

این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Journal of Natural Environmental Hazards, , ,

Spectral Analysis of Forest Fire Based on the +NBR Index and Its Comparison with Spectral Indices in Sentinel-2 Satellite (Case Study: Baharestan Village)

Mehdi Feyzolahpour^{1*} 

1. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Geomorphology, Faculty of Human Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 22 May 2024

Revised: 12 July 2024

Accepted: 14 August 2024

Keywords:

Normalized burn indices, spectral index, forest fire, Sentinel 2, Heyran.

ABSTRACT

Burned areas can be easily monitored using multispectral satellite images. Indices were provided to show the difference between healthy vegetation areas and burned areas. To avoid errors and optimize the results, based on the reflective condition of the Sentinel 2 satellite bands, the normalized burn ratio index +NBR was presented. The efficiency of this index was confirmed by comparing it with four other indices in an area of 47.4 square kilometers in the downstream part of the Hiran region on the border between Iran and the Republic of Azerbaijan, around the village of Baharestan. To achieve this goal, two single- and two-time approaches were adopted. To separate the pixels of burned and non-burned areas, the differentiation method was used between the periods before and after the fire on January 8, 2021, and January 25, 2021. To evaluate the effectiveness of the indicators, confusion matrices were constructed and compared. The NBR+ index achieved favorable results due to the removal of cloud masses and water areas that were wrongly classified in the other indices. Pearson's correlation coefficient values also showed that the NBR and NDSWIR index with values of 0.95 had the highest correlation with the NBR + index, and the MIRBI index with values of 0.16 had the lowest correlation. Meanwhile, the NBR+ index with the highest Kappa coefficient of 0.92 has a high ability to detect areas affected by fire.

Cite this article: Feyzolahpour, M. (2024). Spectral reflection analysis of forest fire based on NBR + index and comparing it with spectral indices in Sentinel 2 satellite (study area: downstream of Heyan pass in Baharestan village, border of Iran and Republic of Azerbaijan). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10 (4), 1-20. DOI: 10.22111/jneh.2024.48813.2047



© Mehdi Feyzolahpour.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2024.48813.2047

* Corresponding Author Email: feyzolahpour@znu.ac.ir

این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره شماره ۱۴۰۰

تحلیل طیفی آتش سوزی جنگل بر اساس شاخص NBR+ و مقایسه آن با شاخص های طیفی در ماهواره سنتینل ۲ (منطقه مورد مطالعه: روستای بهارستان)

مهدی فیض اله پور*¹ ID

۱. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	نظارت بر مناطق سوخته را می توان به راحتی با استفاده از تصاویر چندطیفی ماهواره ای انجام داد. برای نمایش تفاوت بین مناطق پوشش گیاهی سالم و مناطق سوخته شده، شاخص هایی ارائه شده است. برای جلوگیری از خطا و بهینه سازی نتایج، بر اساس وضعیت بازتابی باندهای ماهواره سنتینل ۲، شاخص نسبت سوختگی نرمال شده NBR+ ارائه شد. کارایی این شاخص با مقایسه آن با چهار شاخص دیگر در منطقه ای با وسعت ۴۷/۴ کیلومتر مربع در قسمت پایین دست منطقه حیران در مرز بین ایران و جمهوری آذربایجان در حوالی روستای بهارستان تأیید شد. برای دستیابی به این هدف، دو رویکرد تک زمانی و دو زمانی اتخاذ شد. برای جداسازی پیکسل های نواحی سوخته شده و نواحی فاقد سوختگی، روش تفاضل گیری بین دوره های قبل و بعد از آتش سوزی در تاریخ های ۸ ژانویه ۲۰۲۱ و ۲۵ ژانویه ۲۰۲۱ به کار گرفته شد. برای ارزیابی کارایی شاخص ها، ماتریس های سردرگمی ساخته شده و با یکدیگر مقایسه شدند. شاخص NBR+ به دلیل حذف توده های ابر و پهنه آبی که در شاخص های دیگر به اشتباه طبقه بندی شده بودند، به نتایج مطلوبی دست یافته است. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که شاخص NBR+ و NDSWIR با مقادیر ۰/۹۵ از بیشترین همبستگی با شاخص NBR+ برخوردار بوده و شاخص MIRBI با مقادیر ۰/۱۶ از کمترین همبستگی برخوردار بوده است. این درحالیست که شاخص NBR+ با بیشترین ضریب کاپا به میزان ۰/۹۲ از قابلیت بالایی در تشخیص مناطق متاثر از آتش سوزی برخوردار است.

استناد: فیض اله پور، مهدی. (۱۴۰۳). تحلیل بازتاب طیفی آتش سوزی جنگل بر اساس شاخص NBR+ و مقایسه آن با شاخص های طیفی در ماهواره سنتینل ۲ (منطقه مورد مطالعه: پایین دست گردنه حیران در روستای بهارستان، مرز ایران و جمهوری آذربایجان). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰،

DOI: 10.22111/jneh.2024.48813.2047



© مهدی فیض اله پور.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

یکی از مباحث تحقیقاتی مهم در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نظارت بر آتش‌سوزی‌ها، تاثیر آنها بر کیفیت هوا و آثاری است که بر روی محیط‌زیست بر جای می‌گذارند (سیدی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین برای حفظ چشم اندازه‌های طبیعی و انسان‌ساخت، شناسایی روش‌های مناسب برای پایش مناطق سوخته و تهیه نقشه‌های برآورد شدت با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای ضروری می‌باشد (آموس^۲ و همکاران، ۲۰۱۹).

