

Evaluation of multi-spectral remote sensing data capability in order to identify and differentiate burned pastures during the grazing gradient (Case study: Semi-arid rangelands of CHB province, Iran)

Ali Mohammadian^{1*}, Esmail Asadi Borujeni² and Reza Siahmansour³

1* - Corresponding Author, Assistant Prof., Research Division of Forests and Rangeland, Khorramabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.

E-mail: mohammadian53@yahoo.com

2- Associate Prof., Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran.

3- Associate Prof., Research Division of Forests and Rangeland, Khorramabad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Khorramabad, Iran.

Received: 23.02.2024

Revised: 19.06.2024

Accepted: 06.07.2024

Abstract

Background and objectives: The evaluation of disturbances using satellite imagery is a crucial sub-field in natural resource science, serving as a tool for monitoring changes such as fire and livestock grazing in forest and pasture ecosystems. Grazing intensity and fires are significant disturbances in arid and semi-arid rangelands. Remote sensing for burned area mapping has been extensively studied. Spectral indices are widely used to monitor vegetation cover changes, particularly post-fire, and to generate burned area maps. Given the vastness and inaccessibility of Iran's mountain rangelands, multi-spectral remote sensing data was employed to identify burned areas. This research aimed to determine the most effective auxiliary data to enhance classification accuracy for identifying and delineating burned semi-steppe rangelands, and to estimate burned pasture extent for post-fire management using Landsat-8 imagery.

Methodology: Burned rangeland sites were selected based on information from the Chaharmahal and Bakhtiari Province Department of Natural Resources Protection and local expert input. Old fire occurrence and grazing intensity at selected sites were determined. Twenty-seven burned sites, representing old fire occurrences and high to medium grazing intensity, were delineated using GPS polygons. Maximum likelihood classification (MLC) in Idrisi TerrSet software was used to identify burned pasture areas. Auxiliary data, including pan-sharpened raw bands, Tasseled Cap transformation components, digital elevation model (DEM) derivatives, principal component analysis (PCA) components, and the Normalized Burn Ratio-Thermal (NBRT) index, were evaluated to improve classification accuracy. Overall and Kappa accuracies were assessed using error matrices, and Friedman's rank test was used to compare the effectiveness of different data combinations.

Results: The combination of DEM derivatives and the NBRT index significantly improved the classification accuracy of burned areas with varying grazing intensities, achieving an overall accuracy of 66% and a Kappa accuracy of 63%. The NBRT index, based on near-infrared (NIR), short-wave infrared (SWIR1 and SWIR2), and thermal infrared (Thermal1) bands, effectively distinguished burned semi-arid rangelands with different fire ages and grazing intensities. The high sensitivity of these bands to post-fire vegetation changes contributes to the NBRT index's effectiveness.

Conclusion: Multi-spectral remote sensing data, particularly Landsat-8 imagery, combined with auxiliary data layers, effectively identifies and delineates burned semi-steppe pastures. MLC demonstrated capability despite spectral similarities between regenerated vegetation and



Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<https://ijfrpr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

surrounding areas. The NBRT index's effectiveness stems from the high sensitivity of its constituent bands (NIR, SWIR1, SWIR2, and Thermal1) to post-fire vegetation changes, enabling accurate identification of burned semi-steppe grasslands.

Keywords: Maximum Likelihood Algorithm, separability, burn index, Landsat-8, semi-arid rangelands

ارزیابی قابلیت داده‌های سنجش از دور چندطیفی به منظور شناسایی و تفکیک مراتع سوخته‌شده در طول گرادیانت چرای (مطالعه موردی: مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری)

علی محمدیان^{۱*}، اسماعیل اسدی بروجنی^۲ و رضا سیاه منصور^۳

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران. پست الکترونیک: mohammadian5392@gmail.com

۲- دانشیار، گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۳- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۴

چکیده

سابقه و هدف: امروزه بررسی و ارزیابی تغییرات ناشی از آشفته‌گی‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیرشاخه‌های مهم در علوم منابع طبیعی تبدیل شده و ابزاری برای نظارت و کنترل در اکوسیستم جنگل و مرتع است. ازجمله این تغییرات و آشفته‌گی‌ها به‌ویژه در سطح مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌توان به چرای علف‌خواران و آتش‌سوزی اشاره نمود. در مطالعات متعددی، استفاده از سنجش از دور به‌منظور تهیه نقشه از مناطق سوخته‌شده بررسی شده است. شاخص‌های طیفی یکی از پرکاربردترین ابزارهای سنجش از دوری هستند که برای پایش و نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی مراتع به‌ویژه در زمان‌های مختلف پس از وقوع آتش و تهیه نقشه‌های مناطق سوخته‌شده استفاده می‌شوند. با توجه به وسعت مراتع کشور و صعب‌العبور بودن غالب مراتع کوهستانی به‌منظور شناسایی و تفکیک مراتع دچار حریق، از داده‌های سنجش از دور چندطیفی استفاده شد. پژوهش پیش‌رو با هدف تعیین مؤثرترین داده‌های کمکی به‌منظور افزایش دقت طبقه‌بندی برای شناسایی و تفکیک مراتع نیمه‌استپی سوخته‌شده، همچنین تعیین وسعت این مراتع برای اتخاذ برنامه‌های مدیریتی مناسب پس از وقوع آتش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸ انجام شد.

مواد و روش‌ها: ابتدا با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود در بخش حفاظت و حمایت اداره‌کل منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، همچنین اطلاعات افراد آگاه محلی و بهره‌برداران، نسبت به انتخاب سایت‌های مرتعی دچار حریق اقدام شد. درمجموع، ۱۷ سایت آتش‌سوزی‌شده براساس قدمت آتش (یک تا سه سال و سه تا پنج سال پس از آتش‌سوزی)، شدت چرای زیاد و متوسط، انتخاب و محدوده سایت‌ها توسط دستگاه موقعیت‌یاب GPS به‌صورت پلی‌گون ثبت شد. سپس برای بررسی امکان شناسایی و تفکیک محدوده‌های مرتعی سوخته‌شده از مناطق مجاور آن از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) توسط نرم‌افزار Idrisi TerrSet استفاده شد. همچنین، برای تعیین مؤثرترین داده‌های کمکی مانند باندهای خام Pan-sharpen (توان تفکیک مکانی ۱۵ متر)، شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ (TC-B)، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، سه مؤلفه اول شاخص PCAs و شاخص آتش NBRT در افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های آتش، علاوه بر ارزیابی و محاسبه مقادیر دقت کلی و دقت کاپای موجود در ماتریس خطا از آزمون رتبه‌بندی فریدمن استفاده شد.

نتایج و یافته‌ها: نتایج پژوهش نشان داد، از بین داده‌های کمکی مورد استفاده برای افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف آتش، مجموع داده کمکی DEM-NBRT با توجه به ماهیت مطالعه مورد نظر بیشترین اثرگذاری را بر افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف چرای در مراتع نیمه‌استپی با میزان دقت کلی (۶۶ درصد) و دقت کاپا (۶۳ درصد) به خود اختصاص داده است. شاخص آتش NBRT با توجه به اینکه مبتنی بر باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج کوتاه ۱ و ۲ (SWIR1,2)، همچنین مادون قرمز حرارتی (Thermal1) است، بنابراین می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم و کارآمد در تفکیک و جداسازی مراتع نیمه‌استپی سوخته‌شده با قدمت‌های مختلف آتش و شدت‌های چرای متفاوت استفاده شود.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست آمده بیانگر توانایی و قابلیت داده‌های سنجش از دور چندطیفی تصاویر ماهواره لندست-۸ و تأثیرات کاربرد

ترکیبی لایه‌های کمکی در افزایش دقت شناسایی و تفکیک مراتع نیمه‌استپی سوخته‌شده است. همچنین، به قابلیت الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال با وجود شباهت رفتار طیفی پوشش گیاهی احیاشده پس از گذشت زمان نسبت به مناطق مجاور آن می‌توان اشاره کرد. توانایی شاخص طیفی NBRT را در شناسایی و تفکیک مراتع نیمه‌استپی سوخته‌شده، می‌توان ناشی از سه مؤلفه اصلی تشکیل‌دهنده این شاخص یعنی باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج کوتاه ۱ و ۲ (SWIR1, 2)، همچنین مادون قرمز حرارتی (Thermal1) و حساسیت بالای این باندها به تغییرات پوشش گیاهی پس از وقوع آتش‌سوزی نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم حداکثر احتمال، تفکیک‌پذیری، شاخص آتش، لندست-۸، مراتع نیمه‌استپی

