

## Research Paper

## Utilizing remote sensing data and optimal indices extraction for the identification and detection of plastic mulch in vegetable fields

Majid Yousefian Hashemabadi <sup>1</sup>, Hossein Bagherpour <sup>2\*</sup>, Mehraneh Khodamoradpour <sup>3</sup>

<sup>1</sup> PhD student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

### Article information

Received: 2025/05/25

Accepted: 2025/09/08

#### Keywords:

Plastic-mulched land  
Plastic mulch indices  
Remote sensing  
Sentinel-2  
Summer crops

\*Corresponding author:  
[h.bagherpour@basu.ac.ir](mailto:h.bagherpour@basu.ac.ir)

ORCID:   
0000-0002-6877-6281



### Extended Abstract

#### Introduction

Plastic mulch is widely used in the cultivation of agricultural crops, especially summer crops, due to its potential to increase crop production and optimize water consumption. Plastic mulch protects agricultural products from adverse conditions such as cold, heat, heavy rain, wind, harmful insects, and diseases. Plastic mulch is mainly made of polyethylene, and due to their polymer-hydrocarbon nature, they are very difficult to decompose under natural conditions completely. However, plastic waste can cause soil pollution, reduced quality of agricultural fields, and decreased yield. Therefore, accurate and timely monitoring of the temporal and spatial distribution of plastic mulch in large areas is very important to evaluate its effects and prevent environmental problems. Conventional techniques for mapping plastic mulch, such as topographic measurements or photogrammetric techniques, are time consuming, costly, and require experienced personnel. Remote sensing is considered the only practical method for collecting this information on a large scale and an essential tool for managing the area under plastic mulch. High resolution satellite images are valuable new resources for accurate object detection and land data collection. Determine the valid threshold for detecting plastic mulches in fields using remote sensing technologies to manage the area under plastic cultivation and the possibility of estimating the amount of plastic mulch residues in the fields is the main goal of this research.

[https://dx.doi.org/ 10.22034/jrmam.2025.15227.752](https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.15227.752)

### ***Method***

In this study, 30 cucumber and watermelon fields with plastic mulch in Hamadan province were investigated. To identify the plastic mulch used for cucumber fields from mid-April to mid-July, and for watermelon fields from mid-June to mid-October Sentinel-2 satellite data from the Google Earth Engine (GEE) system were used. For this purpose, six Sentinel-2 satellite bands and 30-meter Scale mosaic images with cloud-free MOD09A1.006 Terra Surface Reflectance data were used. The bands used were Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2. Based on the difference in spectral characteristics between plastic mulch and other land objects (vegetation, water, bare soil, etc.), PMFI1, PMFI2, NDVI, NDWI, and PMI indices were extracted from Sentinel-2 satellite data to identify plastic mulch in the fields. After extracting PMFI1, PMFI2, NDVI, NDWI and PMI indices from Sentinel-2 satellite, the output data of GEE system was transferred to ArcGIS software. Since different indices have different reflectances of ground objects (soil, plastic mulch and vegetation cover). Therefore, according to the desired fields and crop planting date, spectral reflectances for ground objects in different months were examined and thresholds for plastic mulch range in different indices were determined. Then, after drawing boxplot of data, the interquartile range (range of first to third quartiles) of data was considered as plastic and data less and more than that were considered as areas without plastic mulch.

### ***Results***

The results of this evaluation showed that the evaluation indices had a significant impact on the accuracy of diagnosis, and the evaluation accuracy ranged from 11% to 97.5% depending on the indices examined. The highest accuracy of plastic mulch detection for watermelon fields was 97.5% and for cucumber fields was 91.8%, which was achieved using the NDWI indice. The NDWI index was more accurate than other plastic mulch detection indices in the study area due to its higher spectral reflectance in the NIR and the Green bands. According to the spectral bands of the Sentinel 2 satellite, the NDWI index allows some of the spectral characteristics of the underlying soil and the moisture in it to be transmitted more transparently, thus it was more accurate than other plastic cover detection indices. Among the other indices examined, the NDVI generally performed better than the spectral indices PMFI1, PMFI2, and PMI. The lowest accuracy of plastic mulch detection was for the PMI index, which was 11% for watermelon fields and 24.7% for cucumber fields.

### ***Conclusions***

The purpose of this research was to identify plastic mulch in cucumber and watermelon fields in Hamadan province. For this purpose, Sentinel-2 satellite images in the GEE cloud system were used. The results of this evaluation showed that the accuracy of plastic mulch detection varied from 11% to 97.5%, with the highest accuracy related to the NDWI indice for detecting plastic mulch in watermelon fields in June. NDWI index demonstrated the highest performance at the beginning of the growing season for both crops. However, in the mid-season, the spectral indices exhibited varying performance in detecting plastic depending on crop type: PMFI1 achieved higher accuracy for watermelon fields, while PMI performed better in cucumber fields. PMI index also had higher sensitivity to the type of crop cultivated than PMFI1 index.

These findings underscore the high potential of remote sensing indices for accurately identifying plastic-mulched fields, which can significantly support decision-making in addressing environmental challenges and managing agricultural plastic waste.

### ***Acknowledgements***

The authors would like to acknowledge the Bu-Ali Sina University for financial support

### ***Author Contributions***

Majid Yousefian Hashemabadi: Data curation, Software, Writing

Hossein Bagherpour: Conceptualization, Methodology, Reviewing, Supervision

Mehran Khodamoradpour: Advisor, Conceptualization, Reviewing, Software

### ***Data Availability Statement***

Not applicable"

### ***Ethical Considerations***

This section states **ethical approval details** (e.g., Ethics Committee, ethical code) and confirms adherence to ethical standards, including avoidance of data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

### ***Conflict of Interest***

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper

### ***Funding Statement***

The author(s) received no specific funding for this research.

---

### **How to cite this paper:**

Yousefian Hashemabadi, M., Bagherpour, H., Khodamoradpour, M. (2025). Utilizing remote sensing data and optimal indices extraction for the identification and detection of plastic mulch in vegetable fields. Journal of Research in Mechanics of Agricultural Machinery. 36: 79-94. [https://dx.doi.org/ 10.22034/jrmam.2025.15227.752](https://dx.doi.org/10.22034/jrmam.2025.15227.752)



Authors retain the copyright and full publishing rights.

Published by [Shahrekord University](#). This article is an open access article licensed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](#)

---



## بهره‌گیری از داده‌های سنجش از راه دور در استخراج شاخص بهینه شناسایی و تشخیص پوشش پلاستیکی مزارع صیفی‌جات

مجید یوسفیان هاشم‌آبادی<sup>۱</sup>، حسین باقرپور<sup>۲\*</sup> و مهرانه خدامرادپور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

پوشش پلاستیکی به دلیل قابلیت آن برای افزایش قابل توجه تولید محصول و مصرف بهینه آب، به طور گسترده در کشت محصولات کشاورزی به ویژه صیفی‌جات در کشور ایران استفاده می‌شود. با این حال، پسماندهای پلاستیکی می‌توانند موجب آلودگی غیرمنتظره خاک، افت کیفیت زمین‌های زراعی و اختلال در عملیات کشاورزی گردند. بنابراین، نظارت دقیق و به موقع توزیع زمانی و مکانی پوشش پلاستیکی در مناطق وسیع برای ارزیابی اثرات آن بسیار حائز اهمیت است. تعیین آستانه‌های معتبر و مقایسه شاخص‌های متفاوت در تشخیص پوشش‌های پلاستیکی مزارع با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور به منظور مدیریت میزان سطح زیر کشت پلاستیک و امکان مدیریت حجم پسماند تولیدی هدف اصلی این پژوهش است. در این پژوهش، سامانه Google Earth Engine (GEE) و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 برای تشخیص پوشش پلاستیکی مزارع خیار و هندوانه در استان همدان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور آستانه‌های تشخیص پوشش پلاستیکی بر اساس محدوده میان چارکی شاخص‌های سنجش از دور گیاهی شامل NDVI و NDWI و شاخص‌های طیفی تشخیص پلاستیک شامل PMI، PMFI1 و PMFI2 در فصل رشد مزارع نمونه برداری شده برآورد شد. سپس شاخص‌ها براساس دقت تشخیص نواحی پلاستیک براساس آستانه‌های موردنظر در ماه‌های مختلف فصل رشد ارزیابی شدند. نتایج این ارزیابی نشان از عملکرد بالای شاخص NDWI در آغاز فصل رشد در هر دو محصول بود، با این حال شاخص‌های طیفی در میانه فصل رشد عملکرد متفاوتی در شناسایی پلاستیک نسبت به نوع پوشش گیاهی داشتند، به طوری که شاخص PMFI1 در مزارع هندوانه و شاخص PMI در مزارع خیار دقت‌های بالاتری در شناسایی پوشش پلاستیک در استان همدان داشتند. نتایج این پژوهش در خصوص دقت بالای شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی پوشش پلاستیکی مزارع، می‌تواند کمک شایانی در تصمیم‌گیری و حل معضلات زیست محیطی و مدیریت پسماندهای پلاستیکی باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

