



## Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province)

Kobra Azizi<sup>1</sup>, Abdolali Karamshahi<sup>1\*</sup>, Reza Omidipour<sup>2</sup>

1. Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

2. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

\* Corresponding author: [a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

(Received: 20 September 2024

Revise: 11 November 2024

Accepted: 18 December 2024)

### Extended Abstract

**Introduction:** A forest is a natural ecosystem in which its components are in balance in a normal state, when they are affected by one or more natural or artificial destructive factors, depending on the severity of those factors, the state of balance and self-regulation is weakened or disappears. Nowadays, investigation and evaluation of changes and disturbances using satellite images has become one of the important sub-branches in natural resources sciences, and it is a tool for monitoring and controlling all kinds of changes in forest and pasture ecosystems. Fire is among these changes and disturbances, especially in the forests of Zagros. Fire is considered one of the important factors affecting natural covers, which can increase or decrease species diversity. There are several methods to detect changes in an area using satellite images, each of which has advantages and limitations. One of the methods of studying changes is the use of vegetation indices. Vegetation indices are one of the most important remote sensing tools, which are widely used to monitor and evaluate changes in vegetation, especially in the periods after a fire, and to prepare maps of burned areas in forests. The present research was conducted considering the importance of forests and frequent fires in the Zagros forests, especially the forests of the Bivareh region of Malekshahi county. In this case, the use of satellite data allows for extensive study of vegetation. Therefore, the current research aims to identify and separate the burnt areas to apply the correct management after the fire to help the vegetation cover by using remote sensing images.

**Materials and methods:** In this research, first, satellite images of fire-occurring years were obtained from the USGS website, and then 20 important indicators in fire detection were prepared using TerrSet 19 software. Then, ArcGIS 10.3 software was used to prepare maps analyze them, and provide outputs. In addition, the T-student test was used to compare the spectral indices values in burnt and control areas. Finally, by calculating the statistical parameter M, the strength and ability of each of the spectral indices in separating and distinguishing the burned areas from the adjacent areas was determined.

**Results and discussion:** The results of the mean comparison of spectral indices values in burnt and control areas showed that there was a significant difference ( $P$ -value  $< 0.05$ ) in terms of separability power of the examined indices between fire and control. Based on the results, using VI56 and CSI fire indices could be recommended as the best indices to separate burnt and control areas with 1–3 years of fire occurrence, due to their high efficiency and proper ability to separate burnt and control areas. Also, to identify and separate burned areas that are older than 3 to 5 years, the use of VI56, CSI, and MSAVI indices, and fire older than 5 to 7 years, VI56, and CSI indices can provide acceptable results.

**Conclusion:** By comparing the difference of fire indices in the years before and after the fire occurrence, it can be concluded that the CSI index indicates the highest difference between pre and post-fire occurrence. It expresses the difference better than other indices, and also this index is suggested for its advantage in identifying the areas affected by fire, investigating the spectral behavior pattern, and monitoring the vegetation restoration of the burned areas in Zagros forests. Based on the results, it is obvious that such research plays an important role in examining and evaluating the sensitivity of forest areas and making correct fire-extinguishing management decisions.

**Keywords:** Spectral indices, Remote sensing, Fire, Vegetation

Citation: Azizi, K., Karamshahi, A., & Omidipour, R. (2025). Investigation the efficiency remotely sensed indices in identification and separation of burned areas (Case study: Bivareh forest, Malekshahi county, Ilam Province). *Integrated Watershed Management*, 5(1), 129-146. doi: 10.22034/iwm.2024.2041551.1173

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





## بررسی کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی، استان ایلام)

کبری عزیزی<sup>۱</sup>، عبدالعلی کرمشاهی<sup>۱\*</sup>، رضا امیدپور<sup>۲</sup>

۱- گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

\*نویسنده مسئول: [a.karamshahi@ilam.ac.ir](mailto:a.karamshahi@ilam.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰

### چکیده مبسوط

**مقدمه:** آتش‌سوزی به عنوان یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر پوشش‌های طبیعی محسوب می‌شود، که می‌تواند سبب افزایش یا کاهش تنوع گونه‌ای شود. روش‌های متعددی برای آشکارسازی تغییرات یک منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که هر یک دارای مزایا و محدودیت‌های هستند. یکی از روش‌های مطالعه تغییرات، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی است. شاخص‌های گیاهی از مهمترین ابزارهای سنجش از دور هستند که جهت نظارت و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی بخصوص در دوره‌های زمانی پس از آتش‌سوزی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی شده در جنگل‌ها کاربرد فراوانی دارند. پژوهش حاضر با توجه به اهمیت جنگل‌ها و همچنین آتش‌سوزی‌های مکرر در جنگل‌های زاگرس به ویژه جنگل‌های منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی انجام شد. در این حالت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه گسترده پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. لذا هدف پژوهش حاضر تفکیک و شناسایی مناطق سوخته شده به منظور اعمال مدیریت صحیح پس از آتش‌سوزی به منظور کمک به پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام می‌گیرد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی امکان شناسایی و تفکیک مناطق جنگلی سوخته شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی انتخاب شدند. در این تحقیق، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سال‌های آتش‌سوزی از سایت USGS دانلود گردید و سپس ۲۰ شاخص مهم در تشخیص آتش با استفاده از نرم‌افزار TerrSet 19 تهیه گردید. برای تهیه نقشه‌ها و تجزیه و تحلیل آنها و ارائه خروجی‌ها از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. در نهایت، با محاسبه پارامتر آماری M، قدرت و توانایی هر یک از شاخص‌های طیفی در جداسازی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور تعیین شد.

**نتایج و بحث:** نتایج تجزیه واریانس مقایسه میانگین قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی در مناطق سوخته شده و کنترل در منطقه مورد مطالعه نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی بین آتش و کنترل وجود دارد. بر اساس بررسی نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر می‌توان چنین بیان نمود که عرصه‌های جنگلی و مرتعی جنگل‌های زاگرس به منظور شناسایی و تفکیک محدوده مناطق سوخته شده از مناطق کنترل که دارای سابقه ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی می‌باشند کاربرد شاخص‌های VI56 و CSI طیفی می‌تواند با توجه به کارایی بالا و توانایی مناسب در تفکیک این محدوده‌ها قابل توصیه باشد. همچنین برای شناسایی و تفکیک محدوده‌های سوخته شده که قدمت بالاتر از ۳ تا ۵ سال را دارا هستند کاربرد شاخص‌های VI56 و CSI و MSAVI و قدمت بالاتر از ۵ تا ۷ سال شاخص‌های VI56 و CSI می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه دهند.

**نتیجه‌گیری:** با مقایسه میزان اختلاف شاخص‌های مختلف در سال‌های قبل و بعد از آتش‌سوزی می‌توان نتیجه گرفت که شاخص CSI به دلیل آنکه بیشترین مقدار اختلاف قبل و بعد از وقوع آتش‌سوزی را نشان می‌دهد؛ بهتر از سایر شاخص‌ها تفاوت را بیان کرده و همچنین این شاخص به خاطر مزیت آن در شناسایی مناطق دچار آتش‌سوزی برای بررسی الگوی رفتار طیفی و بازسازی پوشش گیاهی توده‌های سوخته جنگل‌های زاگرس پیشنهاد می‌گردد. بر اساس نتایج، بدیهی است چنین پژوهشی نقش مهمی در بررسی و ارزیابی میزان حساسیت عرصه‌های جنگلی و اتخاذ تصمیمات مدیریتی صحیح اطفای حریق ایفا می‌کند که در صورت عدم چاره‌اندیشی صحیح، این مقدار پوشش سبز موجود نیز از بین خواهد رفت.

**کلید واژگان:** آتش‌سوزی، پوشش گیاهی، سنجش از دور، شاخص‌های طیفی

**استناد:** عزیزی، ک.، کرمشاهی، ع.؛ و امیدپور، ر. (۱۴۰۴). بررسی کارائی شاخص‌های سنجش از دور در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی، استان ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱۵(۱)، ۱۲۹-۱۴۶.

### حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

## مقدمه

جنگل، اکوسیستمی است که در حالت طبیعی اجزای تشکیل دهنده آن با هم در تعادل قرار دارند، هنگامی که تحت تأثیر یک یا چند عامل مخرب طبیعی یا مصنوعی قرار گیرد، بسته به شدت آن عوامل، حالت تعادل و خودتنظیمی آن ضعیف شده یا از بین می‌رود (Mirzaei *et al.*, 2015). یکی از عوامل محیطی که می‌تواند بر اکوسیستم جنگل تأثیرگذار باشد، آتش‌سوزی است. آتش‌سوزی با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه و نوع پوشش گیاهی، اثرات متفاوتی دارد که از محاسن آن می‌توان به حذف گیاهان چوبی نامرغوب، افزایش تولید و خوشخوراکی علوفه، آزاد کردن مواد مغذی گیاه و لاشبرگ در خاک، آماده‌سازی بستر برای بذرکاری، کنترل آفات و بیماری‌های قارچی اشاره کرد (Snyman *et al.*, 2004). در مقابل، آتش‌سوزی سبب می‌شود سطح زمین برای مدت طولانی بدون پوشش و در معرض فرسایش قرار گیرد (Savadojo *et al.*, 2007). همچنین آتش با سوزاندن پوشش گیاهی سبب کاهش معنی‌دار گیاهان چوبی، خشبی و بوته‌ای شده و زمینه مساعدی را برای گسترش گیاهان اشکوب زیرین فراهم می‌کند (Wienk *et al.*, 2004). آتش‌سوزی نیز یکی از مهمترین آشفته‌گی‌هایی است که باعث تغییر پوشش گیاهی و عملکرد زیست‌بوم می‌شود (Keeley *et al.*, 2011). آتش‌سوزی می‌تواند نقشی کلیدی در ساختار و عملکرد زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی داشته باشد. تغییر در ساختار و ترکیب پوشش گیاهی یکی از بارزترین آثار آتش‌سوزی بر زیست‌بوم‌های طبیعی می‌باشد (Guevara *et al.*, 1999).