مقدمه

مراتع و چراگاه‌ها یکی از بزرگ‌ترین بوم‌سازگان‌های جهان هستند، برآورد می‌شود بیش از ۵۰ درصد از مساحت زمین را دربرگرفته‌اند و کارکردهای فراوانی مانند تلطیف آب‌وهوا، پایداری بوم‌سازگان، تولید گیاهان دارویی و صنعتی، تنظیم چرخه آب، جلوگیری از فرسایش خاک، مدیریت آلودگی، تولید علوفه برای دام‌ها و اکوتوریسم دارند، بنابراین، تلاش برای حفظ، بهره‌برداری و توسعه پایدار آنها لازم و ضروریست (Karimi et al., 2016). امروزه یکی از حوادثی که به‌فراوانی در ایران اتفاق می‌افتد، پدیده آتش‌سوزی عرصه‌های طبیعی به‌ویژه آتش‌سوزی مراتع است. آتش‌سوزی مراتع اثرهای زیان‌بار و ویرانگری به شکل مستقیم یا غیرمستقیم بر زندگی بشر دارد. از سویی، وجود دام‌ها بر ظرفیت مراتع و چرای بی‌رویه و خارج از فصل مزید بر علت شده و موجبات تسریع و تسهیل تخریب این مراتع پرارزش را فراهم کرده است. بنابراین، پایش مراتع و اطلاع از چگونگی وسعت آتش‌سوزی‌های رخ داده و بررسی وضعیت مدیریت چرای این عرصه‌ها به‌ویژه پس از وقوع آشفته‌گی‌هایی مانند آتش‌سوزی و چرای علف‌خواران از ضروری‌ترین اقدامات موردنیاز برای شناخت و مدیریت موفق این عرصه‌هاست. همچنین، شناسایی و تهیه نقشه محدوده آتش‌سوزی‌های بزرگ در سطوح وسیع در مراتع با استفاده از روش‌های سنتی معمولاً دشوار است، به‌ویژه هنگامی که منطقه آتش‌سوزی دارای توپوگرافی پیچیده و شیب‌دار، مناطق دور از دسترس و پوشش گیاهی ناهمگن باشد. در این میان، یکی

از روش‌های کاربردی برای تهیه نقشه محدوده‌های آتش‌سوزی‌شده، استفاده از داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دور است. داده‌های سنجش از دوری ابزارهای توانمندی هستند که به دلیل ارائه داده‌های متنوع از لحاظ اندازه پیکسل، دوره‌های زمانی مختلف و گستردگی زیاد موردتوجه و استفاده بسیاری از پژوهشگران هستند (Abedini et al., 2022). در حال حاضر بررسی و ارزیابی تغییرات آشفته‌گی‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به یکی از زیرشاخه‌های مهم در علوم منابع طبیعی تبدیل شده است و ابزاری برای نظارت و کنترل انواع تغییرات در اکوسیستم‌های جنگل و مرتع است. ازجمله این تغییرات و آشفته‌گی‌ها به‌ویژه در سطح مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌توان به چرای علف‌خواران و آتش‌سوزی اشاره کرد. در سال‌های اخیر پرتاب ماهواره‌هایی مانند لندست-۸ و سنتینل-۲ و رایگان بودن این تصاویر، امکان استفاده آنها را برای پژوهشگران فراهم نموده است. در مطالعات متعدد استفاده از سنجش از دور به‌منظور تهیه نقشه از مناطق سوخته شده بررسی شده است (Mitri & Gitas, 2004). در این رابطه، شاخص‌های طیفی یکی از مهمترین ابزارهای سنجش از دوری هستند که در ارزیابی بسیاری از جنبه‌های پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های مختلف استفاده شده‌اند. درواقع، شاخص‌های طیفی مجموعه عملیات ریاضی ساده هستند که روی دو یا چند باند تصویر ماهواره‌ای اعمال می‌شود تا بتوان اطلاعات جدیدی را از تصاویر ماهواره‌ای استخراج کرد. امروزه شاخص‌های طیفی، روش‌های سریع و مقرون‌به‌صرفه‌ای را

برای شناسایی و تهیه نقشه‌های مناطق آتش‌سوزی‌شده ارائه می‌نمایند (Chuvieco *et al.*, 2019). برای مثال، نتایج تحقیقات انجام‌شده با هدف ارزیابی بهترین شاخص‌های سنجش از دور به منظور شناسایی و تفکیک لکه‌های آتش از مناطق مجاور در ایالت یوآنان واقع در شمال غرب چین با داده‌های ماهواره لندست-۸ نشان داد، از بین شاخص‌های موردبررسی، شاخص‌های MIBI، BAI و TC-Green بهترین نتایج را داشتند (Fornacca *et al.*, 2018). این در حالی است که شاخص‌های NBR و NDMI برای تفکیک و شناسایی لکه‌های آتش با قدمت یکسال و شاخص‌های TC-Bright و TC-Wet برای لکه‌های آتش با قدمت طولانی‌تر نتایج بهتری را به خود اختصاص دادند. با استفاده از شاخص‌های طیفی استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ی لندست-۸، در تحقیقی در پارک ملی کانادا شدت آتش‌سوزی در علفزارهای مناطق نیمه‌خشک ارزیابی شد، نتایج نشان داد، شاخص‌های NBR و MIRBI در ارزیابی و بررسی شدت آتش‌سوزی و احیای پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی نسبت به سایر شاخص‌های موردبررسی از قابلیت بهتری برخوردار هستند (Lu *et al.*, 2015). در پژوهشی برای استخراج محدوده مناطق سوخته‌شده به روش نیمه‌خودکار، از شاخص‌های طیفی NDVI، EVI و NBR ماهواره لندست-۸ استفاده شد و نتایج با درصد خطای سه تا دو درصد ارائه شد (Stroppiana *et al.*, 2012). پژوهشگران با استفاده از باندهای محدوده مرئی تصاویر Sentinel-2 شاخص BAIS2 را ابداع نمودند که براساس آن، به نتایج خوبی برای شناسایی مناطق سوخته‌شده در مراتع ایتالیا دست یافتند (Filipponi, 2018). همچنین، در برآورد شدت آتش‌سوزی با استفاده از شاخص‌های مختلف طیفی تصاویر لندست-۸ بر مبنای شاخص بهینه به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها در مناطق مختلف نتایج متفاوتی را با ضرایب کاپای ۰/۵ تا ۰/۷ برحسب منطقه ارائه می‌نماید (Tran *et al.*, 2018). نتایج تحقیقات انجام‌شده به منظور ارزیابی شاخص‌های طیفی

برای شناسایی و تفکیک مناطق آتش‌سوزی‌شده در جنگل‌های از میر ترکیه نشان داد، شاخص‌های NBR2، NDVI و ARVI از بین شاخص‌های موردبررسی به ترتیب بهترین توانایی را برای شناسایی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور داشتند (Atak 2020, Tonyaloglu &). در تحقیقی دیگر، برای متمایز نمودن مناطق آتش‌سوزی‌شده 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, 1999). نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط Mohammadian و همکاران (۲۰۲۲) در مورد توانایی شاخص‌های طیفی در شناسایی و تفکیک مراتع نیمه‌استپی سوخته‌شده چهارمحل و بختیاری نشان داد، در مراتع آتش‌سوزی‌شده که دارای قدمت یک تا سه سال پس از آتش‌سوزی هستند، کاربرد شاخص‌های طیفی NBRT، NBR، CSI و می‌تواند با توجه به کارایی بالا و توانایی مناسب در تفکیک این محدوده‌ها قابل توصیه باشد. همچنین، برای شناسایی و تفکیک محدوده‌های سوخته‌شده که قدمت سه تا پنج سال دارند، کاربرد شاخص‌های طیفی T.C. Brightness و NBRT می‌توانند نتایج قابل‌قبولی را ارائه نمایند. نتایج تحقیقات انجام‌شده توسط Pacheco و همکاران (۲۰۲۳) در مورد به‌کارگیری شاخص‌های طیفی تصاویر ماهواره لندست-۸ مانند BAI، NBR، MIRBI، NBR2، NBRT و NBI در جداسازی و تفکیک مناطق جنگلی دچار حریق‌شده در جنگل‌های پرتغال و برزیل نشان داد، از بین شاخص‌های موردبررسی شاخص NBRT و MIRBI توانایی بالاتری را در جداسازی و تفکیک مناطق سوخته‌شده از مناطق مجاور دارند. بررسی نتایج تحقیقات انجام‌شده تاکنون نشان می‌دهد، در مورد شناسایی عرصه‌های مرتعی دچار حریق‌شده طی دوره‌های مختلف زمانی پس از آتش در طول گرا دیانت چرای با استفاده از داده‌های سنجش از دوری در دنیا و ایران مطالعات بسیار اندکی انجام شده است. درواقع، غالب

اختصاص داده است. این پژوهش، آتش‌سوزی‌های رخ داده در مراتع استان و بیشتر در بخش‌های مرکزی و شمالی آن را مدنظر قرار داده است (ChaharMahal Bakhtiari Province Management and Planning Organization, 2017).