### واژه‌های کلیدی:

پوشش پلاستیکی مزارع  
شاخص‌های پوشش پلاستیکی  
سنجش از دور  
ماهواره Sentinel-2  
صیفی‌جات

\*پست الکترونیکی نویسنده

مسئول:

[h.bagherpour@basu.ac.ir](mailto:h.bagherpour@basu.ac.ir)

ORCID: 

۰۰۰۰-۰۰۰۲-۶۸۷۷-۶۲۸۱



## مقدمه

پوشش پلاستیکی به طور گسترده در کشت سبزیجات و میوه‌ها برای کنترل شرایط محیطی و رشد آن‌ها استفاده می‌شود. این کار با محافظت از محصولات در برابر شرایط نامطلوب مانند سرما، گرما، باران شدید، باد، حشرات مضر و بیماری‌ها، به استفاده بهینه از آب و افزایش دمای خاک کمک می‌کند (Lu et al., 2024). با این حال، پوشش‌های پلاستیکی تأثیرات منفی بر محیط زیست دارند. این تأثیرات شامل کاهش تنوع زیستی از طریق تغییر چرخه گرده‌افشانی، تخریب ساختار خاک و کاهش کیفیت زمین‌های کشاورزی به دلیل باقی ماندن بقایای پلاستیکی است. در حال حاضر، بزرگ‌ترین مشکل فعلی، باقیمانده پسماندهای پلاستیکی بر روی زمین است (Lu et al., 2014). پوشش‌های پلاستیکی عمدتاً از پلی‌اتیلن ساخته شده‌اند و به دلیل ماهیت پلیمری-هیدروکربنی، تجزیه کامل آن‌ها در شرایط طبیعی بسیار دشوار است (Chang-Rong et al., 2014). به علاوه، این بقایا ممکن است در نهایت به ریزپلاستیک تبدیل شوند که تهدیدی جدی برای محیط زیست جهانی محسوب می‌شود (Dris et al., 2015).

این مسائل، نیاز فوری به درک دقیق و به موقع توزیع زمانی و مکانی پوشش پلاستیکی را در مناطق وسیع نشان می‌دهد. سنجش از دور به عنوان تنها روش عملی برای جمع‌آوری این اطلاعات در مقیاس‌های بزرگ و ابزاری ضروری برای مدیریت سطح زیر کشت پلاستیک به شمار می‌رود (Levin et al., 2007; Lu et al., 2015). این اطلاعات می‌تواند به برنامه‌ریزی و بازیابی پوشش‌های پلاستیکی، برآورد میزان بقایا و مدیریت پایدار منابع کشاورزی کمک کند (Lu et al., 2018). با این حال، تشخیص پوشش‌های پلاستیکی و گلخانه با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور یک کار چالش برانگیز برای برنامه‌ریزی شهری و روستایی، برآورد عملکرد کشاورزی، مدیریت منابع طبیعی، توسعه پایدار و جلوگیری از مشکلات زیست محیطی است (Koc-San, 2013).

بر همین اساس در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در مورد شناسایی پوشش پلاستیکی انجام شده که می‌توان به طور کلی آن‌ها را به روش‌های آستانه‌گذاری شاخص‌های سنجش از دور، روش ویژگی‌های طیفی (براساس خواص نوری و بازتابی پلاستیک در طیف‌های مختلف طیفی) و

الگوریتم‌های طبقه‌بندی (روش‌های یادگیری ماشین برای دسته‌بندی مزارع با پوشش پلاستیکی و غیرپلاستیکی) تقسیم‌بندی کرد. در سال‌های اخیر، علیرغم مطالعات گسترده در خصوص روش‌های ویژگی‌های طیفی (Levin et al., 2007; Agüera et al., 2008; Chen & Li, 2017) و الگوریتم‌های طبقه‌بندی (Lanorte et al., 2017; Liu et al., 2019; Xiong et al., 2019) مطالعات بسیار محدودی در زمینه روش آستانه‌گذاری شاخص‌های سنجش از دور (Lu et al., 2015) برای شناسایی پوشش پلاستیک تاکنون انجام شده است. به عنوان مثال، (Levin et al., 2007) از ویژگی‌های طیفی و تصاویر حسگر هواپرد فراطیفی-AISA-ES (دقت مکانی یک متر) همراه با تصاویر سنجنده‌های Landsat-5 و Landsat-7 برای شناسایی پلاستیک استفاده کردند.

نتایج این پژوهش نشان از شناسایی لایه‌های پلاستیکی سفید و شفاف با سه اوج جذب در طول موج‌های ۱۲۱۸، ۱۷۳۲ و ۲۳۱۳ نانومتر دارد که تحت تأثیر گرد و غبار، سفید شدن یا سطح زیرین قرار نمی‌گیرند. تخمین نواحی دارای ضایعات پوشش پلاستیکی مزارع کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat-8 و الگوریتم طبقه‌بندی یادگیری ماشین بردار پشتیبان (SVM) انجام شد (Lanorte et al., 2017). نتایج این پژوهش بیانگر دقت کلی و ضریب کاپای بالای مدل SVM، به ترتیب ۹۴٪ و ۹۳٪، در شناسایی نواحی دارای ضایعات پلاستیکی بود.

هم‌چنین، مقدار کلی زباله‌های پلاستیکی با تصاویر طبقه‌بندی شده تفاوت بسیار کوچک (۱/۷ درصد) با مقادیر برآورد شده از مشاهدات داشت. (Lu et al., 2015) یک روش آستانه برای تشخیص پوشش پلاستیکی با داده‌های سری زمانی سنجنده MODIS ارائه نمودند. آن‌ها، بر اساس ویژگی‌های طیفی زمانی پوشش پلاستیکی در مرحله اولیه کاشت، آستانه‌ای برای شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI) همراه با تعداد روزهای مشخص (d) معین کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که آستانه شاخص NDVI برابر با ۰/۲ و d برابر ۸ روز را می‌توان برای شناسایی پوشش پلاستیکی مزارع در مناطق جغرافیایی بزرگ در نظر گرفت. هم‌چنین، مقایسه نتایج به دست آمده با این روش و روش الگوریتم بیشینه احتمال، توانایی شاخص NDVI را در شناسایی پوشش پلاستیکی تأیید کرد. با این حال، در این مطالعه تنها از یکی از شاخص‌های

تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر و دوره بازبینی ۵ روزه ارائه می‌دهد. این ماهواره در سال ۲۰۱۵ توسط آژانس فضایی اروپا به منظور بررسی تغییرات پوشش زمین، پایش جنگل‌ها و مدیریت بلایای طبیعی به فضا ارسال شد (Rahmati et al., 2022). در این پژوهش از داده‌های سطح A2 از سنجنده چندطیفی Sentinel-2 تحت عنوان S2\_SR\_HARMONIZED در سامانه ابری Google Earth Engine (GEE) استفاده شد. این تصاویر از نظر جوی تصحیح شده‌اند، به این معنی که تأثیرات جوی مانند بخار آب، ذرات معلق و گازها از آن‌ها حذف شده است.