تصاویر ماهواره‌ای از ابزارهای مهم و مؤثر در تعیین مناطق دچار آتش‌سوزی در دنیا هستند. این ابزار و فرآورده‌های آن قابلیت‌های زیادی را برای تعیین مناطق دارای پتانسیل بالا، مناطق دارای سابقه وقوع و حتی پایش روند ریکاوری پس از وقوع آتش هستند. در

سال‌هایی که بارندگی بهاره و سپس، خشکی شدید تابستان و پاییز اتفاق می‌افتد، احتمال وقوع آتش در جنگل‌های زاگرس بیشتر می‌شود. بارندگی‌های بهاره سبب رویش خوب گیاهان یک و چندساله و فقدان بارندگی از خردادماه منجر به افزایش حساسیت به آتش‌سوزی می‌شود. پایش جنگل‌ها برای تشخیص آتش‌ها از فنونی است که در گذشته به کمک روش‌های سنتی از قبیل دیده‌بان، بالگرد و هواپیما انجام می‌شد (Jazirehi, 2005). با ورود فناوری فضایی به عرصه زندگی بشر، تصاویر ماهواره‌ای به تدریج جایگزین روش‌های سنتی شد. تمامی این اقدامات در جهت حضور به موقع نیروهای اطفای حریق در جنگل و به تبع آن کاهش خسارت‌های ناشی از آتش‌سوزی است (Justice *et al.*, 2002). تهیه نقشه شدت آتش‌سوزی‌های بزرگ در سطوح وسیع با استفاده از روش‌های سنتی عموماً دشوار است، به‌خصوص هنگامی که منطقه آتش‌سوزی دارای توپوگرافی پیچیده و شیب‌دار، مناطق دور از دسترس و پوشش گیاهی ناهمگن باشد. یکی از روش‌ها و منابع برای تهیه نقشه شدت آتش‌سوزی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه شاخص‌های طیفی است. در نتیجه آتش‌سوزی پوشش‌های گیاهی، تغییرات طیفی ناشی از عوامل مختلف مانند از بین رفتن کلروفیل، لخت شدن خاک، سوختن ریشه‌ها و تغییر رطوبت رخ می‌دهد (Escuin *et al.*, 2008). البته کاهش کلروفیل به افزایش بازتاب در محدوده مرئی و کاهش آن در محدوده مادون‌قرمز (NIR) منجر می‌شود. همچنین با کاهش تاج‌پوشش درختان و رطوبت خاک، بازتاب در محدوده مادون‌قرمز میانی (SWIR) نیز افزایش می‌یابد (Chuvieco, 2012). با توجه به دلایل ذکرشده، مشخص می‌شود که استفاده از تصاویر طیفی بعد از آتش‌سوزی نمی‌تواند به‌تنهایی در تهیه نقشه دقیق شدت آتش‌سوزی کمک کند؛ بنابراین تهیه و به‌کارگیری داده‌های سنجش از دوری قبل و بعد از آتش‌سوزی و تهیه شاخص‌های

و Tucci (۲۰۱۹) با استفاده از شاخص‌های RBR و RBD تصاویر Sentinel-2 طبقه‌بندی شدت آتش‌سوزی را با نتایج خوبی انجام دادند. به طور کلی شاخص‌های گیاهی در سه دسته شامل شیب‌محور، فاصله‌محور و شاخص‌های تبدیل شده تقسیم‌بندی می‌شوند (Baig *et al.*, 2014). شاخص‌های شیب‌محور، ترکیب ریاضی ساده‌ای هستند که بر تضاد بین الگوی پاسخ طیفی گیاهان در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک در طیف الکترومغناطیسی تمرکز می‌کنند (مانند شاخص NDVI). در مقابل، شاخص‌های فاصله‌محور، مقدار پوشش گیاهی در هر پیکسل را با استفاده از تفاوت بارتاب هر پیکسل از بازتاب خاک لخت اندازه‌گیری می‌کنند (مانند شاخص MSAVI2). همچنین شاخص‌های تبدیلی، گروهی دیگر از شاخص‌های گیاهی هستند که با ترکیب باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای، مؤلفه‌های جدیدی را استخراج می‌کنند که با اجزای مختلف اکوسیستم ارتباط دارند. برای مثال شاخص تبدیل تسلدکپ<sup>۲</sup> با ترکیب ۶ باند از تصویر ماهواره‌ای لندست هشت (OLI)<sup>۳</sup> سه مؤلفه جدید سبزی‌نگی، روشنایی و رطوبت را ایجاد می‌کند (Morrison *et al.*, 1980). دانستن اینکه کدام شاخص یک متغیر محیطی را بهتر برآورد می‌کند، از اهمیت خاصی برخوردار است و در این راستا تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است. شاخص‌های طیفی، روش‌های سریع و مقرون‌به‌صرفه‌ای را جهت شناسایی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی شده ارائه می‌نمایند (Mouillot *et al.*, 2014). نتایج تحقیقات انجام شده با هدف ارزیابی بهترین شاخص‌های سنجش از دور به منظور شناسایی و تفکیک لکه‌های آتش از مناطق مجاور در ایالات یونان واقع در شمال غرب چین با داده‌های ماهواره لندست ۸ نشان داد که از بین شاخص‌های مورد بررسی شاخص MIBI، BAI و TC-Green بهترین نتایج

طیفی دو زمانه اهمیت زیادی در مشخص کردن محدوده آتش و تهیه نقشه شدت آن دارد. در تحقیقات مختلفی از شاخص‌های طیفی متنوعی برای تهیه نقشه مناطق سوخته شده و شدت آتش‌سوزی استفاده شده است. یافتن بهترین زوج باندها برای ایجاد شاخص‌های طیفی که بیشترین تفکیک‌پذیری طبقات شدت آتش‌سوزی را ایجاد کند برای محققان بسیار مهم است. ایجاد به‌کارگیری روش‌ها و شاخص‌های معرفی‌کننده بهترین زوج باندها برای ایجاد شاخص‌های طیفی مؤثر، می‌تواند کمک زیادی کند. به عنوان مثال Roy و همکاران (۲۰۰۶) به منظور بررسی قابلیت شاخص NBR<sup>۱</sup> برای پهنه‌بندی آتش‌سوزی در مناطق مختلف در جهان، یک شاخص آماری به نام شاخص بهینه را ایجاد کردند و اظهار داشتند که شاخص NBR نتیجه متفاوتی را برحسب منطقه نشان داد. Veraverbeke و همکاران (۲۰۱۰) قابلیت شاخص‌های مبتنی بر باندهای حرارتی استخراج‌شده از ماهواره Landsat TM را برای پهنه‌بندی آتش‌سوزی با استفاده از شاخص بهینه بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص NBR تفاضلی (دوزمانه) با مقدار شاخص بهینه ۰/۵۱ از شاخص NDVI تفاضلی با مقدار شاخص بهینه ۰/۵ و شاخص NDMI با مقدار شاخص بهینه ۰/۴۱ بهتر عمل کرد. Filipponi (۲۰۱۸) با استفاده از باندهای محدوده مرئی تصاویر Sentinel-2 شاخص BAIS2 را ابداع کرد که براساس آن، به نتایج خوبی برای شناسایی مناطق سوخته شده در ایتالیا در سال ۲۰۱۷ دست یافت. Tran و همکاران (۲۰۱۸) نیز با استفاده از شاخص‌های مختلف تهیه شده براساس تصاویر ماهواره Landsat برای برآورد شدت آتش‌سوزی و بر مبنای شاخص بهینه به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها در مناطق مختلف، نتایج متفاوتی با ضرایب کاپای ۰/۵ تا ۰/۷ برحسب منطقه ارائه دادند. Lasaponar

3- Operational Land Imager

1- Normalized Burn Ratio

2- Tasseled Cap

جنگل و مرتع و افزایش آتش‌سوزی‌های سالیان اخیر در جنگل‌ها و مراتع زاگرس به‌ویژه جنگل‌ها و مراتع بیوره شهرستان ملکشاهی با هدف تفکیک و شناسایی مناطق سوخته شده به‌منظور اعمال مدیریت صحیح پس از آتش‌سوزی در مناطق مذکور در جهت کمک به پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر سنجش از دور انجام گرفت.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