در دهه‌های اخیر، چندین حسگر مانند رادیومتر پیشرفته با وضوح بالا (AVHRR) و رادیومتر تابش گرمایی و انعکاس فضایی پیشرفته (ASTER) به منظور بررسی آتش‌سوزی، بر روی ماهواره‌ها نصب شده‌اند (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱). یکی دیگر از سنجنده‌های پرکاربرد، طیف سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) است که به دلیل وضوح زمانی بالای آن مورد توجه قرار گرفته و امکان تشخیص سریع آتش‌سوزی‌های فعال، شناسایی مناطق سوخته یا ارزیابی خطر آتش‌سوزی جنگل‌ها را فراهم می‌کند (سعیدی و همکاران، ۲۰۲۱).

پرتاب ماهواره لندست ۸ که با همکاری ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده صورت گرفته به همراه ماهواره سنتینل ۲ این امکان را فراهم می‌سازد تا تصاویری با وضوح فضایی بهتر از سنجنده‌های ماهواره قبلی به دست آید. به طور خاص، ماهواره سنتینل ۲ تصاویر چند طیفی سطح زمین را توسط دو ماهواره با چرخه بازبینی ۵ روزه در وضوح مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر جمع‌آوری می‌کند. پردازش داده‌های سنجنش‌ازدور پیش‌نیازی برای تولید اطلاعات مکانی قوی و با کیفیت بوده و برای پایش آتش در مقیاس‌های مختلف و در طول زمان مناسب می‌باشد (باربوزا^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). در واقع، تحقق شاخص‌های عملکردی فزاینده در حوزه RS برای تشخیص و تحلیل پدیده‌هایی مانند آتش‌سوزی در حال توسعه مداوم بوده است. بنابراین افزایش وضوح مکانی و طیفی سنجنده‌های ماهواره‌ای همراه با توسعه شاخص‌ها در سنجنش‌ازدور به این معنی است که حتی آتش‌سوزی‌ها در مقیاس کوچک را می‌توان با دقت بالا تشخیص داد. تشخیص آتش‌سوزی به شدت با نظارت بر پوشش گیاهی مرتبط است. برای این منظور، چندین روش مبتنی بر استفاده از شاخص‌های طیفی پیشنهاد شده است. شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) بر اساس روابط بین باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز این امکان را می‌سازد تا رابطه بین میزان پوشش گیاهی آسیب‌دیده و شدت آتش‌سوزی مشخص گردد (منیسس^۴، ۲۰۲۱). علاوه بر این، شاخص‌های خاصی مانند شاخص نسبت نرمال‌شده سوختگی (NBR) ایجاد شده‌اند که اثرات آتش را با کنتراست طیفی بالا ثبت می‌کنند. در این شاخص از نسبت نرمال‌شده باندهای مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه استفاده شده است. ترکیب این باندوری پژها امکان تحلیل پدیده را در شرایط قبل و بعد از آتش‌سوزی فراهم می‌کند. در طول موج‌های NIR، جذب پوشش گیاهی کم و بازتاب عبور، قابل توجه می‌باشد. در مقابل در طول موج SWIR بازتاب و ضریب عبور پوشش گیاهی کم و جذب در حد بسیار بالایی بوده است. پس از آتش‌سوزی، مناطق سوخته‌شده بازتاب نسبتاً کم در باند مادون قرمز نزدیک و بازتاب بالایی در باند مادون قرمز موج کوتاه نشان می‌دهند (روی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنجنش‌ازدور، رویکردهای جدیدی را برای آتش‌سوزی از جنبه‌های مختلفی از قبیل تشخیص آتش‌سوزی فعال، برآورد میزان و شدت آتش‌سوزی و نظارت بر احیای پوشش گیاهی پس از آتش‌سوزی

1 Seydi

2 Amos

3 Barboza

4 Meneses

5 Roy

فراهم کرده است (سزپاکووسکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۹). شاخص‌های خاصی بر اساس باندهای طیفی برای تشخیص آتش‌سوزی توسعه یافته‌اند. بخش بزرگی از این پژوهش مبتنی بر رویکردهای دو زمانی است که این امکان را می‌دهد تا مناطق سوخته‌شده به‌عنوان نتایج تغییرات ناشی از پوشش گیاهی در تصاویر قبل و بعد از آتش‌سوزی شناسایی گردد. با این حال سایر پدیده‌های سطح زمین ممکن است در باندهای خاصی مانند NIR و SWIR پاسخ‌های مشابهی را داده و باعث افزایش خطا گردد (لیو^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، ویژگی‌های منطقه می‌تواند بر دقت تشخیص آتش‌سوزی تاثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، ابر و سایه‌ها ممکن است بازتاب طیفی کاذب ایجاد کنند. بنابراین اقدامات اصلاحی خاصی لازم است (نولد^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). با بهره‌گیری از باند SWIR، میزان این خطاها کاهش می‌یابد؛ زیرا در این باند بازتاب نواحی آتش‌گرفته نسبتاً ثابت مانده و یا رشد کمی را نشان می‌دهند (اولیورا^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