این امر باعث می‌شود که داده‌ها منعکس‌کننده ویژگی‌های واقعی سطح زمین باشند و برای تحلیل‌های کمی بسیار مناسب‌تر هستند. هم چنین پس از ۲۵ ژانویه ۲۰۲۲، تغییری در فرآیند پردازش داده‌های Sentinel-2 باعث شد که مقادیر بازتابندگی در داده‌های جدید کمی متفاوت از داده‌های قدیمی باشد، که با ارائه داده‌های هماهنگ سازی‌شده (Harmonized) این مشکل اصلاح شد. این هماهنگ‌سازی تضمین می‌کند که داده‌های جدید و قدیمی با یکدیگر سازگار هستند و امکان تحلیل‌های سری زمانی دقیق و قابل مقایسه‌ای را فراهم می‌کند. هم چنین براساس فیلتر ابر، تنها تصاویری که درصد پوشش ابر در آن‌ها کمتر از ۲۰٪ بود برای این پژوهش انتخاب شد. لازم به ذکر است که سامانه GEE یک سکوی ابری است که برای تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی حجیم طراحی شده است (Gorelick et al., 2017). GEE یک محیط یکپارچه شامل فهرست داده‌های عظیم (Landsat ۴ تا ۹، Sentinel ۱ تا ۳ و غیره) برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در مقیاس سیاره‌ای فراهم می‌کند و یک محیط میز کار برای توسعه الگوریتم‌های تعاملی از طریق زبان‌های برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت یا پایتون ارائه می‌دهد. در حال حاضر، محققان زیادی از این سکوی برای نقشه برداری و نظارت بر پوشش زمین و تغییر کاربری اراضی در مقیاس بزرگ استفاده می‌کنند (Dong et al., 2016; Kordi & Yousefi, 2022).

بهترین زمان برای تشخیص پوشش پلاستیکی از فضا، زمان کاشت محصولات است، زیرا برگ‌های گیاهی هنگام رشد، مالچ پلاستیکی را مسدود می‌کنند. برای شناسایی دقیق و استخراج اطلاعات مالچ پلاستیکی، باید اطلاعات ریخت‌شناسی محصولات پوشش داده‌شده با مالچ

سنجش از دور، بدون در نظر گرفتن محصول کشت‌شده استفاده شده است.

با توجه به آسان‌تر و سریع‌تر بودن روش آستانه-گذاری شاخص‌ها نسبت به الگوریتم‌های پیچیده یادگیری ماشین، این پژوهش به دنبال تعیین آستانه شاخص‌های سنجش از دور مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای در مزارع دارای پوشش پلاستیکی کشت‌های متفاوت می‌پردازد و هدف اصلی آن تعیین بهترین شاخص در شناسایی نواحی مذکور است. با توجه به اینکه در ایران بخش زیادی از محصولات صیفی‌جات به شکل مالچ پلاستیکی کشت می‌شوند، متاسفانه تاکنون پژوهشی در این خصوص انجام نشده است. لذا شناسایی مزارع مورد نظر به منظور مدیریت میزان سطح زیر کشت پلاستیک، مدیریت حجم پسماند تولیدی و شناسایی کشاورزان متخلف در امر کاشت محصولات ممنوعه جهاد کشاورزی، امری ضروری است که در این پژوهش به آن پرداخته خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش استان همدان است. استان همدان در بخش شمال غرب کشور بین عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی قرار گرفته است. در این مطالعه ۳۰ مزرعه خیار و هندوانه با پوشش پلاستیکی سفید و شفاف برای گرم نگه‌داشتن خاک و با مساحت‌های متفاوت طوری انتخاب شدند که تقریباً تمامی محدوده استان را شامل گردد تا بتوان برآورد خوبی از کل استان به دست آورد. در هنگام انتخاب مزارع سعی شد تمامی مشخصات مزرعه مانند نوع محصول، تاریخ کاشت و هم‌چنین تاریخچه گذشته کشت‌های مزرعه از طریق صاحب مزرعه ثبت گردد. در این پژوهش داده‌های مکانی و طیفی دو محصول در محدوده زمانی فروردین تا ماه مهر براساس دسترسی مکانی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه، توزیع مکانی مزارع و نمونه پوشش پلاستیکی قبل و بعد از برداشت محصول را نشان می‌دهد.

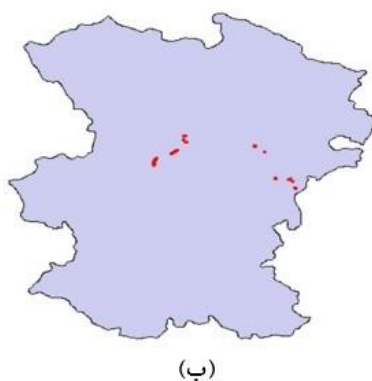
### تصاویر سنجش از دور مورد مطالعه

ماهواره Sentinel-2 سنجنده‌ای چندطیفی با ۱۳ طیف مختلف بین طول موج‌های ۴۴۳ تا ۲۱۹۰ نانومتر با قدرت



ویژگی‌های ماهواره Sentinel-2 نشان داده شده است. برای شناسایی پوشش پلاستیکی مزارع از شش طیف ماهواره Sentinel-2 و داده‌های بدون ابر MOD09A1.006 Terra Surface Reflectance که با استفاده از کد نویسی در سامانه GEE حاصل شدند و تصاویر موزاییکی با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر با مختصات منطقه مورد مطالعه و دوره زمانی ماه فروردین تا مهر استفاده شد. لازم به ذکر است به دلیل حجم بالای تصاویر و زمان زیاد برای دانلود آن‌ها، توان تفکیک مکانی تصاویر به مقیاس ۳۰ متر کاهش یافت.

پلاستیکی در هر منطقه تعیین گردد (Lu et al., 2015). در این پژوهش در منطقه مورد مطالعه کاشت صیفی‌جات نظیر خیار در اواسط اردیبهشت و هندوانه در اواسط خرداد ماه است که دوره کاشت می‌تواند از دو تا سه ماه متفاوت باشد. بنابراین برای شناسایی پوشش پلاستیکی به کار رفته برای مزارع خیار اواسط فروردین تا اواسط تیر و برای مزارع هندوانه از اواسط خرداد تا اواسط مهر، تصاویر ماهواره Sentinel-2 مورد استفاده قرار گرفت. در این بازه‌ها علاوه بر امکان تشخیص صحیح پوشش پلاستیکی، پوشش گیاهی مرتبط نیز قابل شناسایی است. در جدول ۱



شکل ۱- موقع مکانی مزارع بررسی شده. (الف) منطقه مورد مطالعه، (ب) توزیع مکانی مزارع، (پ) نمونه پوشش پلاستیکی قبل از برداشت محصول و (ت) پوشش پلاستیکی باقیمانده پس از برداشت محصول

جدول ۱- ویژگی‌های ماهواره Sentinel-2

| نوع طیف                       | توان تفکیک مکانی (m) | طول موج مرکزی (μm) | باند طیفی در Sentinel 2 |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|
| آبی (Blue)                    | ۱۰ متر               | ۰/۴۹               | B2                      |
| سبز (Green)                   | ۱۰ متر               | ۰/۵۶               | B3                      |
| قرمز (Red)                    | ۱۰ متر               | ۰/۶۶۴              | B4                      |
| مادون قرمز مرئی و نزدیک (NIR) | ۱۰ متر               | ۰/۸۴۲              | B8                      |
| موج کوتاه مادون قرمز (SWIR1)  | ۲۰ متر               | ۱/۶۱۰              | B11                     |
| موج کوتاه مادون قرمز (SWIR2)  | ۲۰ متر               | ۲/۱۹۰              | B12                     |

### استخراج و انتخاب ویژگی‌های طیفی و زمانی

اطلاعات طیفی پوشش پلاستیکی اغلب مخلوطی از مالچ پلاستیکی، خاک لخت و رطوبت است که از نظر ویژگی‌های طیفی، خاک و پوشش پلاستیکی قابلیت تفکیک خوبی را با آب و پوشش گیاهی و غیره نشان می‌دهند (Chen *et al.*, 2016). ویژگی‌های طیفی خاک و پوشش پلاستیکی را می‌توان به خوبی در طیف‌های مادون قرمز مرئی و موج کوتاه مادون قرمز از هم جدا کرد. چون مالچ پلاستیکی، ترموپلاستیک سفید یا شفاف و ساخته شده از پلی اتیلن، در طیف‌های مرئی، معمولاً بازتاب زیادی دارد و در نتیجه بسیار روشن‌تر و صاف‌تر از خاک است. بنابراین، بازتاب طیفی پوشش‌های پلاستیکی در طیف‌های قرمز مرئی و مادون قرمز نزدیک اغلب بیش‌تر از خاک‌های لخت است. همچنین مالچ پلاستیکی و آب در طیف موج کوتاه مادون قرمز، ویژگی‌های جذب آشکاری را نشان می‌دهند (Levin *et al.*, 2007).