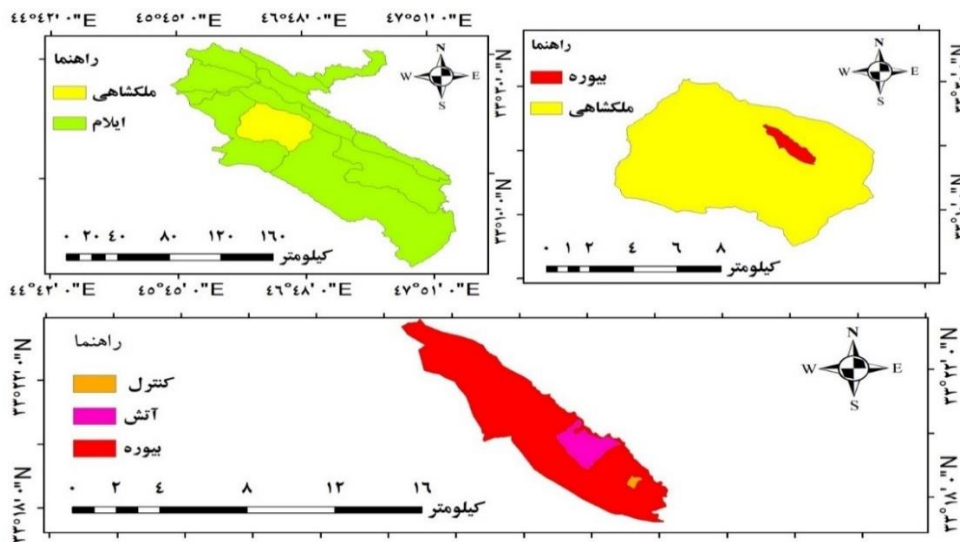
منطقه مورد مطالعه در سامانه عرفی بیوره از توابع شهرستان ملکشاهی در استان ایلام با مساحت ۹۶ هکتار قرار دارد که محدوده جغرافیایی ۶۴۹۸۰۰ تا ۶۵۲۸۰۰ طول شرقی و ۳۶۹۳۵۰۰ تا ۳۶۹۶۰۰ عرض شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع در این منطقه ۱۳۶۷ و حداکثر آن ۱۶۸۷ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه کاملاً پوشیده از جنگل بوده که گونه غالب آن بلوط ایرانی است و سایر گونه‌ها مانند زالزالک، بنه، کیکم و ارژن با آن همراه هستند (Engineering Advisory Firm of Catchment Plan, 2007). به منظور بررسی امکان شناسایی مناطق جنگلی سوخته شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، جنگل‌های منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی انتخاب شد. ابتدا با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود در بخش حفاظت و حمایت اداره کل منابع طبیعی استان ایلام، نسبت به انتخاب مکان آتش‌سوزی و تعیین زمان وقوع آتش‌سوزی (۱۳۸۹/۳/۸) در آن اقدام گردید. سپس در کنار منطقه آتش، منطقه‌ای به عنوان کنترل جهت مقایسه در نظر گرفته شد.

را داشتند (Fornaca et al., 2018). این در حالی است که شاخص‌های NDMI و NBR جهت تفکیک و شناسایی لکه‌های آتش با قدمت یک سال و شاخص‌های TC-Britht و TC-Wet برای لکه‌های آتش با قدمت طولانی‌تر نتایج بهتری را به خود اختصاص دادند. با استفاده از شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تحقیقی در پارک ملی کانادا شدت آتش‌سوزی در علفزارهای مناطق نیمه‌خشک مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که شاخص‌های NBR و MIRBI در ارزیابی و بررسی شدت آتش‌سوزی و احیای پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی نسبت به سایر شاخص‌های مورد بررسی از قابلیت بهتری برخوردار می‌باشند (Bing et al., 2016). نتایج تحقیقات انجام شده به منظور ارزیابی شاخص‌های طیفی برای شناسایی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده در جنگل‌های از میر ترکیه نشان داد که شاخص‌های  $NDVI^4$ ،  $NBR2^5$  و  $ARVI^6$  از بین شاخص‌های مورد بررسی به ترتیب بهترین توانایی جهت شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده از مناطق مجاور را داشتند (Tonyaloglu, & Atak, 2020). در تحقیقی دیگر، جهت متمایز نمودن مناطق آتش‌سوزی شده با سری‌های مختلف زمانی تصاویر ماهواره‌ای در مناطق ساوانایی از شاخص  $NDVI$  به طور موفقیت‌آمیزی در مقایسه با سایر شاخص‌های طیفی استفاده شده است (Roy et al., 1999). روش مورد استفاده در این مقاله دارای مزایایی از جمله پیش‌پردازش و پردازش سریع، نیاز نداشتن به اطلاعات درست، وابستگی کمتر به تصمیم‌گیری انسان (روش و هدف)، پیاده‌سازی آن در مقیاس منطقه‌ای آسان و موفق است. روش مذکور به دلیل ایجاد رابطه بین مجموع داده‌های بخش‌های گوناگون طیفی، نتایج قابل اعتمادی را در این پژوهش به دست داد. لذا پژوهش حاضر با توجه به اهمیت

6- Atmospheric Resistance Vegetation Index

4- Normalized Difference Vegetation Index

5- Normalized Burn Ratio 2



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان ملکشاهی  
Figure1- Location map of the study area in Malekshahi county

وب سایت <http://www.earthexplorer.usgs.gov>

داده‌های مورد استفاده

مربوط به منطقه مورد مطالعه و با کمترین میزان ابرناکی استفاده شد (جدول ۱).

در پژوهش حاضر و با هدف انجام محاسبه شاخص‌های مرسوم، از تصاویر ماهواره لندست ۵، ۷ و ۸ اخذ شده از

جدول ۱- داده‌های ماهواره‌ای

Table 1- Satellite data

تاریخ برداشت تصویر Acquisition date	مقدار خطای زمین Georeferencing RMSE	درصد ابرناکی Cloud cover (%)	سنجنده Sensor	ماهواره Satellite
2009/5/13	4.816	0.00	TM-5	Landsat
2010/6/25	4.453	0.00	TM-5	Landsat
2013/6/25	5.510	0.00	OLI-8	Landsat
2014/6/17	5.271	0.10	OLI-8	Landsat
2015/6/20	5.089	0.09	OLI-8	Landsat
2016/5/6	5.579	0.84	OLI-8	Landsat
2017/6/9	5.316	0.47	OLI-8	Landsat
2018/5/27	5.763	0.29	OLI-8	Landsat
2019/5/30	5.682	0.21	OLI-8	Landsat
2020/5/17	5.338	0.02	OLI-8	Landsat
2021/5/19	5.899	0.01	OLI-8	Landsat
2022/6/7	6.247	0.08	OLI-8	Landsat
2023/5/17	5.769	0.02	OLI-8	Landsat

گیاهی، از مجموعه داده باندهای خام تصحیح شده لندست ۵ و ۸ استفاده شد. لیست این شاخص‌ها به همراه روابط ریاضی آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

محاسبه شاخص‌های گیاهی مناسب

در این تحقیق برای تهیه شاخص‌های مختلف پوشش

جدول ۲- لیست شاخص‌های طیفی تصاویر لندست به منظور بررسی امکان تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق کنترل  
 Table 2- The list of indicators of the spectral images for evaluating the possibility of separating the burned areas from the control areas.

منبع	فرمول	مخفف	شاخص
Chuvieco <i>et al.</i> , 2002	$\frac{1}{(0.1+Red)^2 + (0.06+NIR)^2}$	BAI	Burned area index
Key & Benson, 2005	$\frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2}$	NBR	Normalized burned ratio
Guide, 2017	$\frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	NBR2	Normalized Burn Ratio 2
Tucker, 1979	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
Smith <i>et al.</i> , 2007	$\frac{NIR}{SWIR2}$	CSI	Char Soil Index
Baig <i>et al.</i> , 2014	$0.3037Blue+0.2793Green+0.4743Red+0.5585NIR+0.5082Cirrus+0.1863SWIR2$	TC-B	Tasseled Cap Brightness
Baig <i>et al.</i> , 2014	$-0.2848Blue-0.2435Green-0.5436Red+0.7243NIR+0.0840SWIR1-0.1800SWIR2$	TC-G	Tasseled Cap Greenness
Baig <i>et al.</i> , 2014	$0.1509Blue+0.1973Green+0.3279Red+0.3406NIR-0.7112SWIR1-0.4572SWIR2$	TC-W	Tasseled Cap Wetness
Trigg & Flasse, 2001	$(10SWIR2) - (9.8SWIR1) + 2$	MIRBI	Mid infrared burn index
Wilson & Sader, 2002	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	NDMI	Normalized difference moisture index
Holden <i>et al.</i> , 2005	$\frac{NIR - (SWIR2 * THERMAL1)}{NIR + (SWIR2 * THERMAL1)}$	NBRT	Normalized Burn Ratio Thermal
Lu <i>et al.</i> , 2015	$\frac{NIR}{RED}$	SR	Simple Ratio
Martin <i>et al.</i> , 2005	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR2 - 0.2 * SWIR2)^2}$	BAIML	Burned Area Index Modified-LSWIR
Martin <i>et al.</i> , 2005	$\frac{1}{(NIR - 0.05*NIR)^2 + (SWIR1 - 0.2 * SWIR1)^2}$	BAIMS	Burned Area Index Modified-sSWIR
Taddeo <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR}{Red}$	VI54	Ratio54
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{NIR}{SWIR1}$	VI56	Ratio56
Garcia-Llamas <i>et al.</i> , 2019	$\frac{SWIR1}{SWIR2}$	VI67	Ratio67
Smith <i>et al.</i> , 2007	$\frac{(NIR - Red) * THERMAL1}{(NIR + Red) * THERMAL1}$	NDVIT	NDVI-Thermal
Marshall, 2005	$\frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2}$	MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2

RED = باند قرمز، BLUE = باند آبی، Green = باند سبز، NIR = مادون قرمز نزدیک، SWIR1 = مادون قرمز کوتاه، SWIR2 = مادون قرمز کوتاه

THERMAL1 = مادون قرمز حرارتی، THERMAL2 = مادون قرمز حرارتی

۲μ = میانگین ارزش طیفی منطقه سوخته نشده  
 ۱σ = میانگین انحراف معیار منطقه سوخته شده  
 ۲σ = میانگین انحراف معیار منطقه سوخته نشده

### تجزیه و تحلیل آماری

مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی بین مناطق آتش‌سوزی شده با قدمت ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ سال با استفاده از آزمون T-test مستقل انجام گرفت. تمامی تجزیه و تحلیل‌های آماری و رسم نمودارها به ترتیب با نرم‌افزار SPSS 25 و Excel 2016 انجام پذیرفت.