در ایران تحقیقات مختلفی برای بررسی نقش سنجش‌ازدور در مطالعات مربوط به آتش‌سوزی جنگل انجام گرفته است. عبدی و همکاران (۱۳۹۰) اثر مدیریت جنگل روی آتش‌سوزی جنگل‌های استان گلستان در سال ۱۳۸۹ را با استفاده از GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی وجود طرح‌های جنگل‌داری ضمن اینکه باعث حفاظت جنگل در مقابل گسترش سطح و مدت زمان تداوم آتش‌سوزی می‌گردد، به‌کارگیری شاخص‌های مدیریتی مهم داخل طرح‌های جنگل‌داری مطابق با اصول علم جنگل‌داری، در حفاظت جنگل در مواقع بحرانی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به تجزیه و تحلیل آتش‌سوزی جنگل با منشا آب‌وهوایی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه البرز پرداختند. نتایج نشان داد که در روز آتش‌سوزی در سطح زمین استیلای زبانه کم فشار و در تراز میانی فراز مانع موجب انتقال هوای گرم عرض‌های جغرافیایی بالا به منطقه مورد مطالعه شده است. عابدی قشلاقی و ولی‌زاده (۱۳۹۷) با استفاده از فن‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS اقدام به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل نمودند. نتایج نشان داد که روش مورد استفاده با ضریب ۰/۶۴ از دقت خوبی در پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل برخوردار می‌باشد. جانبار فیادی (۱۳۹۸) بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی (FRSI) و با بهره‌گیری از فن GIS اقدام به بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان نمود. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌های به‌وقوع پیوسته در منطقه با خطر زیاد قرار گرفته است. امامی و شهریاری (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از GIS و RS عوامل انسانی و محیطی را در وقوع آتش‌سوزی جنگل‌های ارسباران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که راه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی به‌ترتیب حداقل ۳۲ درصد و حداکثر ۶۸ درصد همپوشانی با خطر وقوع آتش‌سوزی در منطقه مطالعاتی را دارا هستند. رودسرابی و همکاران (۱۴۰۱) روش‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور را در شناسایی و پایش آتش‌سوزی جنگل مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بر اساس بررسی‌های انجام‌شده درباره مطالعات آتش‌سوزی در کشور، حدود ۴۸ درصد از پژوهش‌ها به شناسایی و گسترش آتش‌سوزی و حدود ۵۲ درصد به احیا و بازیابی پرداختند.

1 Szpakowski

2 Liu

3 Nolde

4 Oliveira

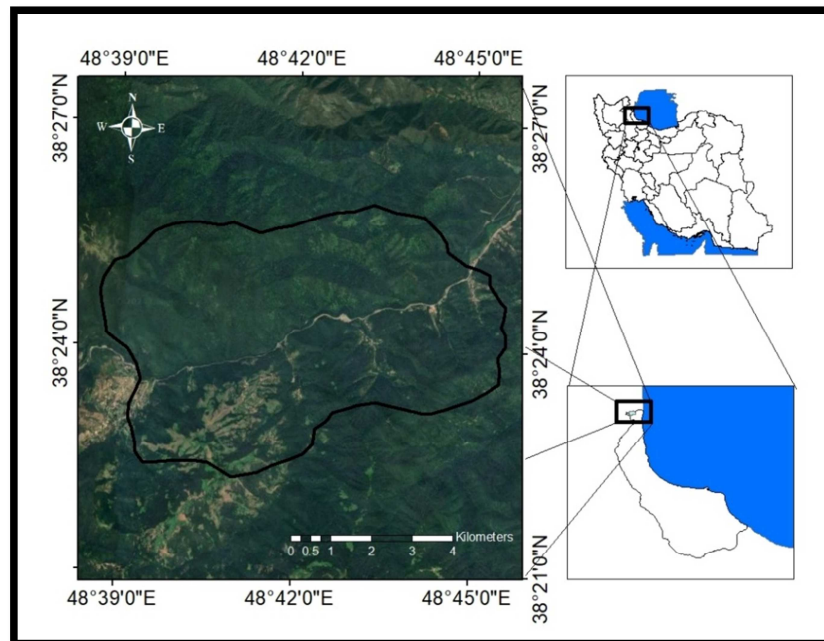
این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

هدف از این پژوهش بهبود عملکرد به دست آمده از شاخص موجود در زمینه آتش سوزی جنگل بوده و به این منظور از تصاویر سنتینل ۲ بهره گرفته شده است. با بهره گیری از شاخص NBR، شاخص جدیدی با نام NBR+ ارائه گردید. این شاخص در منطقه ای واقع در پایین دست گردنه حیران در حوالی روستای بهارستان در مرز بین ایران و جمهوری آذربایجان و تحت تاثیر آتش سوزی در ۱۰ ژانویه ۲۰۲۱ آزمایش شده و عملکرد آن ارزیابی شده و با چهار شاخص دیگر مقایسه شد. برای رخدادهای قبل و بعد از آتش سوزی نیز از داده های چند طیفی سنتینل ۲ استفاده شد.