مشابه با آب و پوشش گیاهی، پوشش پلاستیکی مزارع و خاک لخت در طیف طیفی آبی با طول موج ۰/۴۵۲ تا ۰/۵۱۲ میکرومتر بازتاب کمی دارند، اما برف بازتاب بالایی در این طیف دارد. طیف طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR)، در محدوده‌ی طول موج ۰/۸۵۱ تا ۰/۸۷۹ میکرومتر، به پوشش گیاهی حساس است، به طوری‌که پوشش گیاهی، خاک شور-قلیایی و برف دارای بازتاب بالا ولی پوشش پلاستیکی مزارع، خاک لخت و آب دارای بازتاب کمی در این طیف هستند. در طیف طیفی موج کوتاه مادون قرمز (SWIR2)، با محدوده‌ی طول موج ۲/۱۰۷ تا ۲/۲۹۴ میکرومتر، بازتاب پوشش پلاستیکی مزارع و خاک لخت بیش‌تر از سایر اجسام هستند. لذا، بر اساس مباحث فوق، (Xiong *et al.*, 2019) شاخص‌های PMFI1 و PMFI2 برای شناسایی پوشش پلاستیک در نواحی کشاورزی ارائه کردند (روابط ۱ و ۲):

$$PMFI1 = \frac{SWIR\ 2}{NIR} \quad (1)$$

$$PMFI2 = \frac{SWIR\ 2}{Blue} \quad (2)$$

در روابط فوق SWIR2 طیف موج کوتاه مادون قرمز ماهواره Sentinel-2 با طول موج ۲/۱۰۷ تا ۲/۲۹۴ نانومتر و NIR طیف مادون قرمز مرئی و نزدیک با طول موج ۰/۸۵۱ تا ۰/۸۷۹ نانومتر و Blue طیف آبی با طول موج ۰/۴۵۲ تا ۰/۵۱۲ نانومتر هستند. شاخص PMFI1 برای

شناسایی تمام مالچ‌های پلاستیکی با ضخامتی تقریباً نزدیک به استاندارد ملی چین (بزرگ‌تر از ۸ میکرومتر) مناسب است. همچنین این شاخص در نواحی که آب تعریق شده زیادی در قسمت داخلی پوشش پلاستیکی وجود دارد و خاک لخت کم‌تری روی مالچ پلاستیکی قرار داده شده باشد عملکرد مناسبی دارد. شاخص PMFI2 برای شناسایی تمام مالچ‌های پلاستیکی با ضخامتی کم‌تر از استاندارد ملی (از ۳ تا ۶ میکرومتر) مناسب است، همچنین در نواحی که مقدار کمی آب تعریق‌شده در قسمت داخلی پوشش پلاستیکی وجود دارد و یا مشابه مزارع ایران که برای جلوگیری از باد بردگی مقدار زیادی خاک لخت روی مالچ پلاستیکی ریخته می‌شود، استفاده می‌شود (Xiong *et al.*, 2019).

شرایط رشد محصولات در دوره‌های مختلف نیز برای شناسایی پوشش پلاستیکی مزارع مورد نیاز است. شاخص NDVI (شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده) به طور گسترده برای ارزیابی شرایط پوشش گیاهی در سطح زمین استفاده می‌شود. ارزش عددی شاخص NDVI در بازه ۱- تا ۱ متغیر است. مقادیر مثبت و نزدیک به ۱ نشان‌دهنده پوشش گیاهی متراکم مثل جنگل‌ها و مزارع مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده مناطق بدون پوشش گیاهی و مقادیر نزدیک به ۱- مکان‌های مرطوب و آب هستند. با توجه به زمان کاشت محصولات مالچ پلاستیکی مانند خیار و هندوانه میانگین NDVI می‌تواند نشان‌دهنده رشد پوشش گیاهی در یک دوره زمانی باشد. بنابراین مقدار NDVI در دوره‌های مختلف به عنوان یکی از ویژگی‌های استخراج پوشش پلاستیکی مزارع انتخاب شد. شاخص NDVI به صورت رابطه ۳ محاسبه گردید (Huang *et al.*, 2021):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (3)$$

در این رابطه NIR بازتاب در طیف مادون قرمز مرئی و Red بازتاب در باند قرمز است.

شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI) برای به بیشینه رساندن بازتاب آب از طول موج سبز و برای به حداقل رساندن بازتاب کم مادون قرمز نزدیک با ویژگی‌های آب و بازتاب بالای مادون قرمز نزدیک با ویژگی‌های پوشش گیاهی خاک طراحی شده است. محدوده شاخص NDWI بین ۱- تا ۱ است. مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده وجود آب، مقادیر نزدیک به صفر نشان‌دهنده نواحی بدون آب مانند زمین‌های خشک و مقادیر منفی نشان‌دهنده نواحی



زمینی در ماه‌های مختلف بررسی و آستانه‌ها برای محدوده پوشش پلاستیکی در شاخص‌های مختلف تعیین شد. سپس بعد از رسم نمودار جعبه‌ای داده‌ها، محدوده‌ی میان‌چارکی (محدوده‌ی چارک‌های اول تا سوم) داده‌ها به عنوان پلاستیک و داده‌های کم‌تر و بیش‌تر از آن به عنوان نواحی بدون پوشش پلاستیکی در نظر گرفته شد (Lu *et al.*, 2015). شکل ۲ محدوده‌ی آستانه‌ها برای تشخیص پلاستیک در شاخص‌های مختلف و مقادیر چارک‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص NDVI در محدوده‌ی ۰/۳۱ تا ۰/۶۷ متغیر بود که مقدار میانه برابر با ۰/۱۵۸ و مقادیر چارک اول و سوم به ترتیب برابر با ۰/۰۷۳ و ۰/۳۳۴ بودند. همچنین، محدوده آستانه شاخص NDWI از ۰/۶- تا ۰/۵۹ تغییر می‌کند، به طوری که ۲۵٪ از داده‌ها کم‌تر از ۰/۲۸- و ۷۵٪ داده‌ها کم‌تر از ۰/۱۴ بودند. در شاخص‌های PMFI1 و PMFI2 چارک اول به ترتیب ۰/۵۴ و ۱/۴ و چارک سوم به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۴۷ بودند که به عنوان آستانه برای این شاخص‌ها در شناسایی پوشش پلاستیکی انتخاب شد. محدوده آستانه شاخص PMI نیز برای تشخیص پوشش پلاستیکی از ۰/۰۰۱ (چارک اول) تا ۰/۰۵۸ (چارک سوم) در نظر گرفته شد.

نتایج مشابهی توسط Lu *et al.* (2015) در تشخیص پوشش پلاستیکی زمین‌های کشاورزی وسیع با استفاده از شاخص NDVI با آستانه‌ی ۰/۲ گزارش شده است. آن‌ها مقادیر NDVI برای شناسایی پلاستیک را به دو قسمت تقسیم کردند: مرحله اول از زمان کاشت محصول که مقدار NDVI بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ در نوسان بود و مرحله دوم که با رشد محصول مقدار این شاخص بالا رفت، بنابراین از این آستانه برای تمایز پوشش پلاستیکی و غیر پوشش پلاستیکی استفاده کردند. با این حال، از دلایل اختلاف در مقادیر آستانه‌ی شاخص NDVI با این پژوهش‌ها می‌تواند به دلیل استفاده از تصاویری با توان تفکیک متفاوت و روش متفاوت در انتخاب آستانه‌ها اشاره کرد.

دارای پوشش گیاهی یا سایر سطوح غیرآبی هستند. این شاخص یکی از روش‌های مناسب برای پایش محصولات کشاورزی است که با استفاده از داده‌های سنجش از دور به کار می‌رود. در ترکیب این شاخص از طیف مادون قرمز نزدیک (NIR) با طول موج ۰/۸۴۲ میکرومتر و طیف سبز با طول موج ۰/۵۶ میکرومتر استفاده شده است. شاخص آب تفاضلی نرمال شده از رابطه ۴ استخراج شد (Liu *et al.*, 2024):

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (۴)$$

در رابطه فوق، Green طیف ۳ و NIR طیف ۸ ماهواره Sentinel-2 هستند (جدول ۱).