### نتایج

#### مقایسه قدرت تفکیک پذیری شاخص‌های آتش

#### و کنترل در منطقه بیوره

مقایسه نتایج میانگین قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی نشان داد که اختلاف معنی‌داری از نظر قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی بین آتش و کنترل وجود دارد. به طوری که شاخص‌های NDVI، MSAVI، GNDVI، CSI، BAIMS، BAIML، BAI، NDVIT، NDMI، NBRT، NBR2، NBR، MIRBI، SR، VI56، VI54، TC\_W، TC\_G، TC\_B در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۳ و شکل ۲).

### محاسبه و تعیین شاخص تفکیک‌پذیری مناطق

#### آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل

با محاسبه پارامتر آماری M (رابطه ۱) می‌توان قدرت و توانایی هر یک از شاخص‌های طیفی در جداسازی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور را تعیین نمود. پارامتر آماری M بیانگر فاصله طیفی بین پیکسل‌های مناطق سوخته شده و سوخته نشده می‌باشد. پارامتر تفکیک‌پذیری (M) قدرت جداسازی مناطق مذکور را از طریق نسبت تفاضل میانگین (μ) بین شاخص‌های طیفی دو منطقه و مجموع انحراف معیار (σ) آنها محاسبه می‌نماید (Kaufman, 1994). مقدار M مساوی یک بیانگر تفکیک خوب بین مناطق آتش‌سوزی شده و مناطق مجاور می‌باشد. در واقع هرچه شاخص تفکیک‌پذیری M بیشتر باشد تفکیک مناطق سوخته شده بهتر انجام می‌پذیرد. مقادیر M کمتر از یک نشانگر درجه بالای همپوشانی بین مناطق سوخته شده و سوخته نشده بوده و به معنی تفکیک نامناسب این دو منطقه از یکدیگر است (Smith et al., 2007).

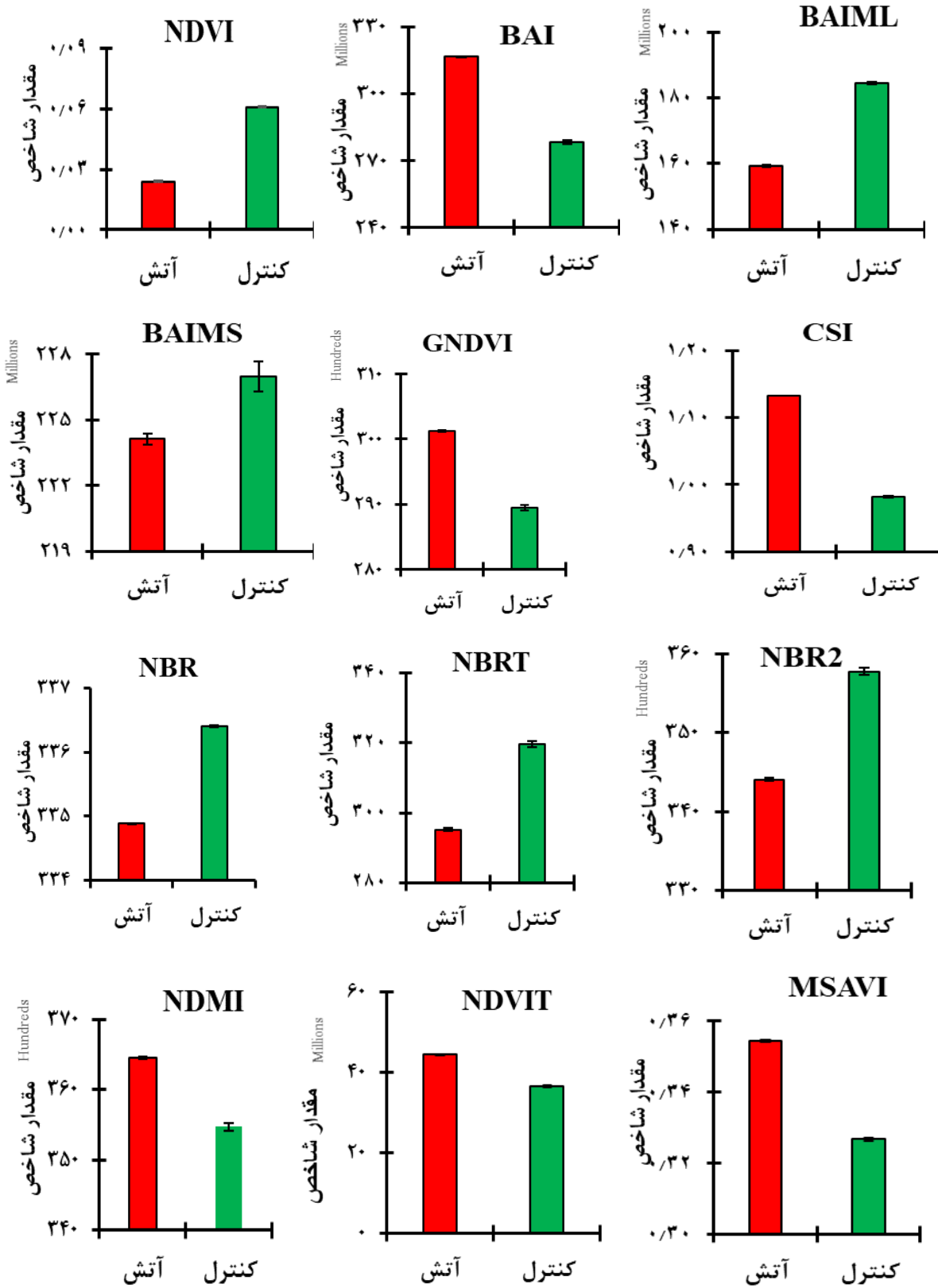
$$M = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\sigma_1 + \sigma_2)} \quad (1)$$

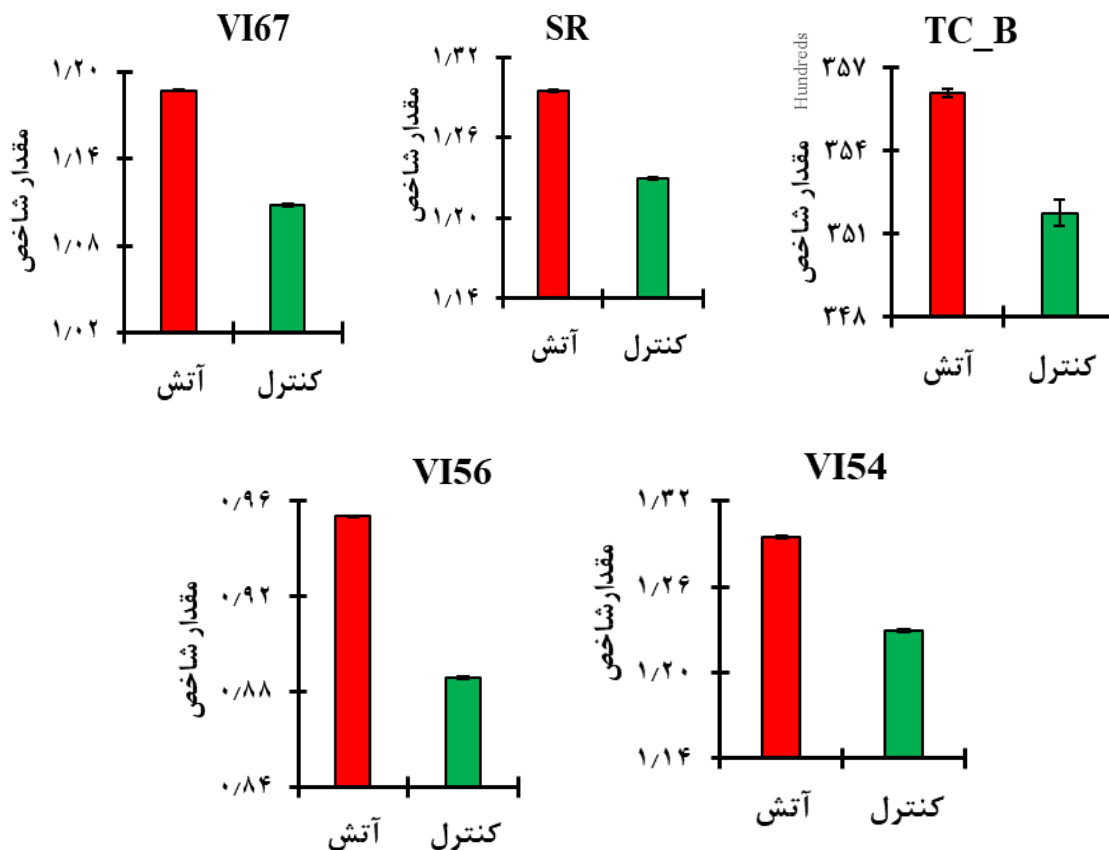
۱μ = میانگین ارزش طیفی منطقه سوخته شده

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین مقادیر شاخص‌های مورد بررسی بین مناطق آتش‌سوزی شده و کنترل