نوآوری عمده این پژوهش در اولین گام، استفاده از تصاویر سنتینل ۲ بوده و در گام بعدی، استفاده از شاخص جدید NBR+ می باشد. این شاخص برخلاف شاخص های دیگر توانسته است تا تفکیک دقیقی بین پهنه های متاثر از آتش با پهنه های آبی و توده های ابری به عمل آورد. لیکن اصلی ترین نوآوری، استفاده از روش تفاضل گیری از تصاویر قبل و بعد از وقوع آتش سوزی بوده است. بدین طریق، تمامی پهنه های تغییر یافته در تصویر نمایش داده شد.

داده ها و روش ها

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۸ درجه ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی در پایین دست گردنه حیران در مرز بین کشور ایران و جمهوری آذربایجان در غرب شهر آستارا و حوالی روستای بهارستان واقع شده است. در تاریخ ۲۱ دی ماه ۱۳۹۹ شمسی یا ۱۰ ژانویه ۲۰۲۱ آتش سوزی وسیعی در جنگل های هیرکانی جمهوری آذربایجان رخ داد که ۹ روز تداوم داشته و جنگل های هیرکانی در نواحی مرزی ایران را نیز متاثر ساخت در این پژوهش محدوده ای به وسعت ۴۷/۷ کیلومتر مربع مورد مطالعه قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در پایین دست گردنه حیران

تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ توسط سازمان فضایی اروپا و در قالب برنامه کپرنیک به شکل ماهواره‌های سنتینل 2A و سنتینل 2B و به صورت رایگان ارائه می‌شود. برای این پژوهش از تصاویر ارائه‌شده توسط ماهواره سنتینل 2A استفاده شده است. برنامه کپرنیک از طریق استفاده از ماهواره‌های سنتینل به نظارت مستمر زمین می‌پردازد. این تصاویر کانال اصلی دریافت داده‌های کپرنیک بوده و برای بررسی مخاطرات و احیای مناطق به‌کار گرفته می‌شود. دو مجموعه داده سنتینل 2A در این پژوهش استفاده شده است. اولین مجموعه داده‌ها در ۸ ژانویه ۲۰۲۱ به‌دست آمده و سناریوی پیش از آتش‌سوزی را نشان می‌دهد. دومین سری از داده‌ها در ۲۵ ژانویه ۲۰۲۱ تهیه شده و نشان‌دهنده وضعیت پس از آتش‌سوزی است.

در این پژوهش شاخص NBR+ بر اساس تصاویر چند طیفی سنتینل ۲ برای شناسایی مناطق سوخته‌شده پیشنهاد گردیده و رویکرد روش‌شناختی اتخاذشده برای تعیین سطح عملکرد این شاخص نشان داده شده است. در ابتدا شاخص‌های ارائه‌شده قبلی در این زمینه معرفی شده و مقایسه‌ای بین آنها با شاخص NBR+ صورت گرفت. در این بین، دلایلی که فرمول‌بندی شاخص پیشنهادی را تعیین کرده است، توضیح داده شده و در نهایت، روش تأیید صحت نتایج بر اساس رویکرد متعارف اعمال‌شده در سنجش‌ازدور از جمله ماتریس سردرگمی تشریح شد (هاسمادی^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). همه آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS انجام شد. ابزار محاسبه‌گر رستری امکان پیاده‌سازی معادلات شاخص را با استفاده از عملگرهای نرم‌افزار فراهم می‌سازد.

برای تشخیص مناطق سوخته، باندهای مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) به‌کار گرفته شده است. باند NIR تغییرات در پوشش تاج و بازتاب برگ‌های سوخته را برجسته می‌کند. درحالی‌که باند SWIR تغییرات در میزان خشکی را شناسایی می‌کند (سیلوا^۲ و همکاران، ۲۰۰۳). پس از آتش‌سوزی، با از بین رفتن پوشش گیاهی، بازتاب NIR به‌شدت کاهش می‌یابد و از سوی دیگر، بازتاب SWIR به‌دلیل حذف پوشش گیاهی نگهدارنده آب افزایش می‌یابد (شیپرلند^۳ و همکاران، ۲۰۱۴). برای تشخیص مناطق سوخته، با ترکیب باندهای NIR و SWIR چندین الگوریتم ابداع شدند. اگرچه برخی از شاخص‌های طیفی تنها بر اساس باندهای SWIR، قرمز و NIR توسعه یافته‌اند. در میان طیف گسترده‌ای از شاخص‌های طیفی موجود، چهار شاخص نسبت نرمال‌شده سوختگی (NBR)، نسبت نرمال‌شده سوختگی در باند SWIR (NBRSWIR)، شاخص تفاوت نرمال‌شده مادون قرمز موج کوتاه (NDSWIR) و متوسط شاخص دو طیفی مادون قرمز (MIRBI) با یکدیگر مقایسه شدند. ویژگی اصلی این شاخص‌ها به همراه خصوصیت‌های شاخص اصلی در زیر شرح داده شده است.