روش اجرای تحقیق

انتخاب سایت‌ها

ابتدا با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود در بخش حفاظت و حمایت اداره کل منابع طبیعی استان و مراجعه به فرم‌های مربوط به ثبت مشخصات مناطق آتش‌سوزی شده در مراتع نیمه‌استپی بخش‌های مرکزی و شمالی استان، همچنین اطلاعات افراد محلی آگاه و بهره‌برداران، نسبت به انتخاب سایت‌ها اقدام شد. در این مورد پس از تعیین لیست مناطق و تاریخ وقوع آتش‌سوزی (قدمت آتش) با توجه به اطلاعات موجود، نسبت به تعیین شدت چرایی، در مناطق موردنظر با توجه به پارامترهایی مانند فاصله از منابع تأمین آب شرب دام (Shahriary et al., 2012; Bastin et al., 2003)، قابلیت دسترسی مرتع برای دام (Tarhouni et al., 2010)، تعداد کل دام در منطقه در هکتار در سال براساس آمار مربوط به اداره کل منابع طبیعی و وجود محدوده‌های عرفی چرا برای بهره‌برداران بومی، در سایت‌ها اقدام شد (جدول ۱). در مجموع، تعداد ۲۷ لکه آتش‌سوزی شده در ۱۷ سایت براساس قدمت آتش (یک تا سه سال و سه تا پنج سال پس از آتش‌سوزی)، مدیریت شدت چرای زیاد و متوسط، انتخاب و محدوده لکه‌ها توسط دستگاه موقعیت‌یاب GPS به صورت پلی‌گون ثبت شد. به این منظور در محدوده هر لکه آتش، ابتدا یک ماکروپلات مستقر شد (۳ ماکروپلات برای هر لکه)، که ابعاد ماکروپلات با توجه به جامعه موردنظر و وسعت محدوده آتش‌سوزی متفاوت است، اما به طور معمول چون علاوه بر پیمایش میدانی در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای جهت تجزیه و تحلیل خصوصیات پوشش گیاهی منطقه استفاده می‌شود، ابعاد ۳۰×۳۰ متر (اندازه پیکسل ماهواره لندست-۸) برای ماکروپلات در نظر گرفته شد. سپس در درون هر

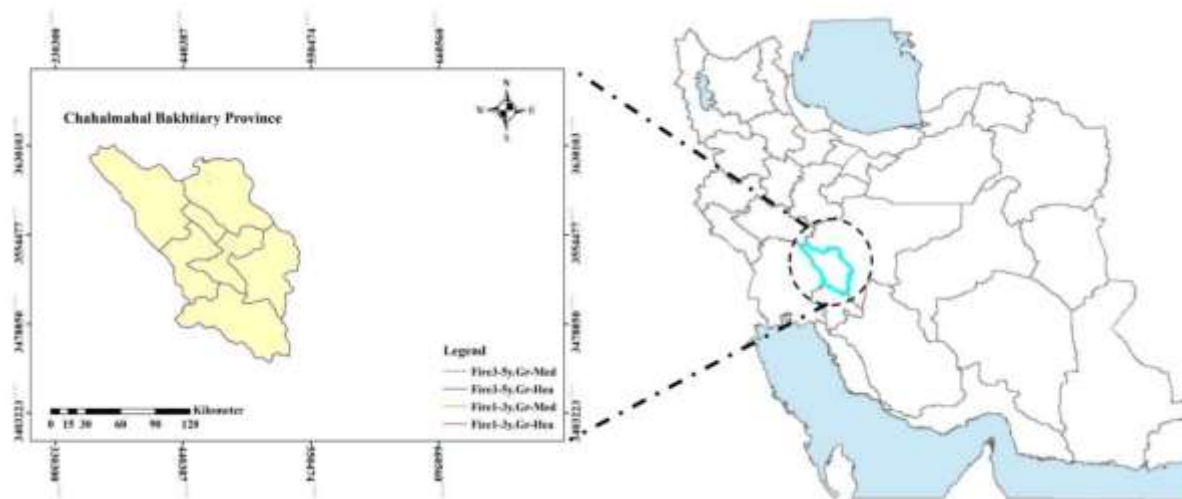
پژوهش‌های انجام شده تاکنون بیشتر در مورد کاربرد داده‌ها و تکنیک‌های سنجش از دوری به شناسایی و تفکیک عرصه‌های جنگلی و مرتعی دچار حریق شده به صورت مجزا، بدون در نظر گرفتن قدمت آتش و مدیریت شدت چرا در این عرصه‌ها انجام شده است. پژوهش پیش‌رو، در مورد بررسی و امکان تفکیک عرصه‌های مرتعی دچار حریق شده تحت اثرهای متقابل آتش‌سوزی و شدت چرا با استفاده از داده‌های چندطیفی تصاویر ماهواره‌ای، دارای نوآوری است. بنابراین، با توجه به نتایج مطالعات انجام شده توسط Mohammadian و همکاران (۲۰۲۲) مشخص شد، از بین ۲۰ شاخص طیفی مختلف دو شاخص NBRT و T.C. Brightness بیشترین توانایی را در شناسایی و تفکیک‌پذیری مناطق مرتعی دچار حریق شده با قدمت‌های آتش متفاوت و شدت چرای مختلف داشته‌اند. بنابراین، در این پژوهش، بر آن شدیم تا قابلیت کاربرد این دو شاخص را به همراه مجموعه‌ای از داده‌های کمکی برای افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر به منظور تفکیک مراتع سوخته شده از مناطق مجاور آن بررسی کنیم. در این مورد نباید از اهمیت تهیه، تکمیل و دسترسی به داده‌ها و اطلاعات جامع و موثق از وسعت و مکان آتش‌سوزی‌های حادث شده در عرصه‌های مرتعی با توجه به ضرورت شناخت این مناطق به منظور اعمال مدیریت مناسب چرایی پس از وقوع آتش در این مناطق غافل شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۴۰۲ کیلومتر مربع در جنوب غربی کشور بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی در مرکز رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارد. مساحت مراتع این استان ۱۰۴۸۱۰۰ هکتار است که سه درصد مرتع خوب، ۳۷ درصد مرتع متوسط و ۶۰ درصد مرتع فقیر را به خود

ماکروپلات ۳ پلات ۴ مترمربعی (۲×۲ متر) در امتداد خط ترانسکت برای مطالعه، بررسی شد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی استان چهارمحال و بختیاری در کشور و سایت‌های آتش مورد مطالعه در مراتع استان چهارمحال و بختیاری
Figure 1. Geographical map of Chaharmahal Bakhtiari province in the country and fire sites studied in the rangelands of the Chaharmahal Bakhtiari province

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش تصاویر چندطیفی ماهواره لندست-۸ سنجنده OLI-TIRS از مسیر ۱۶۴ و ردیف ۳۸ مربوط به هفت ژوئن سال ۲۰۱۷ برابر با ۱۷ خردادماه ۱۳۹۶ از وبسایت <http://www.earthexplorer.usgs.gov> با کمترین میزان ابرناکی، بارگیری و استفاده شد. سپس با

استفاده از الگوریتم FLAASH با فرض حضور پیکسل‌های تیره، که می‌تواند به عنوان پیکسل مرجع با بازتاب سطحی مشخص در نظر گرفته شود، تصحیح اتمسفری انجام شد (Kaufman *et al.*, 1997). مشخصات باندهای ماهواره لندست-۸ در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- لیست مشخصات سایت‌های منتخب آتش‌سوزی در مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری

Tabel 1. Characteristics and list of selected burn sites in the semi-steppe rangelands of Chaharmahal Bakhtiari province

Site Name	Number polygon	Universal Transverse Mercator		Old fire(year)	Grazing intensity	Rangeland Vegetation Type
		X-utm	Y-utm			
Bardeh	4	462239	3599155	1-3	High	<i>Astragalus verus</i> DC - <i>Phlomis persica</i>
Tang-Gahroo	2	488652	3538891	1-3	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Poa bulbosa</i> L.
Chaliyab	1	460667	3607345	1-3	Fair	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch – <i>Gundelia tournefortii</i> L.
Chezghon1	1	480359	3542488	1-3	Fair	<i>Daphne mucronata</i> Royle- <i>Gundelia tournefortii</i> L
Kharaji	1	483666	3549153	1-3	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Agropyron intermedium</i> P. Beauv.
Dastena	1	477024	3544649	1-3	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Agropyron intermedium</i> P. Beauv.
Sologon1	1	478261	3538211	1-3	Fair	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch – <i>Agropyron trichophorum</i> (Link.) Richt
Shahrak	1	483558	3547081	1-3	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Bromus tomentellus</i> Boiss.
Karsanak	2	449541	3599246	1-3	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Bromus tomentellus</i> Boiss.
Larak	2	471984	3602743	1-3	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - Annual grass. Annual forb <i>Poa bulbosa</i> L.
Amamzadeh	2	461305	3605072	3-5	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Agropyron trichophorum</i> (Link.) Richt
Bardeh	2	461440	3600342	3-5	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Phlomis persica</i>
Ben	1	474402	3600665	3-5	High	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Noaea mucronata</i> Asch. Schneinf.
Chezghon2	1	480373	3542746	3-5	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Gundelia tournefortii</i> L
Sologon2	1	480373	3542736	3-5	Fair	<i>Astragalus brachycalyx</i> Fisch – <i>Echinops ritrodes</i> Bungeau
Shahrak	2	483525	3547026	3-5	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Bromus tomentellus</i> Boiss.
Karsanak	2	450961	3598423	3-5	Fair	<i>Astragalus verus</i> DC. - <i>Bromus tomentellus</i> Boiss.

چرای زیاد=High چرای متوسط=Fair

جدول ۲- مشخصات باندهای ماهواره لندست-۸ (Barsi et al., 2018)

Table 2. Landsat-8 Satellite bands specifications

Landsat-8 sensors	Number and name of the bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)	Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.433 – 0.453	30
	Band 2 - Blue	0.450 – 0.515	30
	Band 3 - Green	0.525 – 0.600	30
	Band 4 - Red	0.630 – 0.680	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.845 – 0.885	30
	Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.560 – 1.660	30
	Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.100 – 2.300	30
	Band 8 - Panchromatic	0.500 – 0.680	15
	Band 9 - Cirrus	1.360 – 1.390	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.30 – 11.30	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.50	100
Images acquisition date: 2017/06/07			

مکانی این باندها از ۳۰ متر به ۱۵ متر تبدیل شد. همچنین، شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ (TC-B)، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، سه مؤلفه اول تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCAs) و شاخص نسبت سوختگی نرمال‌شده-حرارتی (NBRT) نیز به‌عنوان مهمترین داده‌های کمکی به‌منظور افزایش دقت در تفکیک محدوده‌های مرتعی سوخته‌شده با قدمت‌های مختلف آتش و شدت‌های چرای متفاوت از مناطق مجاور آن، در فرایند طبقه‌بندی استفاده شدند (Mohammadian et al., 2022). در جدول ۳ شاخص‌های طیفی مورد استفاده در فرایند طبقه‌بندی آورده شده است.