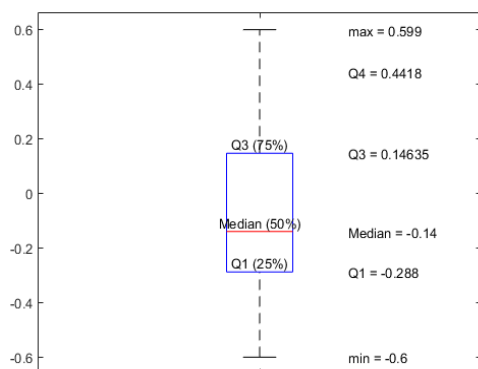
شاخص پوشش پلاستیکی (PMI)، شاخصی برای شناسایی و تحلیل نواحی پوشش داده شده با مالچ پلاستیکی در زمین‌های کشاورزی و محیط زیست است. این شاخص معمولاً برای ارزیابی پوشش گیاهی و تعیین نواحی که از مالچ پلاستیکی استفاده شده است به کار می‌رود. شاخص پوشش پلاستیکی بر اساس SWRI1 و NIR از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Xiong *et al.*, 2019):

$$PMI = \frac{(SWRI1 - NIR)}{(SWRI1 + NIR)} \quad (۵)$$

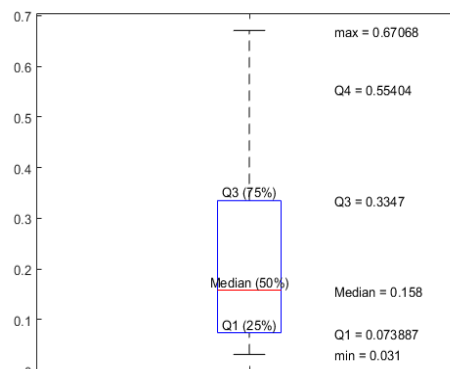
در رابطه فوق طیف B11 موج کوتاه مادون قرمز و طیف B8 مادون قرمز مرئی و نزدیک ماهواره Sentinel-2 هستند.

## نتایج و بحث

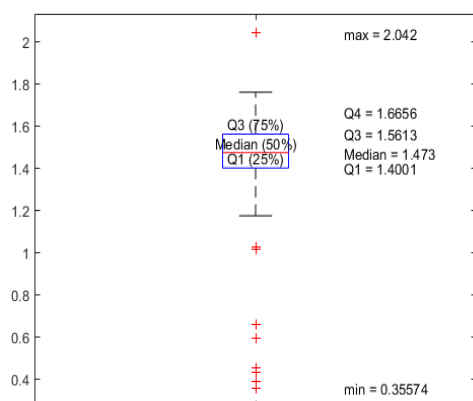
تعیین آستانه شاخص‌ها در شناسایی پوشش پلاستیکی بعد از استخراج شاخص‌های PMFI1، PMFI2، NDVI، NDWI و PMI از ماهواره Sentinel-2، خروجی داده‌های سامانه GEE به محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8.2 انتقال داده شد. از آنجایی که شاخص‌های مختلف، بازتاب‌های متفاوتی از اجسام زمینی (خاک، پوشش پلاستیکی و پوشش گیاهی) دارند. بنابراین مطابق با مزارع مورد نظر و تاریخ کاشت محصولات، بازتاب‌های طیفی برای اجسام



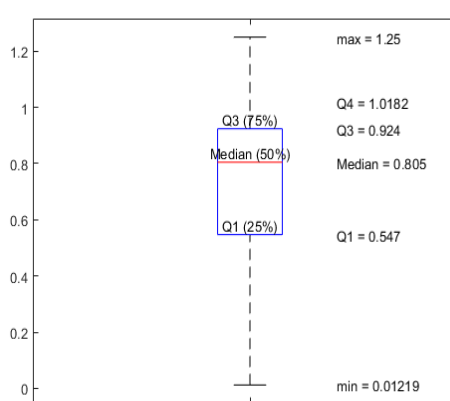
(ب)



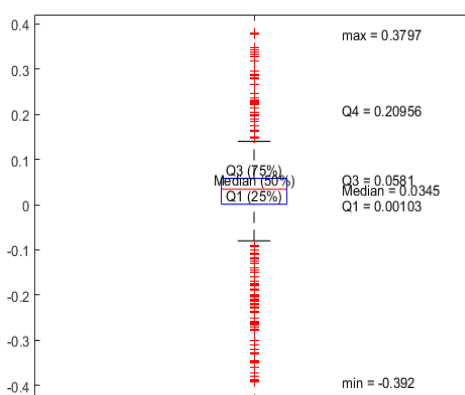
(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۲- محدوده آستانه شاخص‌های مختلف در تشخیص پوشش پلاستیکی (الف) شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، (ب) شاخص آب تفاضلی نرمال شده (NDWI)، (پ) شاخص پوشش پلاستیکی مزارع ۱ (PMFI1)، (ت) شاخص پوشش پلاستیکی مزارع ۲ (PMFI2) و (ث) شاخص پوشش پلاستیکی (PMI)

### طبقه‌بندی نمونه‌های زمینی

در ۳۰ مزرعه با پوشش پلاستیکی جمع‌آوری گردید. سپس به منظور محدود کردن توزیع فضایی، مزارع نمونه‌برداری شده به عنوان یک ماسک زمین زراعی با پوشش پلاستیکی بر روی نقشه تمام شاخص‌ها در تمام زمان‌ها در نرم‌افزار ArcGIS اعمال شد. سپس، براساس آستانه‌های برآورد

از آنجایی که هدف اصلی این پژوهش تفکیک پوشش پلاستیکی مزارع از سایر اجسام زمینی است، بنابراین اجسام زمینی در منطقه مورد مطالعه به دو گروه مالچ پلاستیکی و پوشش زمین بدون مالچ تقسیم شدند. برای این منظور، داده‌های زمینی با دستگاه موقعیت‌یاب GPS

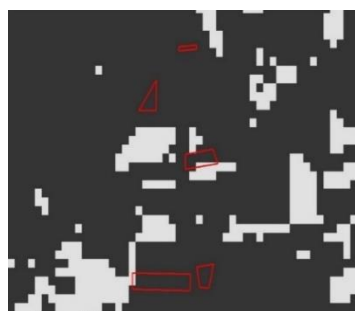
به اشتباه به عنوان پوشش پلاستیکی طبقه‌بندی شده‌اند. TN یا منفی صحیح، مزارعی هستند که به طور صحیح غیر پلاستیک تشخیص داده شده‌اند. FN یا منفی کاذب مزارعی با پوشش پلاستیک هستند که به اشتباه غیرپلاستیک طبقه‌بندی شده‌اند.

شکل ۳ نقشه بصری طبقه‌بندی مدل آستانه با داده‌های سری زمانی و طیف سنجی در شاخص‌های مختلف را نشان می‌دهد که پلی‌گن‌های قرمز رنگ، مزارع مورد بررسی، پیکسل‌های مربوط به تشخیص صحیح پوشش پلاستیکی به رنگ مشکی و پیکسل‌های مربوط به تشخیص غیرصحیح پوشش پلاستیکی به رنگ سفید در ۵ مزرعه به عنوان نمونه نشان داده شده است.