شاخص معروفی که به‌طور گسترده برای نمایش مناطق سوخته استفاده می‌شود، نسبت نرمال‌شده سوختگی است که به‌عنوان شاخص استاندارد در ارزیابی شدت آتش‌سوزی در نظر گرفته می‌شود (گارسیا^۴ و همکاران، ۱۹۹۱). این شاخص، طول موج‌های NIR (باند 8A) و SWIR (باند ۱۲) را ترکیب می‌کند که در آن مقدار بالای NBR پوشش گیاهی سالم را نشان داده و مقدار پایین، زمین‌های خالی و سوخته را نمایش می‌دهد. شاخص NBR مشابه شاخص

1 Hasmadi

2 Silva

3 Schepers

4 García

این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

NDVI می باشد. شاخص NBR به عنوان نسبتی بین مقادیر NIR و SWIR محاسبه شده و می تواند به صورت زیر تعریف گردد. مناطقی که مقادیر نزدیک به صفر دارند، مناطق بدون سوختگی در نظر گرفته می شوند.

$$NBR = \frac{B12 - B8A}{B12 + B8A} \quad (1)$$

شاخص آتش سوزی جدیدی که بر اساس داده های لندست ۸ توسعه یافته، نسبت نرمال شده سوختگی در باند SWIR است که توسط لیو و همکاران (۲۰۲۰) طراحی شده است. این شاخص مشابه شاخص NBR می باشد؛ ولی از باندهای SWIR1 (باند ۱۱) و SWIR2 (باند ۱۲) بهره گرفته است (لیو و همکاران، ۲۰۲۰). در این معادله دو مقدار عددی ثابت در نظر گرفته می شود. در صورت معادله، مقدار ۰/۰۲ کم می شود تا تغییرات آب نزدیک به صفر یا مقادیر منفی شود و در مخرج نیز مقدار ۰/۱ اضافه شد تا از تغییرات غیر طبیعی آب و افزایش مقادیر به سمت مثبت جلوگیری شود.

$$NBR_{SWIR} = \frac{B12 - B11 - 0.02}{B12 + B11 + 0.1} \quad (2)$$

از آنجایی که باند SWIR برای تشخیص آتش سوزی های قدیمی مفید تشخیص داده شده است، جرارد و همکاران از طول موج SWIR و شاخص NDSWIR برای شناسایی آتش سوزی جنگل استفاده کردند (جرارد^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). بر این اساس تشخیص مناطق آتش گرفته تا ۱۰ سال پس از سانحه با استفاده از بازتاب طیفی مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه میسر بوده است.

$$NDSWIR = \frac{B11 - B8A}{B11 + B8A} \quad (3)$$

شاخص سوختگی مادون قرمز میانی (MIRBI) که توسط تریگ و فلاس در سال ۲۰۰۱ توسعه یافت، در فضای طول موج های کوتاه مادون قرمز میانی و طول موج بلند مادون قرمز میانی طراحی شد (تریگ^۲ و فلاس، ۲۰۰۱). این طول موج ها به ترتیب در ماهواره سنتینل ۲ باندهای ۱۱ و ۱۲ را در بر می گیرد. این شاخص نسبت به تغییرات طیفی ایجاد شده به وسیله آتش سوزی، حساس می باشد.

$$MIRBI = 10 \times B12 - 9.8 \times B11 + 2 \quad (4)$$

به منظور استفاده صحیح از شاخص های تشخیص سوختگی لازم است تا پهنه های آبی و ابرها حذف شوند. بنابراین از ماسک هایی برای رسیدن به این هدف استفاده می شود (وانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). همان طور که در پژوهش های متعددی گزارش شده است (پولویرنی^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ هوانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۷)، پهنه های آبی را می توان با شاخص هایی مانند NBR با پهنه های سوخته اشتباه گرفت؛ زیرا مناطق سوخته بازتابی مشابه سطوح آبی از خود نشان می دهند (دیندار اوغلو و همکاران، ۲۰۲۱). به طور کلی، برای حذف پهنه های آبی از شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI) استفاده شد (مک فیتز^۶، ۱۹۹۶). آب به طور معمول در طول موج های سبز و آبی از بازتاب قوی برخوردار است (ایپ^۷ و همکاران، ۲۰۰۴) بنابراین، نسخه پیشرفته ای از شاخص NBR پیشنهاد شد که بازتاب آب را در نظر گرفته و با عنوان NBR+ شناخته می شود.

1 Gerard
2 Trigg
3 Wang
4 Pulvirenti
5 Huang
6 McFeeters
7 Ip

$$+NBR = \frac{(B12-B8A-B3-B2)}{(B12+B8A+B3+B2)} \quad (5)$$

از سوی دیگر، این معادله مقادیر منفی را برای ابرها در نظر می‌گیرد؛ زیرا بازتاب آن در باند ۱۲ به‌طور قابل‌توجهی کمتر از مجموع سه باند دیگر است. در نتیجه از آنجایی که مقادیر +NBR می‌تواند در محدوده بین -۱ و ۱ متفاوت باشد، پیکسل‌های مربوط به ابرها در این شاخص مقادیر منفی را نشان داده و بنابراین نمی‌توان آنها را با مقادیر مناطق سوخته‌شده اشتباه گرفت. مناطق با مقادیر بالا نشان‌دهنده زمین‌های سوخته می‌باشد.

در این پژوهش از رویکرد تک زمانی و دو زمانی برای هر شاخص استفاده شد. اولین طبقه‌بندی بر روی تصاویر پس از آتش‌سوزی انجام شده و طبقه‌بندی دوم بر اساس مقایسه تصاویر قبل و بعد از آتش‌سوزی به‌دست آمد. در پژوهش‌های مختلفی از این رویکرد بهره گرفته شده است (آریلانو^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ پورومانویو^۲ و همکاران، ۲۰۲۲).