داده‌های کمکی مورد استفاده به‌منظور طبقه‌بندی کلاس‌های آتش به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از داده‌های ماهواره‌های لندست-۸، علاوه بر مجموعه باندهای خام ۱ تا ۸ از تعدادی داده‌های کمکی برای دستیابی به بهترین نتیجه و افزایش دقت در تفکیک پذیری مناطق آتش‌سوزی‌شده استفاده شد، سپس میزان تأثیر هریک از داده‌های کمکی به همراه مجموعه باندهای خام در افزایش دقت فرایند طبقه‌بندی سنجش گردید. همچنین به‌منظور ارتقای کیفیت مجموعه باندهای چندطیفی ۱ تا ۷ با استفاده از دستور Pansharpen به کمک باند ۸ پانکروماتیک، توان تفکیک

جدول ۳- شاخص‌های طیفی مورد استفاده به‌منظور تشخیص مناطق آتش‌سوزی‌شده

Table 3. Required spectral indices used for fire detection

Complete phrase	Spectral index	Index formula	Reference
Normalized Burn Ratio Thermal	NBRT	$(NIR - (SWIR2 * THERMAL1)) / (NIR + (SWIR2 * THERMAL1))$	Holden et al., 2005
Tasseled Cap Brightness	TCB	$0.3037BLUE + 0.2793GREEN + 0.4743RED + 0.5585NIR + 0.5082CI$	Baig et al., 2014
Blue = band2 Cirrus = band9	GREEN = band3	RED = band4 NIR = band5 SWIR1 = band6 SWIR2 = band7	

در مطالعات سنجش از دور است که علاوه بر تغییرپذیری طبقات، احتمال قرارگیری هریک از پیکسل‌ها را نیز در هریک از طبقات به هنگام محاسبه فاصله بین پیکسل موردنظر و میانگین تمام طبقات، مدنظر قرار می‌دهد

تعیین الگوریتم طبقه‌بندی الگوریتم منتخب برای انجام طبقه‌بندی در این پژوهش، الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) در نظر گرفته شد. این الگوریتم یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های طبقه‌بندی

ارزیابی و محاسبه دقت الگوریتم‌ها، از طریق ماتریس خطای ایجادشده بین تصویر طبقه‌بندی و نقشه واقعیت زمینی می‌توان معیارهای مختلفی ازجمله دقت تولیدکننده، دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا را استخراج کرد (Fathizad et al., 2015).

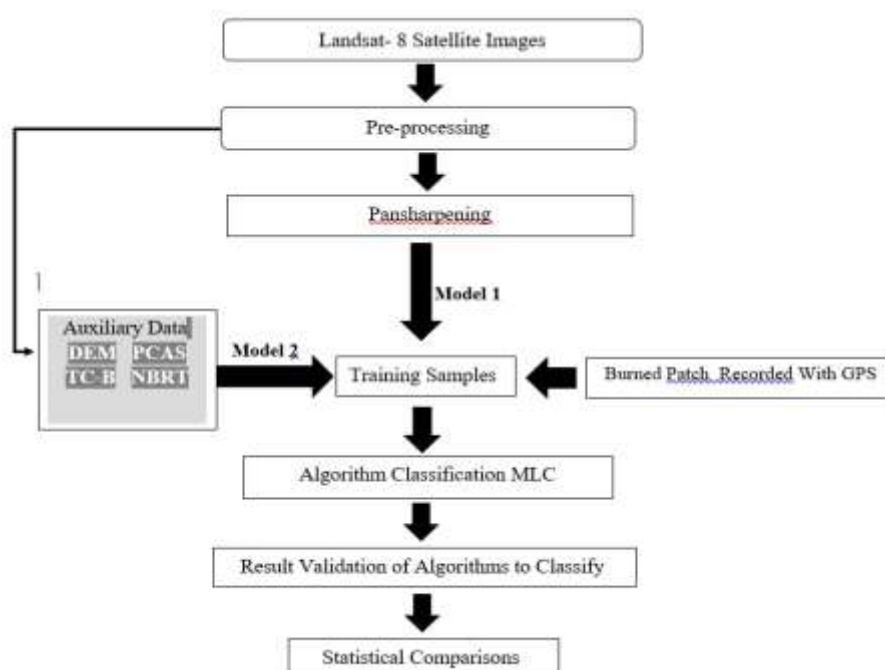
روش مقایسه آماری

به‌منظور تعیین مؤثرترین داده‌های کمکی در افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های آتش، علاوه‌بر ارزیابی و محاسبه مقادیر دقت کلی و دقت کاپای موجود در ماتریس خطا، از آزمون رتبه‌بندی فریدمن استفاده شد (Demsar, 2006). مراحل تهیه نقشه‌های کلاس‌های مختلف آتش با شدت‌های متفاوت چرایی در شکل ۲ نمایش داده شده است.

(Bastarrika et al., 2011). نتایج مطالعات متعددی تاکنون در مورد توانایی و کاربرد الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال (MLC) در مناطق سوخته‌شده گزارش شده است (Silva et al., 2003; Verlinden & Laamanen, 2006; Henry, 2008; Chen et al., 2016; Ariza et al., 2019; Thariqa et al., 2016; Meddens et al., 2016).

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از روش متداول ماتریس خطا استفاده شد. مجموعه نمونه اول نماینده داده مرجع یا آزمون است که معمولاً به‌صورت مشاهدات میدانی جمع‌آوری می‌شود. مجموعه نمونه دوم نیز پیکسل‌ها یا اشیای برچسب‌گذاری‌شده توسط طبقه‌بندی‌کننده است. برای



شکل ۲- روند نمای مراحل انجام پژوهش

Figure 2. Diagram of methodology in this study

نتایج

باندهای خام و استفاده از داده‌های کمکی به منظور طبقه‌بندی کلاس‌های آتش

به منظور طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از داده‌های ماهواره‌های لندست-۸، علاوه بر باندهای خام از تعدادی داده‌های کمکی برای دستیابی به بهترین نتیجه و افزایش دقت در تفکیک پذیری مناطق آتش‌سوزی شده استفاده شد. مجموعه داده‌های کمکی مورد استفاده برای بهبود دقت طبقه‌بندی کلاس‌های آتش در شکل ۳ نشان داده شده است. این داده‌ها شامل باندهای خام Pan-sharpen (توان تفکیک مکانی ۱۵ متر) که به صورت ترکیب رنگی کاذب از باندهای RGB یعنی باند قرمز، سبز و آبی، همچنین شاخص‌های آتش NBRT و شاخص روشنایی تبدیل تسلدکپ (TC-B)، مدل رقومی ارتفاع (DEM) و سه مؤلفه اول شاخص PCAs هستند.

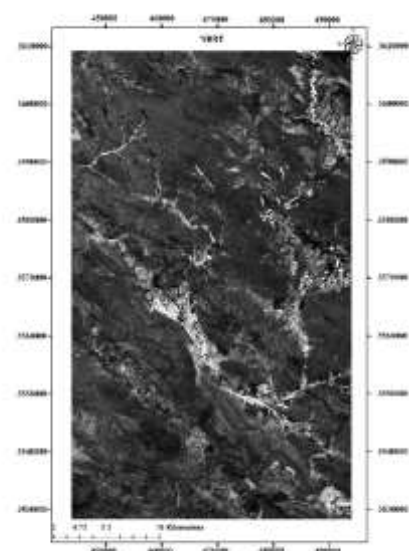
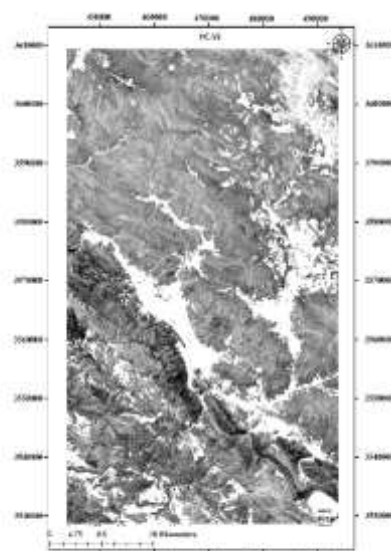
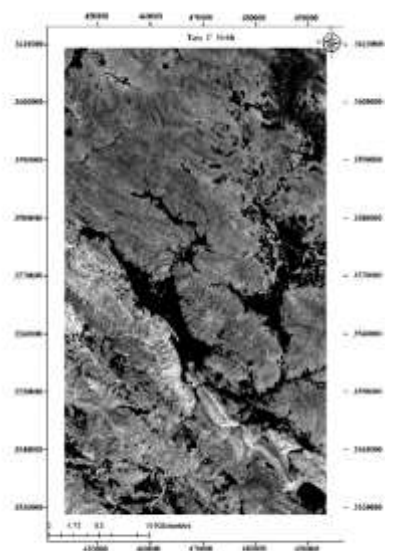
تأثیر استفاده از داده‌های کمکی در افزایش دقت طبقه‌بندی مناطق آتش‌سوزی شده