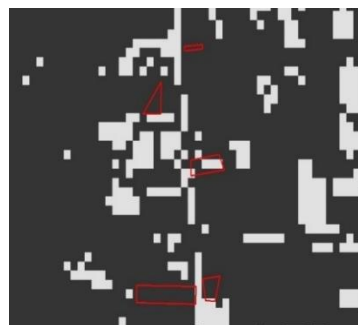
شده برای هر شاخص در بخش قبل، با روش طبقه‌بندی به دو طبقه پلاستیک و غیر پلاستیک تقسیم‌بندی شدند. در ادامه بر اساس دو طبقه ایجاد شده، تعداد اتصدهای صحیح پلاستیک و غیرصحیح پلاستیک در تمام تصاویر دریافتی از ماه فروردین تا مهر شمارش گردید و دقت هر شاخص براساس ماتریس درهم ریختگی براساس رابطه (۶) تعریف شد:

$$Accuracy = \frac{(TP+TN)}{(TP+FP+TN+FN)} \quad (۶)$$

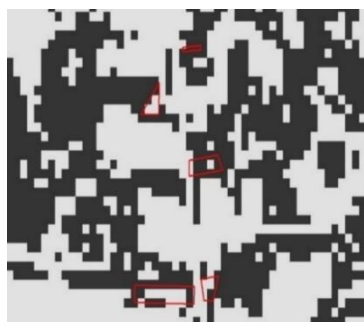
در این رابطه، TP یا مثبت صحیح، مزارعی هستند که به درستی در طبقه مزارع با پوشش پلاستیکی طبقه‌بندی شده‌اند. FP یا مثبت کاذب مزارعی هستند که



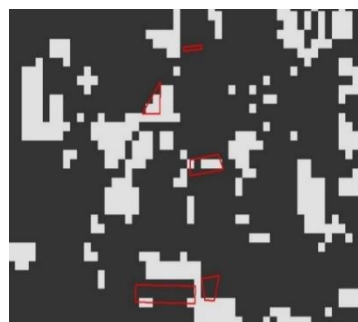
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۳- نقشه بصری طبقه‌بندی مدل آستانه با داده‌های سری زمانی و طیف سنجی در شاخص‌های مختلف (الف) شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، (ب) شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده، (پ) شاخص پوشش پلاستیکی مزارع ۱، (ت) شاخص پوشش پلاستیکی مزارع ۲ و (ث) شاخص پوشش پلاستیکی

### تعیین دقت تشخیص پوشش پلاستیکی در شاخص‌های مختلف

تشخیص پوشش پلاستیکی مزارع با استفاده از شاخص‌های PMFI1، PMFI2، NDVI، NDWI و PMI به صورت مستقل برای مزارع خیار از ماه فروردین تا تیر و برای مزارع هندوانه از ماه خرداد تا مهر سال ۱۴۰۲ در استان همدان ارزیابی شد. با توجه به تفاوت در دوره کاشت خیار و هندوانه، پوشش پلاستیکی به کار رفته برای این دو محصول به صورت مجزا بررسی شدند. درصد پوشش پلاستیکی با استفاده از ماسک پلاستیک ایجاد شده با شمارش تعداد نقاط صحیح پلاستیک و تعداد نقاطی که به اشتباه پلاستیک تشخیص داده نشده طی ماه‌های مختلف محاسبه شد. در جداول ۲ و ۳ اثر شاخص‌های مختلف بر

درصد تشخیص صحیح و غیر صحیح پلاستیک در ماه‌های مختلف زراعی نشان داده شده است.

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که برای مزارع هندوانه بیش‌ترین دقت تشخیص پلاستیک در سه ماه از پنج ماه مورد مطالعه شامل: خرداد، تیر (اوایل فصل رشد) و مهر (انتهای فصل رشد) مربوط به شاخص NDWI، با بیش‌ترین دقت در ماه‌های خرداد (۹۷٪) و مهر (۹۳٪) بود. کم‌ترین دقت تشخیص پلاستیک نیز مربوط به شاخص PMI است که در ماه شهریور با دقت ۱۱٪ بود. از دلایل برتری شاخص NDWI در شناسایی پلاستیک در اوایل فصل رشد، می‌توان به استفاده از پوشش‌های پلاستیکی که رطوبت را به خوبی حفظ می‌کنند و سبب بازتاب بالایی در طول موج های مادون قرمز نزدیک و نور مرئی می‌شود اشاره کرد.

جدول ۲- دقت شاخص‌های مختلف در تشخیص صحیح و غیر صحیح پلاستیک در ماه‌های مختلف زراعی برای محصول هندوانه

| محصول   | غیر پلاستیک | پلاستیک | شاخص   | ماه    |
|---------|-------------|---------|--------|--------|
| هندوانه | ٪ ۵۶/۹      | ٪ ۴۳/۱  | NDVI   | خرداد  |
|         | ٪ ۲/۵       | ٪ ۹۷/۵  | NDWI   |        |
|         | ٪ ۶۲/۹      | ٪ ۳۷/۱  | PMFI 1 |        |
|         | ٪ ۸۱/۷      | ٪ ۱۸/۳  | PMFI 2 |        |
|         | ٪ ۴۸/۴      | ٪ ۵۱/۶  | PMI    |        |
|         | ٪ ۵۲/۲      | ٪ ۴۷/۶  | NDVI   | تیر    |
|         | ٪ ۲۴/۲      | ٪ ۷۵/۸  | NDWI   |        |
|         | ٪ ۶۵        | ٪ ۳۵    | PMFI 1 |        |
|         | ٪ ۶۳/۹      | ٪ ۳۶/۱  | PMFI 2 |        |
|         | ٪ ۵۲/۴      | ٪ ۴۷/۸  | PMI    |        |
| هندوانه | ٪ ۴۱/۹      | ٪ ۵۸/۱  | NDVI   | مرداد  |
|         | ٪ ۴۵/۸      | ٪ ۵۴/۲  | NDWI   |        |
|         | ٪ ۳۸/۸      | ٪ ۶۱/۲  | PMFI 1 |        |
|         | ٪ ۶۳/۹      | ٪ ۳۶/۱  | PMFI 2 |        |
|         | ٪ ۸۱/۸      | ٪ ۱۸/۲  | PMI    |        |
|         | ٪ ۲۹/۲      | ٪ ۷۰/۸  | NDVI   | شهریور |
|         | ٪ ۶۱        | ٪ ۳۹    | NDWI   |        |
|         | ٪ ۲۸/۷      | ٪ ۷۱/۳  | PMFI 1 |        |
|         | ٪ ۶۲/۷      | ٪ ۳۷/۳  | PMFI 2 |        |
|         | ٪ ۸۹        | ٪ ۱۱    | PMI    |        |
| مهر     | ٪ ۲۹/۲      | ٪ ۷۰/۸  | NDVI   | مهر    |
|         | ٪ ۶/۵       | ٪ ۹۳/۵  | NDWI   |        |
|         | ٪ ۴۸        | ٪ ۵۲    | PMFI 1 |        |
|         | ٪ ۵۰        | ٪ ۵۰    | PMFI 2 |        |
|         | ٪ ۵۷/۳      | ٪ ۴۲/۷  | PMI    |        |

(مرداد تا مهر)، شاخص NDVI در شناسایی پلاستیک بالاترین دقت را بعد از PMFI1 با بیش‌ترین مقدار دقت در شهریور ماه (۷۱٪)، به دلیل رسیدن گیاه به بیشینه سبزیگی دارد.

ارزیابی دقت شاخص‌های مختلف در شناسایی پوشش پلاستیکی در مزارع خیار بیان‌گر این است که شاخص NDWI در تمام ماه‌های فصل رشد (فروردین تا تیر) بالاترین دقت را دارا است، به طوری‌که این شاخص، بیش‌ترین دقت را در شناسایی پلاستیک در اوایل فصل رشد (اردیبهشت) با دقت ۹۲٪ دارد (جدول ۳). به دنبال شاخص NDWI، شاخص PMI نسبت به سایر شاخص‌ها در ماه‌های فروردین (اوایل دوره رشد) و خرداد (میانه رشد) دقت بالاتری، با بیش‌ترین دقت در فروردین ۷۲٪ داشت، در حالی‌که در سایر ماه‌ها (اردیبهشت و تیر) شاخص NDVI بالاترین دقت را، با توجه به رسیدن به بیش‌ترین سبزیگی گیاه، در شناسایی نواحی پلاستیک داشت.

همچنین، دقت پایین شاخص PMI نشان می‌دهد که این شاخص برای نوع پوشش پلاستیک مورد استفاده در منطقه مطالعه مناسب نیست، یا طیف‌های انتخاب شده برای داده‌های ماهواره‌ای خاص مورد استفاده بهینه نیستند. با این حال، در اواسط فصل رشد (ماه‌های مرداد و شهریور) بالاترین دقت شناسایی پلاستیک مربوط به شاخص PMFI1 با دقت کلی ۷۱٪ (در شهریور) و ۶۱٪ (در مرداد) بود. از دلایل عملکرد بالای این شاخص، می‌توان به عدم تراکم بالای پوشش گیاهی در این ماه‌ها اشاره کرد که به PMFI1 اجازه می‌دهد تا پوشش پلاستیکی زیر آن را به طور مؤثر تشخیص دهد.