از آنجایی که رویکرد تک زمانی تنها تصاویر پس از آتش‌سوزی را بررسی می‌کند، بنابراین سریع‌تر اجرا شده و فاقد خطاهای رویکرد دو زمانی از قبیل تفاوت در فنولوژی، ثبت اشتباه تصاویر، تفاوت در کالیبره کردن سنجنده و اثرات اتمسفری می‌باشد (وراوربک^۳ و همکاران، ۲۰۱۲؛ مالینیس^۴ و همکاران، ۲۰۱۳؛ وانگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه بر این، یافتن تصاویر در دو زمان مختلف که توسط پوشش ابر پوشانده نشده است، همیشه آسان نبوده و ابرها و سایه‌ها به‌راحتی با پهنه‌های سوخته‌شده اشتباه گرفته می‌شوند (تاناسی^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ سانچز^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). فقدان تصاویر مرجع قبل از آتش‌سوزی می‌تواند مشکلاتی را در نقشه‌برداری ایجاد کرده و در آن ممکن است که آب و پوشش گیاه کهنسال با مناطق سوخته‌شده اشتباه گرفته شود (اپتینگ^۸ و همکاران، ۲۰۰۵). تجزیه و تحلیل دو زمانی با محاسبه شاخص‌های بالا در زمان قبل و بعد از آتش‌سوزی و ایجاد تفاوت بین آنها انجام می‌شود. به این منظور از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$\Delta index = post\ Burn\ index - Pre\ Burn\ index \quad (6)$$

به منظور ارزیابی صحت موضوعی نتایج به‌دست آمده، از نقاط آزمایشی استفاده شد. این نقاط با نقاط آموزش داده‌شده متفاوت هستند. این نقاط بیانگر مناطق سوخته‌شده و فاقد آتش‌سوزی هستند (اپتینگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). مکان‌های آزمایشی از تجزیه و تحلیل بصری تصاویر چند طیفی به‌دست می‌آیند. نقاط بالا این امکان را می‌دهند که مشخص شود چند پیکسل به‌درستی و چند پیکسل به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. رویکرد بالا بیشتر بر اساس ماتریس سردرگمی اعمال می‌شود. این ماتریس ابزار ساده و قدرتمندی است که دقت طبقه‌بندی تصاویر سنجش‌ازدور را نشان می‌دهند. ماتریس سردرگمی جدولی است که مطابقت بین نتیجه طبقه‌بندی و داده‌های زمین را نشان داده و از بازرسی بصری استخراج می‌گردد (استوری^{۱۰} و کانگالتون، ۱۹۸۶). به‌جای در نظر گرفتن کل تصاویر، ماتریس‌های

1 Arellano
2 Ponomarev
3 Veraverbeke
4 Mallinis
5 Wang
6 Tanase
7 Sanchez
8 Epting
9 Epting
10 Story

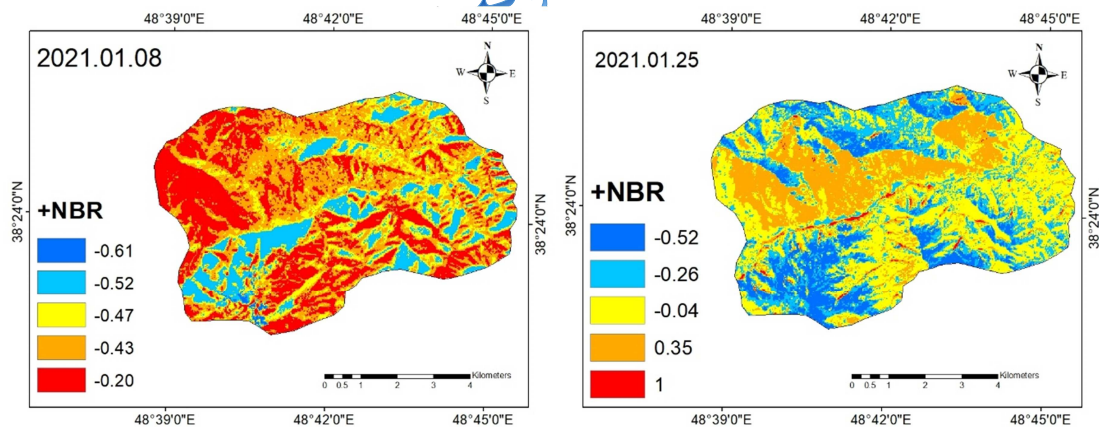
این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

سردرگمی معمولا از مقادیر گرفته شده از نقاط آموزشی ساخته شده و امکان ارزیابی دقت موضوعی روش طبقه بندی را فراهم می کند (دیبس^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). در این پژوهش برای تصاویر قبل و بعد از آتش سوزی، ماتریس سردرگمی ایجاد شده و تحلیل عددی دقت موضوعی با بهره گیری از شاخص کاپا انجام شد (لیو و همکاران، ۲۰۰۷). در نهایت به منظور بررسی روابط همبستگی بین شاخص های طیفی با شاخص +NBR از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شده و مقادیر ضریب تعیین R^2 محاسبه گردید.