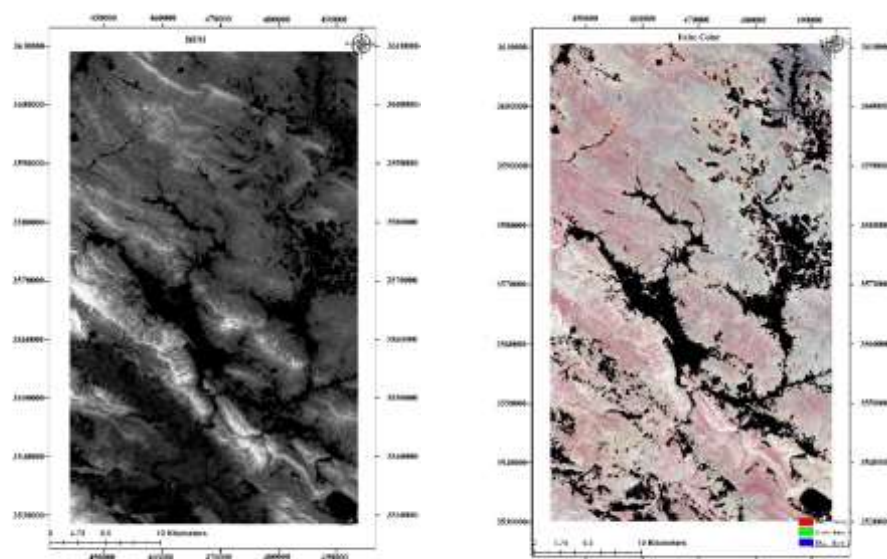
نقشه‌های تولید شده از مناطق آتش‌سوزی مراتع با قدمت‌های آتش و مدیریت چرای مختلف با استفاده از باندهای خام و داده‌های کمکی ارزیابی شدند و نتایج به دست آمده در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول مقادیر درصد‌های دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب توافق کاپا برای هریک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده مناطق سوخته شده تحت تیمارهای چرای به تفکیک ارائه شده است. براساس نتایج زمانی که فقط از مجموعه باندهای خام برای طبقه‌بندی مناطق سوخته شده استفاده می‌شود، کلاس آتش با قدمت ۱ تا ۳ سال با شدت چرای زیاد بالاترین مقادیر دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب توافق کاپا را به ترتیب با مقادیر ۶۳ درصد، ۶۵ درصد و ۵۷ درصد به خود اختصاص داده است. از سویی، کلاس آتش سه تا پنج سال قدمت با شدت چرای متوسط به ترتیب با مقادیر دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب توافق کاپای ۲۸ درصد، ۳۷ درصد و ۲۴ درصد کمترین مقادیر را شامل می‌شود. همچنین، میزان دقت کل و کاپای کل برای نقشه‌های

تولید شده با استفاده از باندهای خام به ترتیب ۴۳ و ۴۱ درصد به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد، ترکیب داده‌های کمکی NBRT و DEM بیشترین تأثیرگذاری را در افزایش دقت کل ۶۶ درصد و ضریب کاپای کل ۶۳ درصد طبقه‌بندی کلاس‌های آتش را در مقایسه با سایر داده‌های کمکی از خود نشان می‌دهند. درواقع، کلاس آتش با قدمت یک تا سه سال و شدت چرای زیاد، بیشترین مقادیر افزایش دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا را به ترتیب با مقادیر ۷۹، ۷۴ و ۷۷ درصد به خود اختصاص داده است. این در حالی است که استفاده از ترکیب داده‌های کمکی NBRT و DEM کمترین میزان تأثیرپذیری بر دقت طبقه‌بندی را بر کلاس آتش سه تا پنج سال قدمت با شدت چرای متوسط از لحاظ دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا به ترتیب با مقادیر ۵۰، ۴۱ و ۴۵ درصد داشته است. بررسی نتایج به دست آمده حکایت از تأثیر متفاوت داده‌های کمکی مورد استفاده در طبقه‌بندی کلاس‌های آتش تحت مدیریت چرای مختلف بر میزان دقت تولیدکننده دارد. برخی از کلاس‌های آتش تحت تأثیر داده‌های کمکی تا ۲۷ درصد نسبت به باندهای خام افزایش دقت تولیدکننده داشته است. این در حالی است که مقادیر دقت تولیدکننده در کلاس آتش با قدمت یک تا سه سال و شدت چرای زیاد تحت تأثیر ترکیب داده‌های کمکی مانند PCAs و TC-B در مقایسه با باندهای خام به ترتیب پنج و سه درصد کاهش یافته است. درواقع، اثرهای داده‌های کمکی PCAs و TC-B بر مقادیر دقت تولیدکننده در فرایند طبقه‌بندی منفی بوده است. به طور کلی تأثیر استفاده از داده‌های کمکی بر میزان دقت ضریب کاپا براساس نتایج به دست آمده بیانگر افزایش مقادیر دقت این ضریب در مقایسه با باندهای خام در تمامی کلاس‌های طبقه‌بندی آتش است. استفاده از داده‌های کمکی موجب افزایش میزان دقت ضریب کاپا تا ۱۸ درصد در کلاس‌های آتش یک تا سه سال قدمت با چرای متوسط شده است. همچنین، میزان دقت ضریب توافق کاپای کلاس آتش یک تا سه سال قدمت با چرای زیاد در مقایسه با باندهای خام، ۱۴ درصد افزایش دقت داشته است.

ضریب کاپا در کلاس آتش یک تا سه سال قدمت با چرای زیاد می‌شود. همچنین، کاربرد برخی از داده‌های کمکی بر میزان افزایش یا کاهش دقت ضریب کاپای برخی از کلاس‌های طبقه‌بندی‌شده، ثابت و بی‌اثر بوده است.

این در حالی است که تأثیر منفی کاربرد برخی از داده‌های کمکی بر میزان دقت ضریب کاپا در بعضی از کلاس‌های طبقه‌بندی‌شده دیده می‌شود، به‌طورمثال کاربرد داده کمکی PCAs حدود سه درصد موجب کاهش دقت





شکل ۳- مجموعه داده‌های کمکی مورد استفاده برای افزایش دقت طبقه‌بندی مناطق آتش‌سوزی شده در طول گرادیانت چرای

Figure 3. Auxiliary data set used to increase classification accuracy burned areas along a grazing gradient

جدول ۴- ماتریس خطای نتایج طبقه‌بندی کلاس‌های آتش حاصل از باندهای خام و مؤثرترین داده‌های کمکی

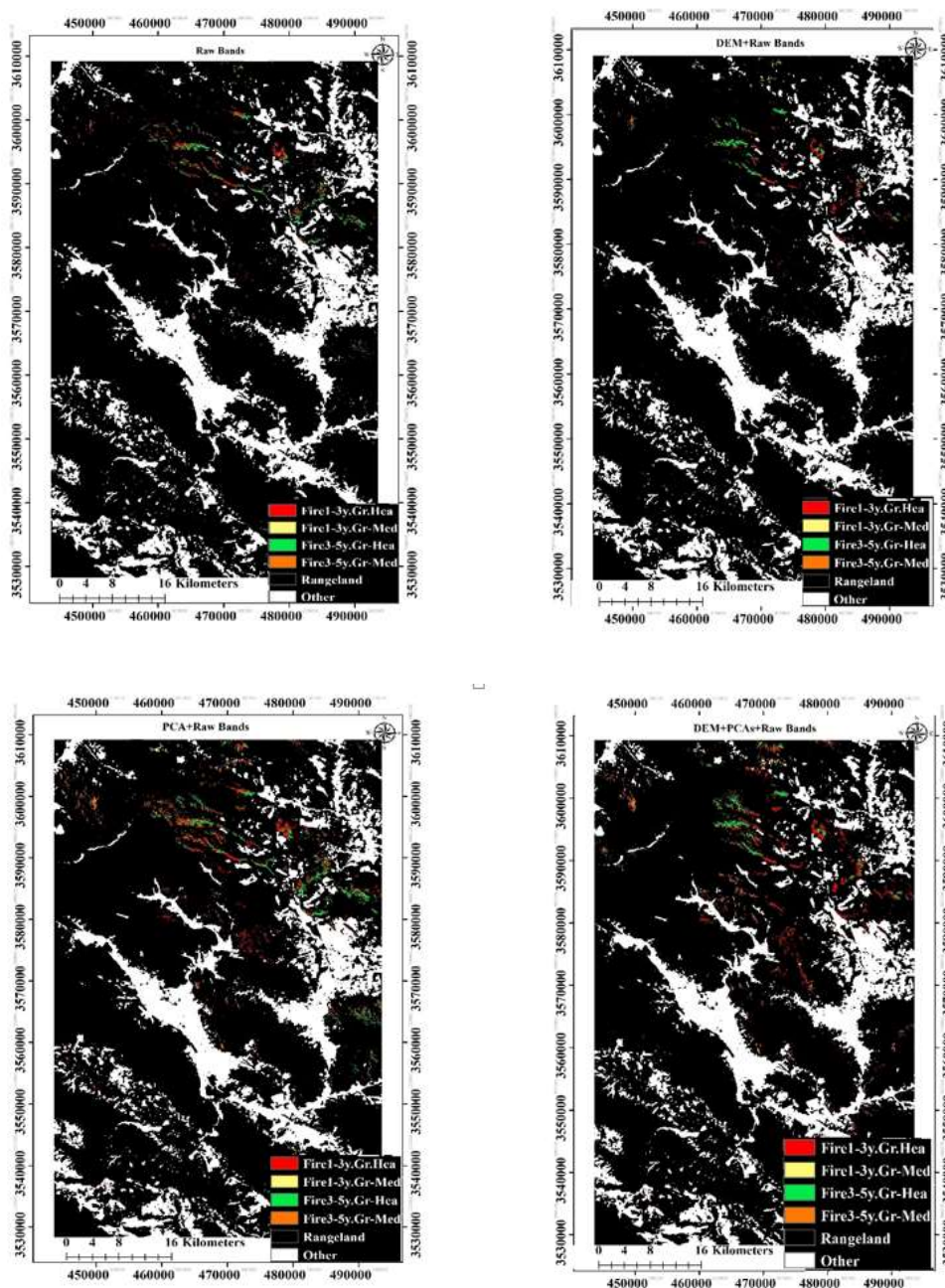
Table 4. Error matrix of classified fire classes caused by the use of raw bands the most effective auxiliary data