از دلایل دیگر دقت بالاتر شاخص PMFI1 می‌تواند وجود آب و رطوبت زیاد تعریق شده در داخل پوشش پلاستیکی باشد (Xiong et al., 2019). همچنین قابل ذکر است که در اوایل فصل رشد در ماه‌های خرداد و تیر، شاخص PMI بالاترین دقت را بعد از NDWI در شناسایی پلاستیک دارد، در حالی‌که در میانه و پایان فصل رشد

جدول ۳- دقت شاخص‌های مختلف در تشخیص صحیح و غیر صحیح پلاستیک در ماه‌های مختلف زراعی برای محصول خیار

| محصول | غیر پلاستیک | پلاستیک | شاخص   | ماه      |
|-------|-------------|---------|--------|----------|
| خیار  | ٪ ۲۷/۶      | ٪ ۷۲/۴  | NDVI   | فروردین  |
|       | ٪ ۱۰/۵      | ٪ ۸۹/۵  | NDWI   |          |
|       | ٪ ۶۴/۸      | ٪ ۳۵/۲  | PMFI 1 |          |
|       | ٪ ۷۵/۳      | ٪ ۲۴/۷  | PMFI 2 |          |
|       | ٪ ۲۶/۶      | ٪ ۷۳/۴  | PMI    |          |
|       | ٪ ۳۳/۴      | ٪ ۶۶/۶  | NDVI   | اردیبهشت |
|       | ٪ ۸/۲       | ٪ ۹۱/۸  | NDWI   |          |
|       | ٪ ۴۲/۶      | ٪ ۵۷/۴  | PMFI 1 |          |
|       | ٪ ۶۷/۶      | ٪ ۳۲/۴  | PMFI 2 |          |
|       | ٪ ۵۲/۲      | ٪ ۴۷/۶  | PMI    |          |
| خیار  | ٪ ۵۷/۴      | ٪ ۴۲/۶  | NDVI   | خرداد    |
|       | ٪ ۲۳        | ٪ ۷۷    | NDWI   |          |
|       | ٪ ۶۵/۲      | ٪ ۳۴/۸  | PMFI 1 |          |
|       | ٪ ۶۸/۱      | ٪ ۳۱/۹  | PMFI 2 |          |
|       | ٪ ۵۲/۹      | ٪ ۴۷/۱  | PMI    |          |
|       | ٪ ۴۸/۹      | ٪ ۵۱/۱  | NDVI   | تیر      |
|       | ٪ ۳۹/۴      | ٪ ۶۰/۶  | NDWI   |          |
|       | ٪ ۶۴/۳      | ٪ ۳۵/۷  | PMFI 1 |          |
|       | ٪ ۵۴/۱      | ٪ ۴۵/۹  | PMFI 2 |          |
|       | ٪ ۶۳/۹      | ٪ ۳۶/۱  | PMI    |          |

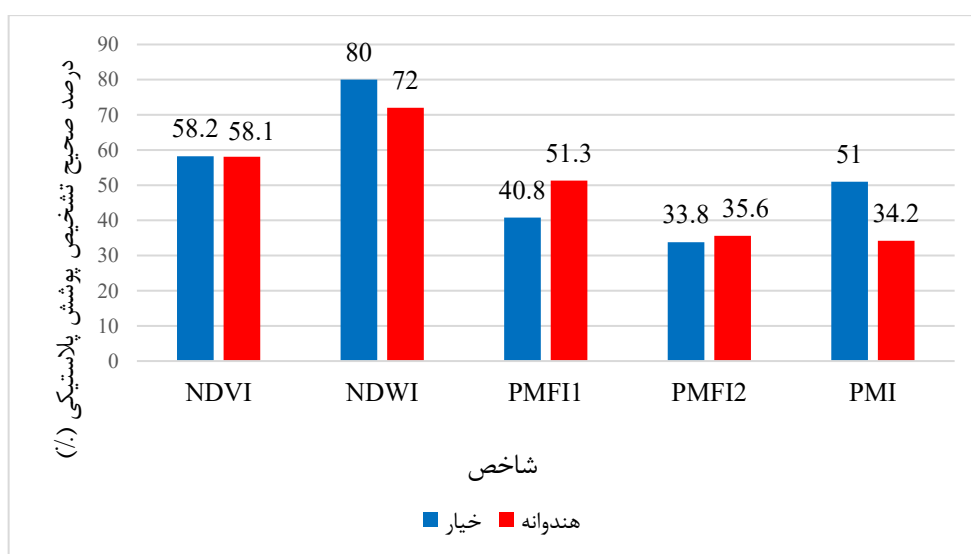


تحلیل دقیق‌تری از مناطق مورد مطالعه دارد. هر چند در میان شاخص‌های بررسی شده، به طور کلی شاخص NDVI عملکرد بهتری نسبت به شاخص‌های طیفی شامل PMF11، PMF12 و PMI داشت، ولی با توجه به وابستگی بالای این شاخص به تغییرات پوشش گیاهی، مقدار تخمین بالای دقت این شاخص در این نوع مزارع ممکن است به دلیل تغییرات تراکم پوشش گیاهی در طول دوره‌های زمانی نیز باشد.

مقایسه شاخص‌های طیفی پلاستیک در مزارع مختلف نیز عملکرد متفاوتی در شناسایی پوشش پلاستیکی را نشان می‌دهند، به طوری که شاخص PMFI1 در مزارع هندوانه و شاخص PMI در مزارع خیار عملکرد بهتری دارند (شکل ۴). هم چنین شاخص PMI نسبت به شاخص PMFI1، حساسیت بالاتری نسبت به نوع محصول کشت شده داشت. شاخص PMFI2 نیز کم‌ترین دقت را در شناسایی پوشش پلاستیکی در هر دو محصول را دارد، که می‌توان به دلیل نوع پوشش پلاستیکی که رطوبت بالایی را در خود نگه می‌دارد و سبب بازتاب کم در ناحیه طیف آبی می‌شود اشاره کرد. نتایج شکل ۴ و جداول ۲ و ۳ در مراحل اولیه رشد نیز نشان می‌دهند که شاخص NDVI بیش‌ترین تأثیر را از میزان درخشندگی زمین دارد و می‌توان با اطمینان بالایی این شاخص را نماینده خوبی در شناسایی مالچ پلاستیکی دانست.

این ارزیابی نشان داد که شاخص NDWI با توجه به طیف‌های طیفی ماهواره Sentinel-2 به برخی از ویژگی‌های طیفی خاک زیرین و رطوبت موجود در آن اجازه می‌دهد تا شفافیت مالچ پلاستیکی بیش‌تر منتقل شوند در نتیجه دقت بیش‌تری نسبت به دیگر شاخص‌های تشخیص پوشش پلاستیک داشت. هر چند در مورد مقایسه و تعیین دقت شاخص‌های مختلف به روش آستانه‌گیری تحقیقی یافت نشد، اما نتایج کلی به دست آمده در این پژوهش مشابه نتایج گزارش شده توسط Lu et al. (2024) در مورد نقشه‌برداری از گلخانه‌ها و زمین‌های پلاستیکی وسیع و در مقیاس بزرگ با استفاده از شاخص‌های NDWI، NDVI و PMI است.