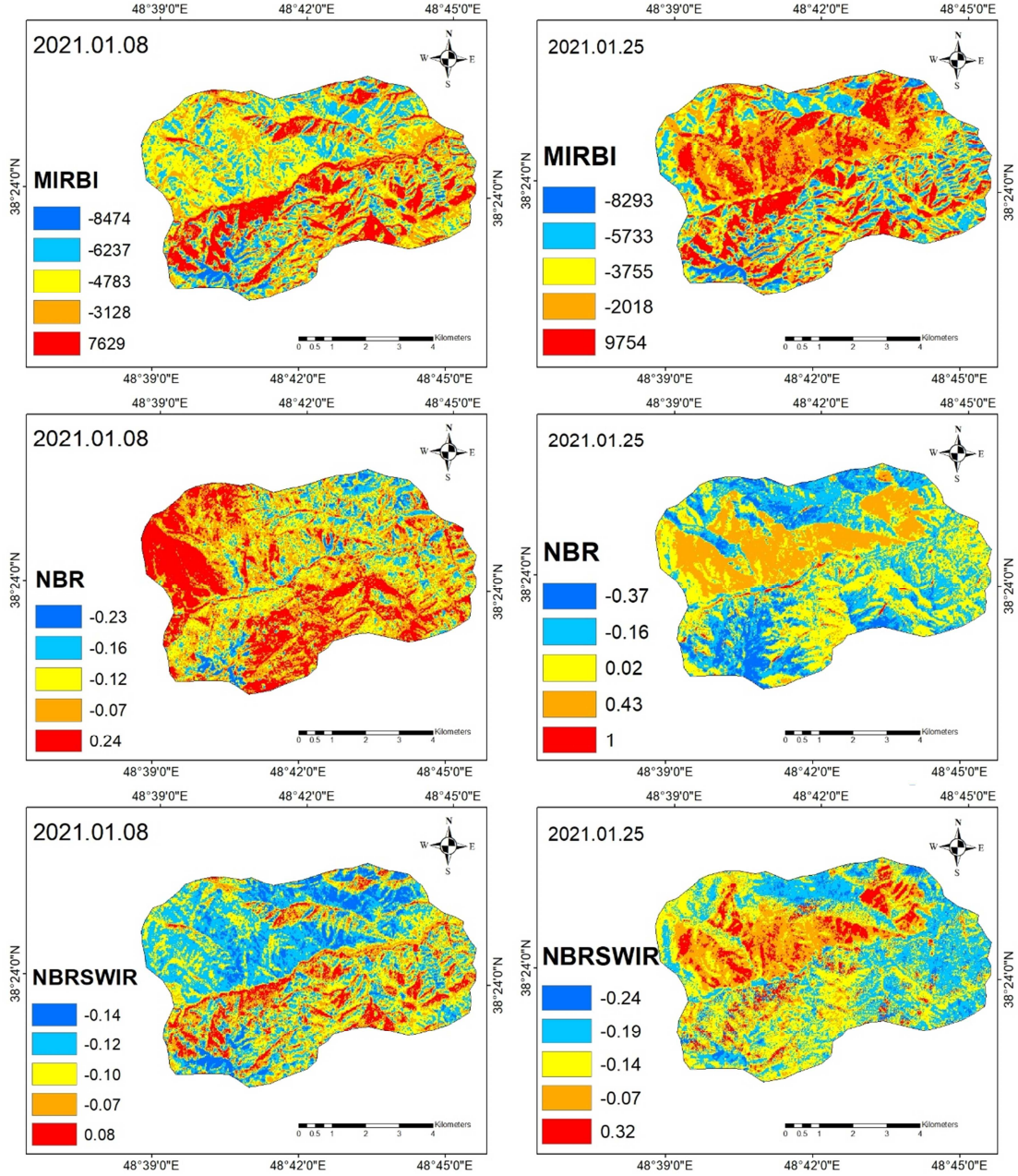
یافته های پژوهش

اولین ارزیابی از هر نقشه سطح سوختگی را می توان با استفاده از بازرسی بصری انجام داد. مقادیر طبقه بندی شده شاخص های طیفی بر اساس ضریب شکست طبیعی جنکز در شکل ۲ نشان داده شده است.