Table3- The comparison results of mean values of indicators between fired areas and control areas

P-value	t-value	میانگین شاخص در مناطق کنترل	میانگین شاخص در مناطق آتش	شاخص
0.000	-105.749	0.0606538818 ± 0.0003213087	0.239916279 ± 0.0001302128	NDVI
0.000	43.084	278441686.7 ± 916704.0300	316629362.9 ± 230067.1319	BAI
0.000	-51.873	184655003.5 ± 450506.4068	159320722.6 ± 188590.4107	BAIML
0.000	-3.965	226985400.7 ± 679880.1548	224126994.1 ± 239893.9633	BAIMS
0.000	125.710	0.9818299417 ± 0.0011328626	1.132516114 ± 0.0003917493	CSI
0.000	27.635	28944.54316 ± 40.39624789	30124.17660 ± 11.15586351	GNDVI
0.000	67.126	0.3267562551 ± 0.0004010060	0.3543876453 ± 0.0000929337	MSAVI
0.009	-2.614	33632.45031 ± 44.07886064	33510.69490 ± 15.04903406	NBR
0.000	-26.956	35780.03928 ± 47.23207957	34407.14810 ± 19.05382624	NBR2
0.000	-27.136	319803847.3 ± 844652.3811	295201161.8 ± 329472.1963	NBRT
0.000	17.398	35469.66717 ± 53.82202854	36446.89387 ± 16.07031005	NDMI
0.000	44.969	36533487.82 ± 164742.0584	44465306.55 ± 46139.54877	NDVIT
0.000	82.618	1.229375004 ± .0007084840	1.294428814 ± 0.0003435910	SR
0.000	8.709	35174.73716 ± 47.13633390	35606.77206 ± 15.46118934	TC_B
0.000	82.618	1.229375004 ± 0.0007084840	1.294428814 ± 0.0003435910	VI54
0.000	108.678	0.8858253495 ± 0.0005719749	.9536321409 ± 0.0002492525	VI56
0.000	103.007	1.108095605 ± .0007458105	1.187338030 ± 0.0001886191	VI67





شکل ۲- مقایسه میزان قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های مورد بررسی

Figure 2- The comparison of the separability strength of the indicators under study

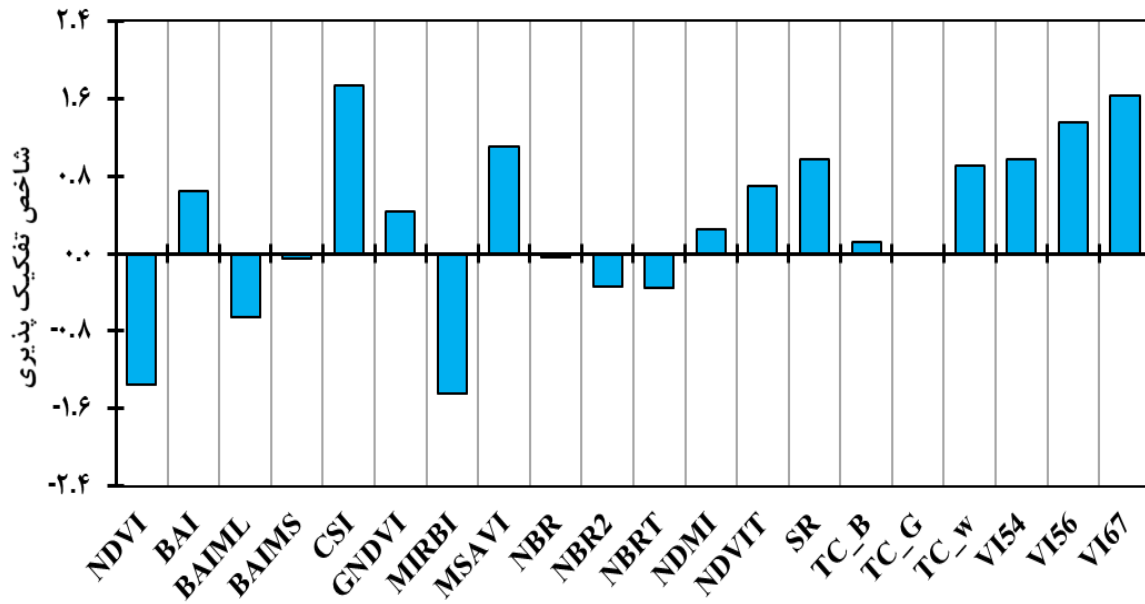
MSAVI به ترتیب با مقادیر ۱/۷۳۴، ۱/۶۳۱، ۱/۳۴۹ و ۱/۱۰۳ از بین شاخص‌های آتش مورد بررسی بیشترین قدرت تفکیک‌پذیری را دارند (شکل ۳). همچنین طبق نتایج به دست آمده از بررسی تفکیک‌پذیری شاخص‌های طیفی به منظور تفکیک مناطق با قدمت آتش در نخستین سال آتش‌سوزی چهار شاخص VI67، CSI، VI56 و MSAVI بالاترین قدرت تفکیک‌پذیری را از بین شاخص‌های مورد بررسی به خود اختصاص داده‌اند و تفکیک مناطق با قدمت آتش ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ ساله شاخص‌های VI56 و CSI بالاترین قدرت تفکیک‌پذیری را از بین شاخص‌های مورد بررسی داشته‌اند (شکل ۴). راهنمای هر شاخص (شکل ۵، ۶، ۷، ۸)، بیان‌گر دامنه تغییرات آن شاخص در سال مورد بررسی

### تفکیک‌پذیری مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق مجاور با شاخص‌های آتش

پارامتر آماری (M) قدرت تفکیک‌پذیری شاخص‌های آتش را نشان می‌دهد و در صورتی که مقدار این شاخص مساوی عدد یک باشد بیانگر میزان تفکیک‌پذیری خوب شاخص در جداسازی مناطق آتش‌سوزی از مناطق مجاور می‌باشد. همچنین هرچه مقدار این شاخص از عدد یک بزرگتر شود از قدرت بیشتری جهت مجزا نمودن مناطق آتش از مجاور آن برخوردار است (Melchiori et al., 2015). بررسی نتایج تفکیک‌پذیری مناطق سوخته شده از مناطق کنترل با استفاده از پارامتر آماری M نشان می‌دهد که شاخص‌های طیفی CSI، VI67، VI56 و

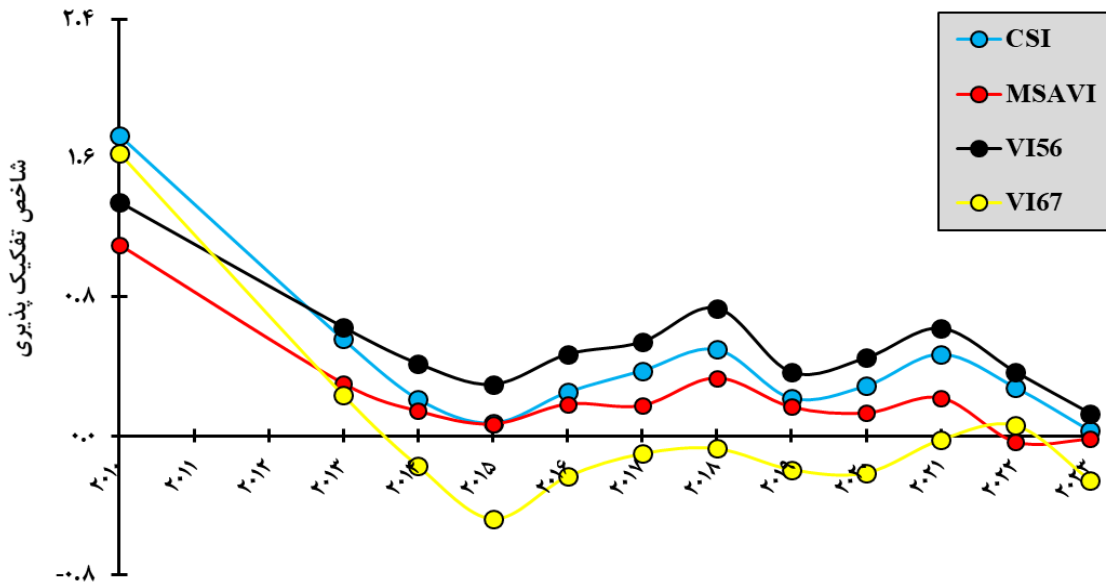
است برای مثال در مورد شاخص MSAVI این عدد بین

۱- تا +۱ تغییر می‌کند.



