحد در کلزا و کمتر از واحد در گندم مطابق آنچه در جدول ۶ هم بیان شد به ترتیب به دلیل تخمین کمتر از واقعی و بیشتر از واقعی در کلزا و گندم است.



شکل ۹- نمودار رابطه بین مساحت تخمین زده شده و واقعی مزارع در منطقه مورد مطالعه. راست: گندم و چپ: کلزا  
**Fig. 8.** Regression relations between predicted vs. measured cultivated area in the ROI. Right: Wheat, left: Canola

### نتیجه گیری

محور اساسی این پژوهش طبقه‌بندی پوشش‌های گیاهی و ادغام تصاویر رادار و چندطیفی به منظور بالا بردن دقت طبقه‌بندی بوده است. از آنجا که در محدوده مطالعاتی مناطق مرتفع و کوهستانی وجود داشت، به منظور حذف نقاط مرتفع از روش ادغام تصاویر بهره گرفته شد. به این منظور تصاویر راداری سنجنده PALSAR با توان تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و تصاویر چندطیفی ماهواره سنتینل ۲ با توان تفکیک ۱۰ متر به روش ادغام در سطح پیکسل با هم ترکیب شدند. این فرآیند، با حذف نقاط کوهستانی و مرتعی، افزایش کیفیت بصری نقشه تولیدی و همچنین افزایش دقت طبقه‌بندی براساس شاخص‌های ارزیابی با ماتریس آشفتگی را به دنبال داشت. مقایسه مساحت تخمین زده شده و واقعی مزارع گندم، جو و کلزا که بیشترین سطح زیر کشت را داشتند نشان داد که تصاویر ماهواره سنتینل در شرایط ادغام برای این منظور دقت بالایی دارد.

### منابع

- Abdikan, S. 2018. Exploring image fusion of ALOS/PALSAR data and LANDSAT data to differentiate forest area. *Geocarto International* 33: 21-37.
- Ahmad, A. 2005. Change detection in high density urban area and rural area using high resolution satellite image . *Atılım Üniversitesi*.
- Arekhi, S. and M. Adibnejad. 2011. Efficiency assessment of the of Support Vector Machines for land use classification using Landsat ETM+ data (Case study: Ilam Dam Catchment). *Iranian Journal of Range and Desert Research* 18: 420-440.
- Bounoua, L., G. Collatz, S. Los, P. Sellers, D. Dazlich, C. Tucker and D. Randall. 2000. Sensitivity of climate to changes in NDVI. *Journal of Climate* 13: 2277-2292.
- Efimov, A. I., D. A. Kolchaev, M. B. Nikiforov and A. I. Novikov. 2018. Algorithm of geometrical transformation and merging of radar and video images for technical vision systems. Pages 1-4. 2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO): IEEE.
- Fang, L., N. He, S. Li, P. Ghamisi and J. A. Benediktsson. 2017. Extinction profiles fusion for hyperspectral images classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 56: 1803-1815.
- Gomez, C. and J. C. White and M. A. Wulder. 2016. Optical remotely sensed time series data for land cover

classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116: 55-72.

Hunger, S. and P. Karrasch and C. Wessollek. 2016. Evaluating the potential of image fusion of multispectral and radar remote sensing data for the assessment of water body structure. Pages 374-384. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII: SPIE*.

Johnson, S. J. 2009. An evaluation of land change modeler for ARCGIS for the ecological analysis of landscape composition. Southern Illinois University at Carbondale.

Knorn, J., A. Rabe, V. C. Radeloff, T. Kuemmerle, J. Kozak and P. Hostert. 2009. Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. *Remote Sensing of Environment* 113: 957-964.

Kogan, F. N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research* 15: 91-100.

Lillesand, T. and R. W. Kiefer and J. Chipman. 2015. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.

Malingreau, J. and C. Tucker and N. Laporte. 1989. AVHRR for monitoring global tropical deforestation. *International Journal of Remote Sensing* 10: 855-867.

Monsalve-Tellez, J. M. and J. L. Torres-León and Y. A. Garcés-Gómez. 2022. Evaluation of SAR and Optical Image Fusion Methods in Oil Palm Crop Cover Classification Using the Random Forest Algorithm. *Agriculture* 12: 955.

Myneni, R. B., G. Asrar, D. Tanre and B. J. Choudhury. 1992. Remote sensing of solar radiation absorbed and reflected by vegetated land surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30: 302-314.

Nouri, H., S. Anderson, P. Sutton, S. Beecham, P. Nagler, C. J. Jarchow and D. A. Roberts. 2017. NDVI, scale invariance and the modifiable areal unit problem: An assessment of vegetation in the Adelaide Parklands. *Science of the Total Environment* 584: 11-18.

Palubinskas, G. and A. Makarau and J. Tao. 2011. Fusion of optical and radar data for the extraction of higher quality information.

Rahnama, S., M. Maharlooei, M. Rostami and H. Maghsoudi. 2018. Date palm identification using Sentinel and Landsat satellites imagery. Pages 1. 2018 ASABE Annual International Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Rahnama, S., M. Maharlooei, M. A. Rostami and H. Maghsoudi. 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: 321-335.

Rajah, P. and J. Odindi and O. Mutanga. 2018. Feature level image fusion of optical imagery and Synthetic Aperture Radar (SAR) for invasive alien plant species detection and mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 10: 198-208.

Senay, G. and R. Elliott. 2000. Combining AVHRR-NDVI and landuse data to describe temporal and spatial dynamics of vegetation. *Forest Ecology and management* 128: 83-91.

Tuia, D., E. Merenyi, X. Jia and M. Grana-Romay. 2014. Foreword to the special issue on machine learning for remote sensing data processing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7: 1007-1011.

Wang, H., Q. Li, Z. Gao, B. Sun and X. Du. 2014. Assessment of land degradation using time series trends analysis of vegetation indicators in Beijing-Tianjin dust and sandstorm source region. Pages 753-756. 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium: IEEE.

Zhang, M. and P. Ghamisi and W. Li. 2017. Classification of hyperspectral and LIDAR data using extinction profiles with feature fusion. *Remote Sensing Letters* 8: 957-966.