Used Data	kappa coefficient%	User Accuracy%	Producer Accuracy%	Old fire class- Grazing intensity
Raw bands	57	65	63	Old fire 1-3 year : High grazing
	44	39	45	Old fire 1-3 year : Fair grazing
	36	40	38	Old fire 3-5 year : High grazing
	24	38	27	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	41% :Overall kappa		43% :Overall accuracy	
Raw bands + DEM	62	70	69	Old fire 1-3 year : High grazing
	48	52	53	Old fire 1-3 year : Fair grazing
	38	47	42	Old fire 3-5 year : High grazing
	30	45	34	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	45% :Overall kappa		50% :Overall accuracy	
Raw bands + PCAs	54	55	58	Old fire 1-3 year : High grazing
	47	51	50	Old fire 1-3 year : Fair grazing
	38	36	41	Old fire 3-5 year : High grazing

Used Data	kappa coefficient%	User Accuracy%	Producer Accuracy%	Old fire class- Grazing intensity
	29	46	33	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	42% :Overall kappa		45 % :Overall accuracy	
	67	61	71	Old fire 1-3 year : High grazing
	48	51	50	Old fire 1-3 year : Fair grazing
Raw bands + NBRT	41	47	45	Old fire 3-5 year : High grazing
	28	43	31	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	46% :Overall kappa		49 % :Overall accuracy	
	61	68	60	Old fire 1-3 year : High grazing
	44	38	48	Old fire 1-3 year : Fair grazing
Raw bands + TC-B	40	45	46	Old fire 3-5 year : High grazing
	31	39	34	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	46% :Overall kappa		47 % :Overall accuracy	
	69	65	73	Old fire 1-3 year : High grazing
	52	62	58	Old fire 1-3 year : Fair grazing
Raw bands + DEM+ PCAs	40	50	45	Old fire 3-5 year : High grazing
	31	43	36	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	48% :Overall kappa		53 % :Overall accuracy	
	77	74	79	Old fire 1-3 year : High grazing
	69	80	72	Old fire 1-3 year : Fair grazing
Raw bands + DEM+ NBRT	58	63	59	Old fire 3-5 year : High grazing
	45	41	50	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	63% :Overall kappa		66 % :Overall accuracy	
	71	73	73	Old fire 1-3 year : High grazing
	62	68	66	Old fire 1-3 year : Fair grazing
Raw bands + DEM+ TC-B	50	57	55	Old fire 3-5 year : High grazing
	41	52	46	Old fire 3-5 year : Fair grazing
	56% :Overall kappa		60 % :Overall accuracy	

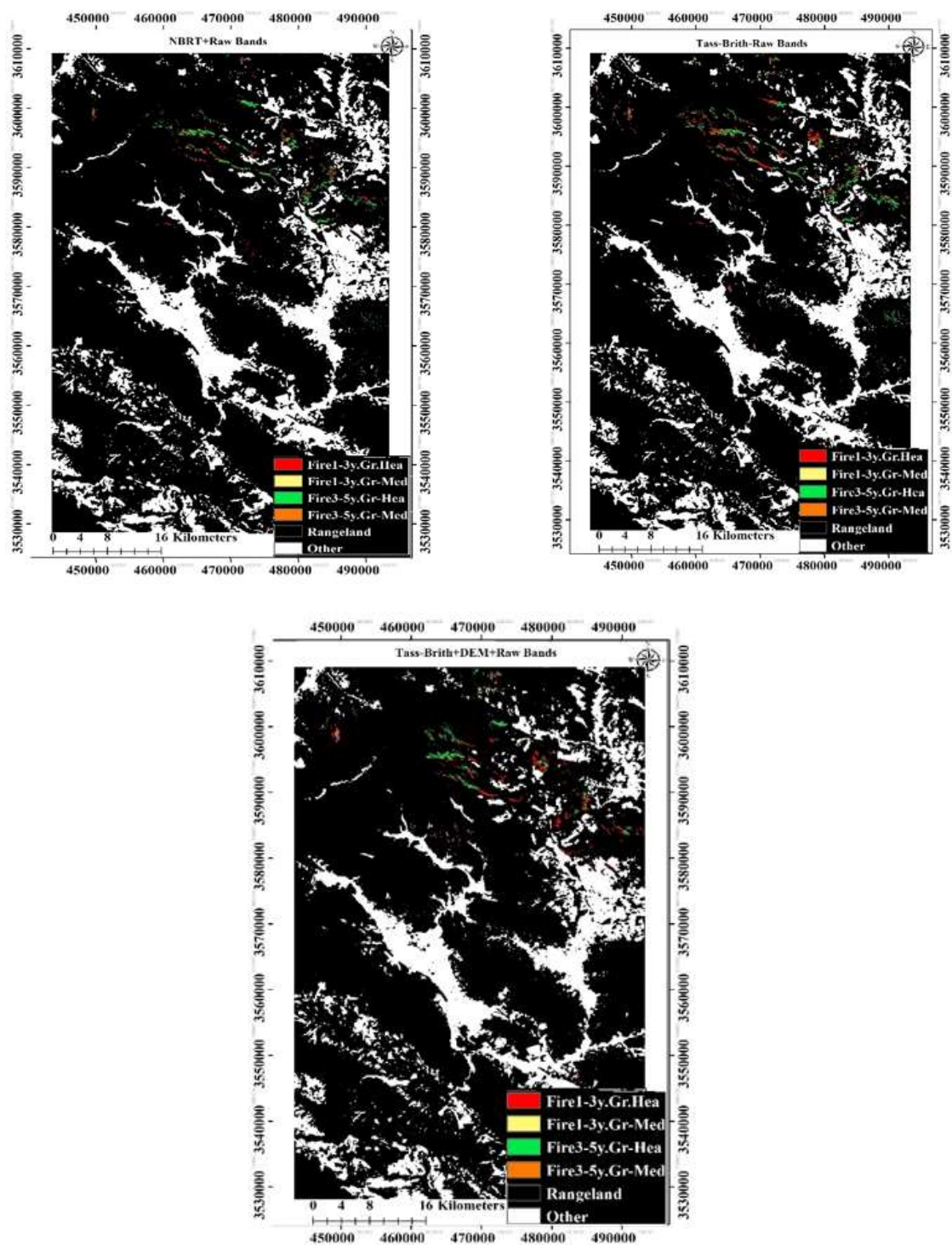
تصاویر (TC-B and PCAs) و فاکتور توپوگرافی (DEM) نشان می‌دهد. همچنین، دقیق‌ترین نقشه طبقه‌بندی کلاس‌های آتش با استفاده از ترکیب باندهای خام، شاخص آتش NBRT و لایه مدل رقومی ارتفاع DEM در شکل ۵ آورده شده است.

شکل‌های ۴ الف و ۴ ب، نقشه‌های طبقه‌بندی کلاس‌های آتش با شدت‌های مختلف چرایی را با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی MLC و باندهای پنکروماتیک (۸-۲) و حرارتی (۱۰-۱۱) تصاویر لندست-۸ به همراه انواع داده‌های کمکی مانند شاخص‌های آتش مانند NBRT، شاخص‌های تبدیل



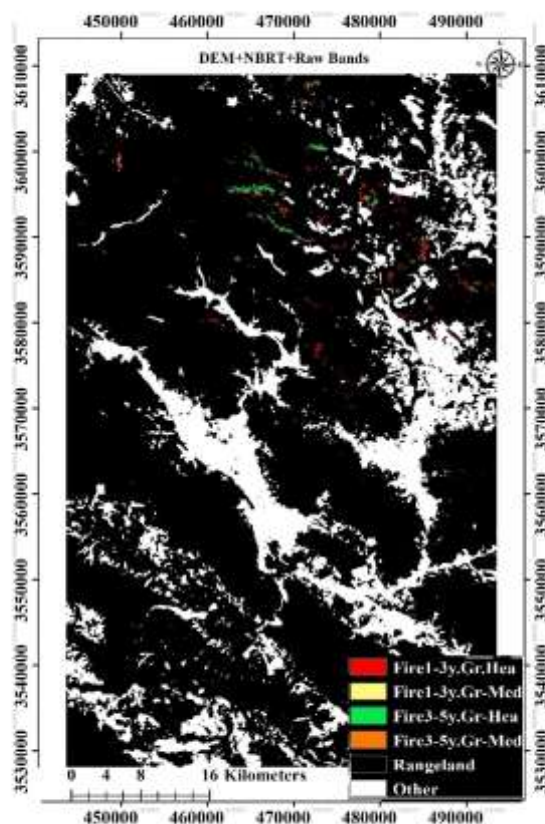
شکل ۴ الف - نقشه‌های طبقه‌بندی کلاس‌های آتش با استفاده از باندهای خام و داده‌های کمکی

Figure 4. A. Classification burned area mapping using raw bands and auxiliary data



شکل ۴ ب- نقشه‌های طبقه‌بندی کلاس‌های آتش با استفاده از باندهای خام و داده‌های کمکی

Figure 4. B. Classification burned area mapping using raw bands and auxiliary data



شکل ۵- دقیق ترین نقشه طبقه بندی شده کلاس های آتش، ترکیب باندهای خام و داده های کمکی DEM+NBRT

Figure 5. The most accurate Classification burned area mapping using raw bands and (DEM+NBRT)

بررسی مقایسات آماری
براساس آزمون آماری فریدمن میزان دقت تولیدکننده، دقت کاربر و شاخص کاپا تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد وجود دارد. همچنین، از بین مجموع داده های کمکی مورد استفاده شاخص های Dem+PCAs، Dem+TC-B و شاخص Dem+NBRT تفاوت معنی داری در سطح پنج درصد از خود نشان دادند و بیشترین تأثیر را در افزایش دقت نقشه طبقه بندی کلاس های آتش داشتند.