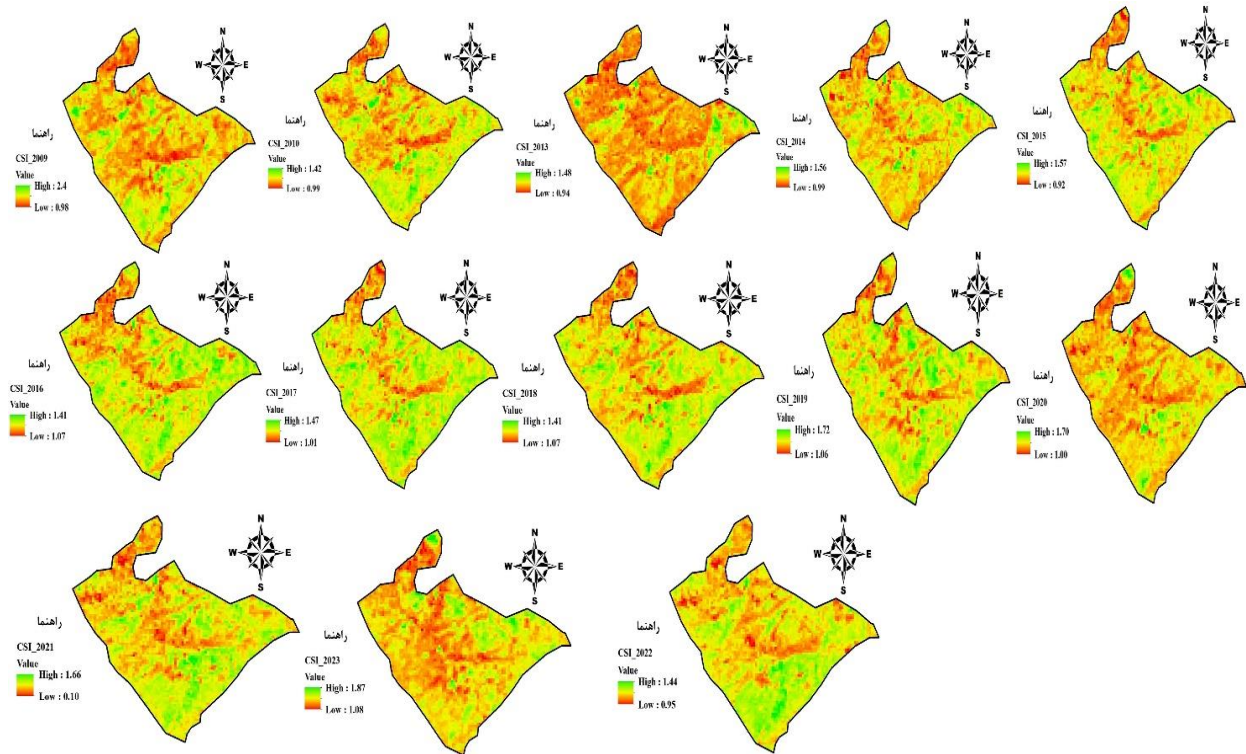
شکل ۳- قدرت تفکیک پذیری شاخص‌های طیفی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی

Figure 3- Separability strength of spectral indices at different time periods after the fire



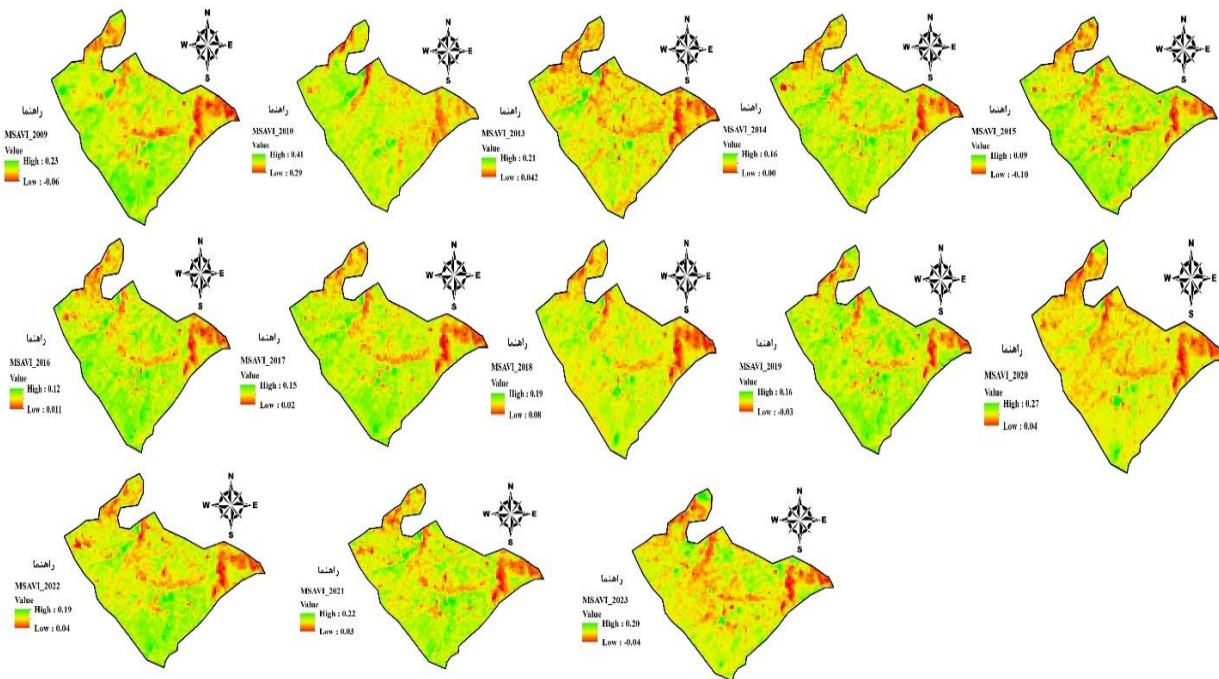
شکل ۴- مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش

Figure 4- The most suitable separability indicators in the time periods after the fire



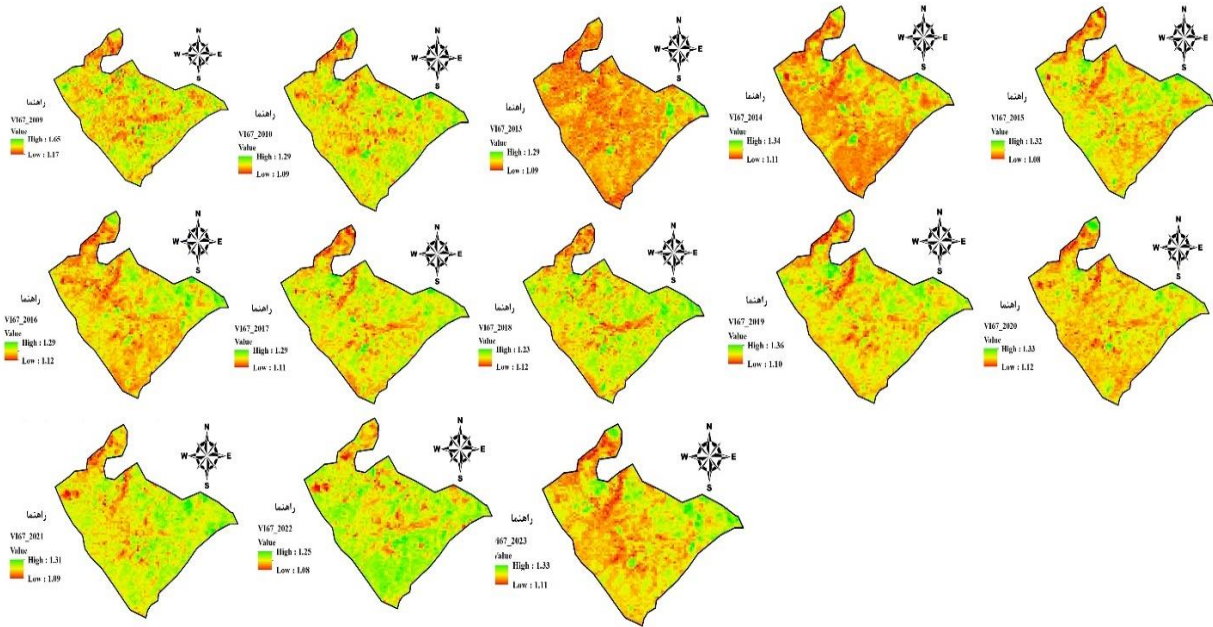
شکل ۵- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (CSI)

Figure 5- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (CSI)