دقت تشخیص پوشش پلاستیکی مزارع با شاخص‌های مختلف در شکل ۴ نشان شده است. عملکرد شاخص‌های NDWI و به دنبال آن شاخص NDVI در هر دو مزارع خیار و هندوانه به ترتیب بالاترین دقت را در شناسایی پلاستیک در فصل رشد دارند. هم‌چنین دقت NDWI در شناسایی پوشش پلاستیکی در مزارع خیار بالاتر از مزارع هندوانه است، در حالی که دقت شاخص NDVI در شناسایی پوشش پلاستیکی در مزارع خیار و هندوانه تفاوتی با یکدیگر ندارند. شاخص NDWI برای پایش محتوای آب در پوشش گیاهی و شناسایی سطوح آبی و غیرآبی استفاده می‌شود. این شاخص نسبت به شاخص NDVI تأثیر کم‌تری از شرایط جوی می‌گیرد و در نتیجه



شکل ۴- میانگین دقت تشخیص پوشش پلاستیکی مزارع در شاخص‌های مختلف

## نتیجه‌گیری

استفاده از مالچ پلاستیکی در کشاورزی در کشور ایران به ویژه در مناطقی که منابع آب کمیاب است، رو به افزایش است. اگرچه استفاده از مالچ پلاستیکی در کشاورزی فواید زیادی دارد، اما بقایای مالچ پلاستیکی می‌تواند به دلیل استفاده نادرست و بازیابی ناکارآمد، یک سری اثرات منفی بر محیط زیست ایجاد کند. نظارت بر توزیع مکانی و زمانی پوشش پلاستیکی مزارع می‌تواند اطلاعات ضروری را برای مطالعه ریزپلاستیک‌ها در خاک یا محیط‌های زمینی فراهم کند. در این پژوهش، شناسایی پوشش پلاستیکی مزارع خیار و هندوانه با شاخص‌های NDVI، NDWI، PMFI1 و PMFI2 استخراج شده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 در سامانه ابری GEE در استان همدان انجام شد. ابتدا آستانه این شاخص‌ها در مزارع نمونه برداری شده از تصاویر براساس محدوده‌ی میان چارکی مشخص شد. سپس نتایج ارزیابی شاخص‌های فوق نشان داد که این شاخص‌ها تأثیر قابل توجهی بر دقت تشخیص دارند، به طوری که دقت ارزیابی بسته به نوع شاخص از ۱۱٪ تا ۹۷٪ متغیر بود. همچنین در مراحل اولیه رشد، شاخص NDWI در مزارع بررسی شده بیانگر بالاترین دقت در شناسایی پوشش پلاستیکی بودند، در حالی که در میانه فصل رشد و قبل از رسیدن به بیشینه سبزی‌نگی، شاخص‌های طیفی شامل: PMFI1 در مزارع هندوانه و شاخص PMI در مزارع خیار دقت بالایی در شناسایی پوشش‌های پلاستیکی دارند. با توجه به این که در این پژوهش تنها از بخشی از مزارع دارای پوشش پلاستیکی در اقلیم نیمه خشک همدان و در زمان محدود (یک سال)، به دلیل محدودیت در امکانات و زمان، استفاده شده است، و از طرفی به دلیل تأثیر قابل توجه عوامل محیطی و جوی مقادیر بر این شاخص‌ها، تعمیم نتایج این پژوهش به مناطق مختلف باید با احتیاط انجام شود. لذا، پیشنهاد می‌گردد آستانه‌ها و ارزیابی شاخص‌ها در مناطقی با اقلیم متفاوت نیز مورد بررسی دقیق و مقایسه قرار گیرند. علاوه بر این، استفاده از ماهواره‌های جدیدتر مانند Sentinel-3 و Landsat-9 که در آینده امکان دسترسی به تصاویر با فاصله زمانی کم‌تر و تصاویر باکیفیت بالاتر همراه با آرشو غنی از داده‌های گذشته را فراهم می‌کنند، می‌توانند تحول قابل توجهی را در نقشه‌برداری و نظارت بر مالچ پلاستیکی کشاورزی ایجاد کنند که لازم است مورد بررسی قرار گیرند.

## دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

## اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

## تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه منافع مالی رقابتی یا روابط شخصی شناخته‌شده‌ای که ممکن است بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر گذاشته باشد، ندارند.

## حمایت مالی

نویسنده(ها) هیچ حمایت مالی خاصی برای انجام این پژوهش دریافت نکرده‌اند.

## منابع

- Agüera, F., Aguilar, F.J., & Aguilar, M.A. (2008). Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping plastic greenhouses. *ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing*. 63 (6), 635–646.  
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.03.003>
- Chang-Rong, Y., En-Ke, L., Fan, S., Liu, Q., Liu, S., & Wen-Qing, H. (2014). Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China. *J. Agric. Resour. Environ.* 31, 95–102.  
<https://doi.org/10.13254/j.jare.2013.0223>
- Chen, Z., Wang, L., Wu, W., Jiang, Z., & Li, H. (2016). Monitoring plastic-mulched farmland by Landsat-8 OLI imagery using spectral and textural features. *Remote Sens.* 8 (4), 353.  
<https://doi.org/10.3390/rs8040353>
- Chen, Z., & Li, F. (2017). Mapping Plastic-Mulched Farmland with C-Band Full Polarization SAR Remote Sens. Data. *Remote Sens.* 9 (2), 1264.  
<https://doi.org/10.3390/rs9121264>
- Dong, J., Xiao, X., Menarguez, M.A., Zhang, G., Qin, Y., Thau, D., Biradar, C., & Moore, B. (2016). Mapping paddyrice planting area in northeastern Asia with Landsat 8 images, phenology-based algorithm and Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ.* 185, 142–154.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.016>
- Dris, R., Imhof, H., Sanchez, W., Gasperi, J., Galgani, F., Tassin, B., & Laforsch, C. (2015). Beyond the ocean: Contamination of freshwater ecosystems with (micro-) plastic particles. *Environmental Chemistry*. 12(5) 539-550.  
<https://doi.org/10.1071/EN14172>

- Describe the Frequency Histogram of NDWI: A Case Study of Qinghai Lake in China. *J. Water*. 16(12), 1755. <https://doi.org/10.3390/w16121755>
- Lu, L., Di, L., & Ye, Y. (2014). A decision-tree classifier for extracting transparent plastic-mulched Landcover from landsat-5 TM images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 7 (11), 4548–4558. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2327226>
- Lu, L.Z., Hang, D.W., & Di, L.P. (2015). Threshold model for detecting transparent plastic mulched landcover using MODIS time series data: a case study in southern Xinjiang, China. *J. Appl. Remote Sens.* 9 (1), 097094. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.097094>
- Lu, L., Huang, Y., Di, L., & Hang, D. (2018). Large-scale subpixel mapping of landcover from MODIS imagery using the improved spatial attraction model. *J. Appl. Remote Sens.* 12 (4), 046017. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.046017>
- Lu, L., Xu, Y., Huang, X., K. Zhang, H., & Du, Y. (2024). Large-scale mapping of plastic mulched land from Sentinel-2 using an index-feature-spatial-attention fused deep learning model. *Remote Sens.* 11, 100188. <https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100188>
- Rahmati, A., Valadan Zoej, M.J., & Taheri Dehkordi, A. (2022). Early identification of crop types using Sentinel-2 satellite images and an incremental multi-feature ensemble method (Case study: Shahriar, Iran). *J. Advances in Space Research.* 70 (4), 907–922. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.05.038>
- Xiong, Y., Zhang, Q., Chen, X., Bao, A., Zhang, J., & Wang, Y. (2019). Large Scale Agricultural Plastic Mulch Detecting and Monitoring with Multi-Source Remote Sensing Data: A Case Study in Xinjiang, China. *Remote Sens.* 11 (18), 2088. <https://doi.org/10.3390/rs11182088>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Huang, S.H., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research.* 32, 1–6.
- Koc-San, D. (2013). Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. *J. Appl. Remote Sens.* 7 (1), 073553. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.7.073553>
- Kordi, F., & Yousefi, H. (2022). Crop classification based on phenology information by using time series of optical and synthetic-aperture radar images. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 27, 100812. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100812>
- Lanorte, A., De Santis, F., Nolè, G., Blanco, I., Loisi, R.V., Schettini, E., & Vox, G. (2017). Agricultural plastic waste spatial estimation by Landsat 8 satellite images. *Computers and Electronics in Agriculture.* 141, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.003>
- Levin, N., Lugassi, R., Ramon, U., Braun, O., & Ben-Dor, E. (2007). Remote sensing as a tool for monitoring plasticulture in agricultural landscapes. *Int. J. Remote Sens.* 28 (1), 183–202. <https://doi.org/10.1080/01431160600658156>
- Liu, C.A., Chen, Z., Wang, D., & Li, D. (2019). Assessment of the X-and C-Band Polarimetric SAR Data for Plastic-Mulched Farmland Classification. *Remote Sens.* 11 (6), 660. <https://doi.org/10.3390/rs11060660>
- Liu, S., Qiu, J., & Li, F. (2024). A Remote Sensing Water Information Extraction Method Based on Unsupervised Form Using Probability Function to