بررسی مقایسات آماری
براساس آزمون آماری فریدمن میزان دقت تولیدکننده، دقت کاربر و شاخص کاپا برای کلاس های مختلف آتش سوزی محاسبه و مقایسه شد (جدول ۵). از سویی، برای مشخص شدن اینکه آیا تفاوت معنی داری بین انواع داده های کمکی مورد استفاده در فرایند طبقه بندی کلاس های آتش وجود دارد یا خیر نیز، از آزمون ناپارامتریک فریدمن استفاده شد. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که بین

جدول ۵- مقایسات آماری بین دقت کلاس‌های آتش و داده‌های کمکی مورد استفاده در طبقه‌بندی

Table 5. Statistical comparisons between the accuracy of fire classes and the auxiliary data used in the classification

Burned classes accuracy	Significant	Auxiliary data accuracy	Significant
Producer Accuracy	0/035*	Raw Bands + DEM	0.198
		Raw Bands + PCAs	0.213
		Raw Bands + NBRT	0.150
		Raw Bands + TC-B	0.554
		Raw Bands + DEM + PCAs	0.045*
		Raw Bands + DEM + TC-B	0.038*
		Raw Bands + DEM + NBRT	0.007*
	0/027*	Raw Bands + DEM	0.286
		Raw Bands + PCAs	0.355
		Raw Bands + NBRT	0.221
		Raw Bands + TC-B	0.597
		Raw Bands + DEM + PCAs	0.039*
		Raw Bands + DEM + TC-B	0.030*
		Raw Bands + DEM + NBRT	0.005*
Kappa coefficient	0/028*	Raw Bands + DEM	0.423
		Raw Bands + PCAs	0.355
		Raw Bands + NBRT	0.196
		Ra	0.602
		w Bands + TC-B	0.028*
		Raw Bands + DEM + PCAs	0.035*
		Raw Bands + DEM + NBRT	0.004*

*Significance level 5 percent

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از مهمترین اهداف در این پژوهش، تعیین مؤثرترین داده‌های کمکی برای افزایش دقت طبقه‌بندی و تفکیک کلاس‌های مختلف آتش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست-۸ با توان تفکیک مناسب است. نتایج این پژوهش، در مورد بهره‌گیری از داده‌های کمکی به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی بیانگر این است که مجموع داده‌های کمکی DEM-NBRT با توجه به ماهیت مطالعه مورد نظر بیشترین اثرگذاری را بر افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های مختلف آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف چرای در مراتع نیمه‌استپی با میزان دقت کلی ۶۶ درصد و دقت کاپای ۶۳ درصد را به خود اختصاص داده است. نتایج پژوهش انجام‌شده توسط Veraverbeke و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد، 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 سوخته‌شده از مناطق مجاور می‌تواند دقت شناسایی و تفکیک را افزایش دهد. Alhaj Khalaf و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقات خود که به منظور بررسی قابلیت و حساسیت شاخص‌های طیفی در پهنه‌بندی مناطق آتش‌سوزی‌شده در عرصه‌های جنگلی انجام شد، دریافتند که مؤثرترین شاخص‌های طیفی در افزایش دقت طبقه‌بندی نقشه‌های پهنه‌بندی مناطق سوخته‌شده، شاخص‌های مبتنی بر زوج باندهای SWIR1-SWIR2 و NIR-SWIR2 است که با توجه به نتایج این پژوهش در مورد به کارگیری شاخص NBRT و تأثیر آن در افزایش دقت طبقه‌بندی و اینکه شاخص یادشده از مؤلفه‌های NIR-SWIR2 تشکیل شده است، با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. با توجه به اینکه سه مؤلفه اصلی تشکیل‌دهنده شاخص NBRT مربوط به باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR)، مادون قرمز با طول موج کوتاه ۱ و ۲ (SWIR1,2)، همچنین مادون قرمز حرارتی (Thermal1)

است، از سویی حساسیت این باندها به تغییرات پوشش گیاهی پس از وقوع آتش‌سوزی زیاد است، بنابراین به نظر می‌رسد که یکی از دلایل اثرگذار در افزایش دقت طبقه‌بندی به هنگام به‌کارگیری این لایه کمکی باشد. نتایج پژوهش انجام‌شده توسط Tran و همکاران (۲۰۱۸) در مورد بررسی قابلیت شاخص‌های طیفی در پهنه‌بندی مناطق آتش‌سوزی‌شده جنگلی نشان داد، شاخص‌های مبتنی بر باندهای NIR-SWIR2 ماهواره لندست-۸ قابلیت و کارایی لازم را در پهنه‌بندی مناطق آتش‌سوزی‌شده در عرصه‌های طبیعی دارد که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همخوانی دارد. از سویی، با توجه به پراکنش به‌نسبت وسیع موقعیت لکه‌های آتش (سایت‌ها) در سطح منطقه مورد مطالعه و واقع‌شدن آنها در دامنه ارتفاعی نسبتاً متفاوت، موجب شده است تا استفاده از لایه کمکی مدل رقومی ارتفاع (DEM) نیز اثر مثبتی در افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های آتش در منطقه مورد مطالعه داشته باشد. با توجه به اینکه مطالعه پیش‌رو در مراتع نیمه‌استپی انجام شده است، نباید از نقش داده‌های کمکی در کاهش اثر خاک در پس‌زمینه تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده غافل شد، در نتیجه، کاربرد داده‌های کمکی موجب کاهش اثر خاک و افزایش دقت در طبقه‌بندی در کلاس‌های آتش می‌شود. شایان ذکر است، نقش بسیار مؤثر تغییرات ترکیب گیاهی مراتع نیمه‌استپی، ناشی از وقوع آتش‌سوزی‌ها با قدمت‌های مختلف و شدت‌های چرایی متفاوت را بر پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه در دقت طبقه‌بندی باید مدنظر قرار داد. تغییر در ترکیب گیاهی به‌صورت افزایش سهم گونه‌های مرتعی یکساله (گندمیان و پهن‌برگ‌ها) و پهن‌برگان چندساله، همچنین کاهش چشمگیر مقادیر بوته‌ای‌ها، به‌ویژه در سال‌های ابتدایی (یک تا سه سال) پس از وقوع آتش‌سوزی موجب می‌شود تا بازتاب متفاوتی از پوشش گیاهی غالب در این مناطق در مقایسه با مناطق سوخته‌نشده از خود بروز نمایند که این خود می‌تواند در شناسایی و تفکیک محدوده‌های آتش با استفاده از شاخص‌های طیفی و افزایش دقت طبقه‌بندی اثرگذار باشد. درواقع، اثرهای آتش‌سوزی و چرا موجبات کاهش و

افزایش برخی از اشکال رویشی گیاهی را فراهم می‌کنند. ذکر این نکته لازم است که این کاهش‌ها و افزایش‌ها در ترکیب گیاهی مراتع نیمه‌استپی مورد مطالعه به‌صورت مقطعی است و می‌تواند تحت مدیریت‌های مختلف چرایی و شرایط اکولوژیکی حاکم در طول زمان تغییر کند. براساس نتایج پژوهش‌های انجام‌شده، اثرهای آتش و چرا بر سهم گندمیان چندساله در سال‌های ابتدایی (یک تا سه سال) پس از وقوع آتش‌سوزی موجب کاهش آنها در ترکیب گیاهی می‌شود، در صورتی‌که با گذشت زمان بیشتر (سه تا پنج سال) پس از وقوع آتش‌سوزی تحت شرایط مدیریتی مناسب (چرای متوسط) این گیاهان قادر هستند تا سهم خود را در ترکیب پوشش گیاهی منطقه بازیابند (Trager et al., 2004). در مورد بوته‌ای‌ها نیز همین موضوع صادق است، در سال‌های ابتدایی پس از وقوع آتش‌سوزی، سهم بوته‌ای‌ها به‌طور معنی‌داری در منطقه تحت تأثیر آتش‌سوزی و چرا کاهش می‌یابد ولی با گذشت زمان و تحت مدیریت مناسب چرایی، بوته‌ای‌ها قادر به بازگشت به پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه هستند (Mohammadian et al., 2022). با توجه به سیستم طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش اراضی (Land use/land cover) که توسط مؤسسه زمین‌شناسی آمریکا انجام شده است و برای کاربری اراضی و پوشش زمین ۹ طبقه اصلی شامل مناطق شهری و مسکونی، زراعت، پهنه‌های آبی، مراتع، جنگل‌ها، توندرا، اراضی بایر، اراضی مرطوب و یخچال‌ها و توده‌های برفی تعریف و شناسایی شد که معمولاً برای هریک زیرطبقاتی نیز در نظر گرفته شده است. این مؤسسه ضریب کاپای ۰/۸۵ برای نقشه‌های کاربری اراضی را مورد پذیرش اعلام نموده است (Anderson et al., 1976). بررسی تحقیقات انجام‌شده تاکنون نشان می‌دهد، بیشتر فرایندهای طبقه‌بندی براساس طبقات اصلی یادشده انجام شده است و هریک از طبقات به‌دلیل ماهیت منحصر به فردی که دارند، با دقت زیادی قابل طبقه‌بندی و جدایی هستند (Pflugmacher et al., 2019). در این پژوهش با توجه به هدف موردنظر پس از استخراج طبقه مرتع طی فرایند طبقه‌بندی به‌منظور تفکیک کلاس‌های