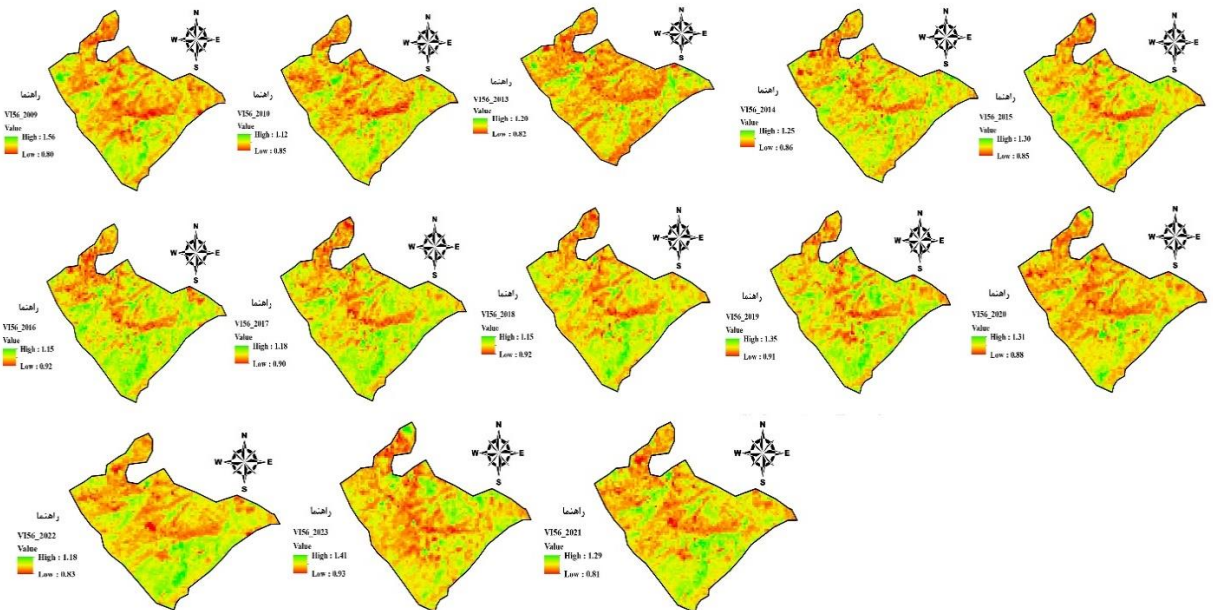
شکل ۶- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (MSAVI)

Figure 6- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (MSAVI)



شکل ۷- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (VI67)

Figure 7- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (VI67)



شکل ۸- نقشه مناسب‌ترین شاخص‌های تفکیک‌پذیری در دوره‌های زمانی پس از آتش (VI56)

Figure 8- Map of the most suitable separability indicators in the time periods after the fire (VI56)

میلادی بحث شاخص‌های گیاهی و نسبت‌گیری طیفی در محافل علمی مرتبط با سامانه اطلاعات جغرافیایی و دورکاوی مطرح گردید. از آن زمان تاکنون شاخص‌های

بحث

یکی از روش‌ها برای بررسی تغییرات و طبقه‌بندی تصاویر استفاده از شاخص‌های گیاهی است. از اواخر دهه ۷۰

مختلفی مانند NDVI و MSAVI ابداع گردید تا از طریق آنها بتوان روند تغییرات پوشش گیاهی را در طول زمان اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل کرد (Boyd et al., 1996). اساس کار این شاخص‌ها بر روی اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل است، که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند داشته و انعکاس شدید در باند مادون قرمز نزدیک داشته باشند (Fatemi, 2014). شاخص‌های گیاهی از پرکاربرترین نمونه‌های محاسبات باندهای می‌باشند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی و وضعیت سبزی‌نگی یک منطقه طی دوران مختلف بکار می‌روند. شاخص‌های گیاهی اساساً به صورت کسری یا خطی، باندهای رادیومتری را ترکیب می‌کنند. برای بررسی دقیق پوشش گیاهی و حتی تعیین نوع پوشش در آنها نمی‌توان از یک شاخص گیاهی به‌تنهایی استفاده کرد و استفاده از چند شاخص در کنار یکدیگر و همچنین استفاده از اطلاعات جانبی از منطقه مورد مطالعه بسیار مفید و نتیجه‌بخش خواهد بود (Rahmani, 2011). پژوهش حاضر به منظور بررسی توانایی شاخص‌های طیفی سنجش از دور در تفکیک‌پذیری مناطق آتش‌سوزی شده جنگلی و مرتعی بیوره شهرستان ملکشاهی طی دوره‌های مختلف زمانی پس از وقوع آتش‌سوزی انجام گردید. با توجه به اثرات آتش‌سوزی بر آشکارسازی تغییرات پوشش سطح زمین به خصوص پوشش گیاهی مراتع و قابلیت خصوصیات طیفی باندهای سنجنده ماهواره لندست ۸ و نسبت‌گیری بین باندهای طیفی و حرارتی در ارتباط با تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل از شاخص‌های طیفی استفاده شد. در این مطالعه توان ۲۰ شاخص گیاهی در تشخیص تغییرات رخ داده در پوشش گیاهی در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی مورد مقایسه قرار گرفت. انتخاب بهترین و حساس‌ترین شاخص طیفی از ماهواره‌هایی با اندازه تفکیک‌های مکانی متفاوت، نیازمند

انجام مطالعات گسترده در اکوسیستم‌های طبیعی نظیر جنگل‌ها و مراتع می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش حاضر در خصوص تعیین قدرت تفکیک‌پذیری مناطق سوخته‌شده از مناطق کنترل با ۲۰ شاخص طیفی محاسبه شده در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی مشخص شد که تعدادی از این شاخص‌ها قادر به تفکیک مناطق آتش‌سوزی شده در همان سال اول وقوع آتش‌سوزی هستند. طبق نتایج به دست آمده از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی شاخص‌های CSI، VI67، VI66 و MSAVI توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته شده از مناطق کنترل در سال اول آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشند. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مشخص گردید که بهترین شاخص‌های طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ ساله، شاخص‌های طیفی VI66 و CSI می‌باشند. نتایج تحقیقات انجام شده توسط Chuvieco و همکاران (۲۰۰۲) نشان می‌دهد که از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی جهت تفکیک مناطق سوخته شده، بهترین و کارآمدترین شاخص‌ها، شاخص‌هایی بودند که جهت تشخیص مناطق آتش‌سوزی شده بر تغییرات پوشش سبز گیاهی و رطوبت خاک تمرکز داشتند. شاخص‌های مذکور به‌طور معمول از باندهای سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و باند حرارتی بهره می‌گیرند. به نظر می‌رسد یکی از دلایل توانایی برخی از شاخص‌های طیفی در قدرت تفکیک‌پذیری بالاتر در مقایسه با سایر شاخص‌ها این باشد که پس از آتش‌سوزی به سرعت بازتاب باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR1,2) به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند و بر همین اساس برخی از شاخص‌های طیفی مبتنی بر این باندها توانایی تفکیک مناسب مناطق آتش‌سوزی شده از مناطق کنترل را دارا هستند و برای

مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌توانند دقت شناسایی و تفکیک بالایی را داشته باشند. Mohammadian (۲۰۲۳) نشان دادند که از بین شاخص‌های طیفی مورد بررسی شاخص VI56 توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته‌شده مرتعی از مناطق مجاور در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشد. Carreiras و همکاران (۲۰۰۶) اظهار داشتند که شاخص گیاهی MSAVI در آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مقایسه با سایر شاخص‌ها، برتری دارد. در شاخص MSAVI باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) وجود دارد که به صورت مخفف NIR نامیده می‌شود. این طیف برای اکولوژی مهم است زیرا سلامت گیاهان را نشان می‌دهد. آب موجود در برگ‌های گیاهان طول موج‌ها را به سمت آسمان پراکنده کرده و گیاهان در این باند بیشترین بازتاب را دارند. این شاخص قابلیت بالایی در تشخیص آتش‌سوزی در منطقه مورد مطالعه را نشان داد. در واقع با توجه به معادله ریاضی فرمول شاخص MSAVI که از مولفه‌های باند قرمز (RED) و باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و ضرایب تجربی بازتاب خاک زمینه تشکیل شده است، مشخص گردید که این شاخص به‌طور مشهودتری قادر به نمایان‌سازی اختلافات پوشش گیاهی در مطالعه حاضر می‌باشد. در واقع شاخص MSAVI، شاخصی است که بازتاب خاک زمینه را در نظر می‌گیرد؛ بنابراین به نظر می‌رسد که به همین دلیل قادر است که تغییرات را در دوره‌های مختلف پس از آتش، بهتر نمایان نماید. بطور کلی، هدف از ارائه نقشه‌ی شاخص‌ها مشاهده تغییرات زمانی پوشش گیاهی در سال‌های پس از وقوع آتش‌سوزی است. با توجه به افزایش فراوانی گیاهان یکساله در سال‌های اول پس از آتش انتظار بر این است که شاخص‌های تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های اولیه مقدار بالاتری را نشان دهند (مقدار حداکثر شاخص MSAVI در سال ۲۰۱۰ برابر ۰/۴۱ است) در حالی که

تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده از مناطق مجاور مناسب و کارآمد می‌باشند (Miller & Quayle, 2015). امروزه تحقیقات نشان داده است که کاربرد ترکیبی باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج بلند (باندهای حرارتی: TIRS) و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1,2) در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهد (Veraverbeke et al., 2011). موفق‌آمیز بودن کاربرد ترکیبی باندهای مذکور با نتایج این پژوهش در زمینه توانایی بالای شاخص‌های CSI، VI67، VI56 و MSAVI همخوانی دارد. بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر شاخص CSI بهترین شاخص طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی شناخته شد. این شاخص از باندهای ۵ (باند مادون قرمز نزدیک) و ۷ (باند مادون قرمز طول موج کوتاه) تشکیل شده است. کاربرد ترکیبی این باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR1,2) در شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهند. Mohammadian و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی مناطق سوخته شده در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری به این نتیجه رسید که شاخص‌های VI56، CSI، NDMI، NBR، NBR، NDVI و توانایی بالاتری در تشخیص مناطق سوخته شده عرصه‌های مجاور در دوره‌های زمانی ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی را نسبت به سایر شاخص‌های طیفی دارا می‌باشند. همچنین طبق نتایج به دست آمده بهترین شاخص طیفی با کارایی بالا جهت تفکیک مناطق سوخته شده با دوره‌های ۱ تا ۳، ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ در منطقه بیوره شهرستان ملکشاهی شاخص طیفی VI56 است. در این شاخص از باندهای ۵ و ۶ استفاده شده که در شناسایی و تفکیک

است که با گذشت زمان (فصل رویش) پس از آتش‌سوزی بطور کلی پوشش گیاهی تحت تأثیر توالی ثانویه احیا و به طرف شرایط پیش از آتش‌سوزی و مرحله کلیماکس پیش می‌رود. همچنین در صورت مساعد بودن شرایط محیطی و مدیریتی این پیشروی نمایان‌تر شده و عملاً شناسایی محدوده‌های متأثر از آتش‌سوزی دشوارتر می‌شود؛ بنابراین از توانایی شاخص‌های طیفی جهت شناسایی و تفکیک محدوده‌های آتش در مناطق با دوره‌های ۳ تا ۵ و ۵ تا ۷ سال در مقایسه با ۱ تا ۳ سال پس از آتش‌سوزی به مراتب کاسته می‌شود.

در سال‌های بعد و با ورود گونه‌های بوته‌ای و شروع بازیابی پوشش گیاهی مقدار شاخص طبیعتاً کاهش می‌یابد که بر اساس نتایج به دست آمده در سال‌های بعد مقدار این شاخص کاهش یافته است. این نتایج به طور مشابهی در سایر شاخص‌ها هم به دست آمده است.

## نتیجه‌گیری

نتایج تحقیقات انجام شده در خصوص پایش تغییرات پوشش گیاهی در دوره‌های زمانی مختلف پس از آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگل و مرتع بیانگر این نکته

## References

- Atak, B.K., & Tonyaloglu, E.E. (2020). Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(1), 63-73. <https://doi.org/10.3195/ejefjs.657253>
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T., & Tong, Q. (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.915434>
- Bing, L.U., Yuhong, H.E., & Alexander, T. (2016). Evaluation of spectral indices for estimating burn severity in semiarid grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 25, 147-157. <https://doi.org/10.1071/WF15098>
- Boyd, D.S., Foody, G.M., Curran, P.J., Lucas, R.M., & Honzak, M. (1996). An assessment of radiance in Landsat TM middle and thermal infrared wavebands for the detection of tropical forest regeneration. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 249-261. <https://doi.org/10.1080/01431169608949003>
- Carreiras, J.M., Pereira, J.M., & Pereira, J.S. (2006). Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest ecology and management*, 223(1-3), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.056>
- Chuvieco, E. (2012). Remote sensing of large wildfires: in the European Mediterranean Basin. *Springer Science & Business Media*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-60164-4-3>
- Chuvieco, E., Martin, M.P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103-5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>
- Escuin, S., Navarro, R., & Fernández, P. (2008). Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing* 29(4), 1053-1073. <https://doi.org/10.1080/01431160701281072>
- Fatemi, S., & Rezaei, Y. (2014). *Fundamentals of remote sensing*, 259 p.
- Filipponi, F. (2018). BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2. *2nd International Electronic Conference on Remote Sensing*, 22 March–5 April, 2018. <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05177>
- Fornaca, D., Ren, G., & Xiao, W. (2018). Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan. China. *Journal of Remote Sensing*, 10(8), 4-21. <https://doi.org/10.3390/rs10081196>

- Guevara, J.C., Stasi, C.R., Wuilloud, C.F., & Estevez, O.R. (1999). Effects of fire on rangeland vegetation in southwestern Mendoza plains Argentina: composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments*, 41(1), 27-35. <https://doi.org/10.1006/jare.1998.0463>
- Jazirehi, M.H. (2005). forest conservation. first edition. Tehran University Publishing and Printing Institute, 231 pages.
- Justice, C.O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J.T., Roy, D., Descloitres, J., Alleaume, S., Petitcolin, F., & Kaufman, Y. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00076-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00076-7)
- Kaufman, Y.J., & Remer, L.A. (1994). Detection of Forests Using Mid-IR Reflectance: An Application for Aerosol Studies. *IEEE transactions on geoscience and Sensing*, 32, 672-683. <https://doi.org/10.1109/36.297984>
- Keeley, J.E., Pausas, J.G., Rundel, P.W., Bond, W.J., & Bradstock, R.A. (2011). Fire as an evolutionary pressure shaping plant traits. *Trends in Plant Science*, 16(8), 406-411. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.04.002>
- Lasaponara, R., & Tucci, B. (2019). Identification of Burned Areas and Severity Using SAR Sentinel-1. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(6), 917-921. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2888641>
- Melchiori, A.E., Candido, P., Libonati, R., Morelli, F., Setzer, A., de Jesus, S.C., Garcia Fonseca, L.M., & Korting, T.S. (2015). Spectral indices and multi-temporal change image detection algorithms for burned area extraction in the Brazilian Cerrado. In *Proceedings of the Anais XVII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto—SBSR. Joao Pessoa-PB, Brasil*, 25-29 April 2015, 643-650. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4314.2562>
- Miller, J. D., & Quayle, B. (2015). Calibration and validation of immediate post-fire satellite-derived data to three severity metrics. *Fire Ecology*, 11(2), 12-30. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1102012>
- Mirzaei, J., Mohamadi, A., Heidarizadi, Z., Noorollahi, H., & Omidipour, R. (2015). Assessment of land cover changes using RS and GIS (case study: Zagros forests, Iran). *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 6, 2565-2572.
- Morrison, I.M. (1980). Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. *Grass Forage Science*, 35, 93-287. <https://doi.org/10.1111/j.13652494.1980.tb01525.x>
- Mouillot, F., Schultz, M.G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., & Chuvieco, E. (2014). Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing—A review: Analysis of user needs and recommendations for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 64-79. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.05.014>
- Mohammadian, A. (2023). *The interaction effects of fire and grazing on diversity characteristics in grassland landscapes*. Ph.D. Dissertation. Faculty of Natural Resources and Earth Sciences Shahrekord, Shahrekord University.
- Mohammadian, A., Asadi Borujeni, E., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P., & Naghypour borj, A. A. (2022). Capability of derived vegetation indices from remotely sensed data for burned area discrimination in semi-steppic rangeland (case study of CHB province, Iran). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(4), 837-850. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.323095.1588>
- Rahmani, N., Shahidi, K., & Miriaqubzadeh, M.H. (2011). Evaluation of vegetation indicators used in environmental monitoring (case study: Harsik Basin). The conference Geomatics90, the country mapping organization, Tehran, Iran. <https://doi.org/civilica.com/doc/151301>
- Roy, D.P., Boschetti, L., & Trigg, S.N. (2006). Remote sensing of fire severity: assessing the performance of the normalized burn ratio. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 112-116. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.858485>
- Roy, D.P., Giglio, L., Kendall, J.D., & Justice, C.O. (1999). Multi-temporal activefire based burn scar detection algorithm. *International*

- Journal of Remote Sensing*, 20, 1031–1038.  
<https://doi.org/10.1080/014311699213073>
- Savadogo, P., Sawadogo, L., & Tiveau, D. (2007). Effects of grazing intensity and prescribed fire on soil physical and hydrological properties and pasture yield in the savanna woodlands of Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 80-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.002>
- Smith, A.M.S., Drake, N.A., Wooster, M.J., Hudak, A.T., Holden, Z.A., & Gibbons, C.J. (2007). Production of Landsat ETM+ reference imagery of burned areas within Southern African savannahs: Comparison of methods and application to MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 2753–2775.  
<https://doi.org/10.1080/01431160600954704>
- Snyman, H. A. (2004). Soil seed bank evaluation and seedling establishment along a degradation gradient in a semi-arid rangeland. *African Journal of Rangelands*, 21(1), 37-47.  
<https://doi.org/10.2989/10220110409485832>
- Tran, B., Tanase, M., Bennett, L., & Aponte, C. (2018). Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. *Remote Sensing*, 10(11), 1680.  
<https://doi.org/10.3390/rs10111680>
- Veraverbeke, S., Harris, S., & Hook, S. (2011). Evaluating spectral indices for burned area discrimination using MODIS/ASTER (MASTER) airborne simulator data. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2702-2709.  
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.010>
- Veraverbeke, S., Verstraeten, W.W., Lhermitte, S., & Goossens, R. (2010). Evaluating Landsat Thematic Mapper spectral indices for estimating burn severity of the 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *International Journal of Wildland Fire*, 19(5), 558-569.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.10.004>
- Wienk, C.L., Sieg, C.H., & McPherson, G.R. (2004). Evaluating the role of cutting treatments. fire and soil seed banks in an experimental framework in ponderosa pine forests of the Black Hills, South Dakota. *Forest Ecology and Management*, 192, 375–393.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.004>