تحقیقات انجام‌شده توسط Tran و همکاران (۲۰۱۸) در برآورد شدت آتش و شناسایی مناطق سوخته‌شده در عرصه‌های طبیعی با استفاده از شاخص‌های مختلف طیفی تصاویر لندست-۸ بر مبنای شاخص بهینه و با انجام طبقه‌بندی تصاویر به این نتیجه رسیدند که این شاخص‌ها در مناطق مختلف نتایج متفاوتی را با ضرایب کاپای ۰/۵ تا ۰/۷ برحسب منطقه ارائه می‌نماید که با نتایج پژوهش پیش‌رو (ضریب کاپای ۰/۶۳) در این مورد مطابقت دارد.

آتش با قدمت‌های متفاوت و شدت چرایی مختلف از مناطق مجاور آن اقدام به طبقه‌بندی دوباره در زیرطبقات پوشش گیاهی مرتع شد. بنابراین، با توجه به مشابهت زیاد رفتار طیفی در کلاس‌های آتش، قابلیت تفکیک کلاس‌ها از یکدیگر بسیار مشکل است، در نتیجه موجب کاهش دقت و افزایش اختلاط پیکسل‌ها می‌شود. بنابراین، با توجه به شرایط موجود نتیجه طبقه‌بندی انجام‌شده در این پژوهش با دقت کلی ۶۶ درصد قابل‌قبول به نظر می‌رسد. نتایج

References

- Abedini, M., Shishegaran, M. and Ghale, E., 2022. Monitoring and estimating the fire-affected areas of the Zagros mountains using landsat satellite images. *Geography and Environmental Planning*, 33(4): 49-62 (In Persian).
- Alhaj Khalaf, M., Shataee, S. and Jahdi, R., 2020. Ability and sensitivity study of spectral indices for wildfire severity mapping (Case study: Arabdagh-Golestan reforestations). *Forest and Wood Products*, 73(1): 97-110 (In Persian).
- Anderson, J.R., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data (Vol. 964). US Government Printing Office.
- Ariza, A., Salas Rey, J. and Merino de Miguel, S., 2019. Comparison of maximum likelihood estimators and regression models for burn severity mapping in Mediterranean forests using Landsat TM and ETM+ data. *Revista cartográfica*, (98): 145-177.
- Atak, B.K. and Tonyaloğlu, E.E., 2020. Evaluating spectral indices for estimating burned areas in the case of Izmir/Turkey. *Eurasian Journal of Forest Science*, 8(1): 49-59.
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T. and Tong, Q., 2014. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5): 423-431.
- Barsi, J.A., Alhammoud, B., Czapla-Myers, J., Gascon, F., Haque, M.O., Kaewmanee, M., Leigh, L. and Markham, B.L., 2018. Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI radiometric cross comparison over desert sites. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1): 822-837.
- Bastarrika, A., Chuvieco, E. and Martín, M.P., 2011. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. *Remote sensing of Environment*, 115(4): 1003-1012.
- Bastin, G., Ludwig, J., Eager, R., Liedloff, A., Anderson, R. and Cobiack, M., 2003. Vegetation changes in a semiarid tropical savanna, northern Australia: 1973-2002. *The Rangeland Journal*, 25(1): 3-19.
- ChaharMahal Bakhtiari Province Management and Planning Organization, 2017. Chaharmahal va Bakhtiari Province statistics Yearbook, 768 p (In Persian).
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyama, L. and Cao, C.X., 2016. Mapping a burned forest area from Landsat TM data by multiple methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1): 384-402.
- Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G.R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., García, M., Yebra, M., Padilla, M., Gitas, I. and Heil, A., 2019. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225: 45-64.
- Demsar, J., 2006. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. *The Journal of Machine Learning Research*, 7: 1-30.
- Fathizad, H., Shamsi, R.F., Mahdavi, A. and Arekhi, S., 2015. Comparison of two classification methods of maximum probability and artificial neural network of fuzzy Artmap to produce rangeland cover maps (Case study: rangeland of Doviraj, Dehloran). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 22(1): 59-72 (In Persian).
- Filipponi, F., 2018, March. BAIS2: Burned area index for Sentinel-2. In *Proceedings*, 2(7), p. 364. MDPI.
- Fornacca, D., Ren, G. and 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. *Remote*

- Sensing, 10(8): 1196.
- Henry, M.C., 2008. Comparison of single-and multi-date Landsat data for mapping wildfire scars in Ocala National Forest, Florida. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(7): 881-891.
 - Holden, Z.A., Smith, A.M.S., Morgan, P., Rollins, M.G. and Gessler, P.E., 2005. Evaluation of novel thermally enhanced spectral indices for mapping fire perimeters and comparisons with fire atlas data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(21): 4801-4808.
 - Karimi, K., Karamidehkordi, E. and Badsar, M., 2016. The role of rural communities in conservation of rangelands in Mahmashan Township. *Rural Development Strategies*, 3(1): 1-21 (In Persian).
 - Kaufman, Y.J., Wald, A.E., Remer, L.A., Gao, B.C., Li, R.R. and Flynn, L., 1997. The MODIS 2.1- μ m channel-correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(5): 1286-1298.
 - Lu, B., He, Y. and Tong, A., 2015. Evaluation of spectral indices for estimating burn severity in semiarid grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 25(2): 147-157.
 - Meddens, A.J., Kolden, C.A. and Lutz, J.A., 2016. Detecting unburned areas within wildfire perimeters using Landsat and ancillary data across the northwestern United States. *Remote Sensing of Environment*, 186: 275-285.
 - Mitri, G.H. and Gitas, I.Z., 2004. A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery. *International Journal of Wildland Fire*, 13(3): 367-376.
 - Mohammadian, A., Asadi Borujeni, E., Ebrahimi, A., Tahmasebi, P. and Naghipour 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 (In Persian).
 - Pacheco, A.D.P., da Silva Junior, J.A., Ruiz-Armenteros, A.M., Henriques, R.F.F. and de Oliveira Santos, I., 2023. Analysis of spectral separability for detecting burned areas using landsat-8 OLI/TIRS images under different biomes in Brazil and Portugal. *Forests*, 14(4): 663.
 - Pflugmacher, D., Rabe, A., Peters, M. and Hostert, P., 2019. Mapping pan-European land cover using Landsat spectral-temporal metrics and the European LUCAS survey. *Remote Sensing of Environment*, 221: 583-595.
 - Roy, D.P., 1999. Multi-temporal active-fire based burn scar detection algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 20(5): 1031-1038.
 - Shahriary, E., Palmer, M.W., Tongway, D.J., Azarnivand, H., Jafari, M. and Saravi, M.M., 2012. Plant species composition and soil characteristics around Iranian piospheres. *Journal of Arid Environments*, 82: 106-114 (In Persian).
 - Silva, J.M., Pereira, J.M., Cabral, A.I., Sá, A.C., Vasconcelos, M.J., Mota, B. and Grégoire, J.M., 2003. An estimate of the area burned in southern Africa during the 2000 dry season using SPOT-VEGETATION satellite data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13): 1-34.
 - Stroppiana, D., Bordogna, G., Carrara, P., Boschetti, M., Boschetti, L. and Brivio, P.A., 2012. A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 69: 88-102.
 - Tarhouni, M., Salem, F.B., Belgacem, A.O. and Neffati, M., 2010. Acceptability of plant species along grazing gradients around watering points in Tunisian arid zone. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(7): 454-461(In Persian).
 - Thariqa, P., Sitanggang, I.S. and Syaufina, L., 2016. Comparative analysis of spatial decision tree algorithms for burned area of peatland in Rokan Hilir Riau. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 14(2): 684-691.
 - Trager, M.D., Wilson, G.W. and Hartnett, D.C., 2004. Concurrent effects of fire regime, grazing and bison wallowing on tallgrass prairie vegetation. *The American midland naturalist*, 152(2): 237-247.
 - Tran, B.N., Tanase, M.A., Bennett, L.T. and Aponte, C., 2018. Evaluation of spectral indices for assessing fire severity in Australian temperate forests. *Remote Sensing*, 10(11): 1680.
 - Verlinden, A. and Laamanen, R., 2006. Long term fire scar monitoring with remote sensing in northern Namibia: relations between fire frequency, rainfall, land cover, fire management and trees. *Environmental Monitoring and Assessment*, 112: 231-253.
 - Veraverbeke, S., Harris, S. and 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.