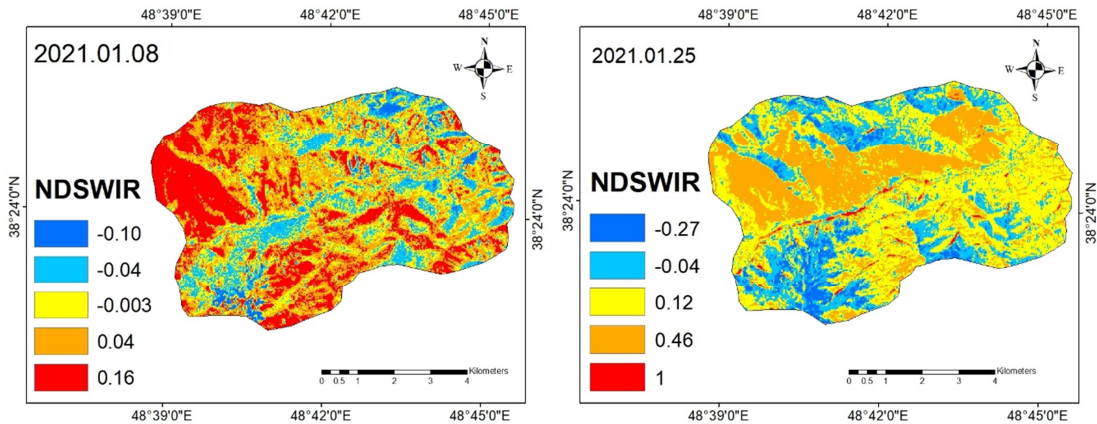
با مقایسه تصاویر در شکل ۲ مشاهده می شود که بازتاب مربوط به مناطق مرطوب اندکی کاهش یافته است؛ ولی همچنان باعث اختلال شده است. هنگامی که تحلیل دو زمانی انجام می شود اگر دو تصویر قبل و بعد از آتش سوزی هر دو دارای پوشش ابر باشند، این موارد روی تصاویر تفاوت شاخص ها به روشی متفاوت نشان داده می شوند؛ بدین صورت که ابرها در تصاویر قبل از آتش سوزی با مقادیر کم درخشندگی نشان داده شده و در تصاویر پس از آتش سوزی با درخشندگی بالا نمایش داده می شوند. بنابراین در صورت استفاده از شاخص +NBR، ابرها و مناطق مرطوب می توانند به اشتباه به عنوان نواحی سوخته شده طبقه بندی شوند. در تصاویر مربوط به شاخص +NBR، مناطق سوخته شده به علت بازتاب بالا جلب توجه می کنند و به ندرت با این اشتباه گرفته می شوند.



¹ Dibbs



این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۲: مقادیر طبقه بندی شده شاخص های طیفی بر اساس میزان بازتاب طیفی در بازه زمانی قبل و بعد از آتش سوزی. منبع: نویسنده

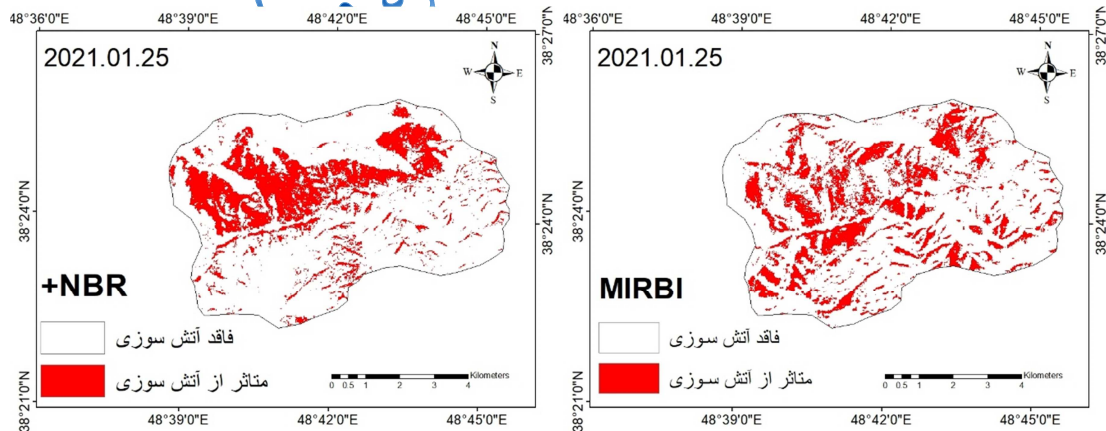
بر اساس شاخص NBRWSWIR حداکثر بازتاب در ۸ ژانویه، یعنی ۲ روز قبل از آتش سوزی، معادل ۰/۰۸ بوده است. در حالی که این میزان در ۲۵ ژانویه به ۰/۳۲ رسیده و افزایش قابل توجهی را به نمایش گذاشت. وسعت این پهنه در این روز معادل ۴/۰۵ کیلومتر مربع بوده که نسبت به آستانه ۰/۰۸ در ۸ ژانویه که معادل ۴/۱۴ کیلومتر مربع بوده است، تغییر قابل توجهی را نشان نداد. لیکن بازتاب طیفی ۰/۰۷- در روز ۸ ژانویه از ۷/۸۵ کیلومتر مربع به ۹/۹۳ کیلومتر مربع رسیده و از ۱۶/۵ درصد به ۲۰/۹ درصد افزایش یافته و این افزایش معادل ۴/۴ درصد بوده است. بر این اساس بیشترین مقادیر متاثر از آتش در بخش شمالی ناحیه بودم که در داخل خاک جمهوری آذربایجان قرار گرفته است. در شاخص NDSWIR، حداکثر میزان آستانه در ۸ ژانویه معادل ۰/۱۶ بوده است. اگر مقادیر مثبت به عنوان پهنه هایی با بازتاب های بالا در نظر گرفته شود، در آستانه ۰/۰۴ به بالا پهنه ای به مساحت ۲۶/۸۶ کیلومتر مربع از بازتاب های بالا برخوردارند. مقادیر مثبت در تاریخ ۲۵ ژانویه از ۰/۱۲ شروع شده و پهنه ای به وسعت ۲۳/۹۹ کیلومتر مربع را در بر می گیرد؛ ولی تغییرات قابل توجهی دیده نشد. گستره این پهنه، محدوده متاثر از آتش سوزی را نشان داد (جدول ۱).

جدول ۱: مقادیر مساحت آستانه های طیفی بر اساس شاخص های طیفی

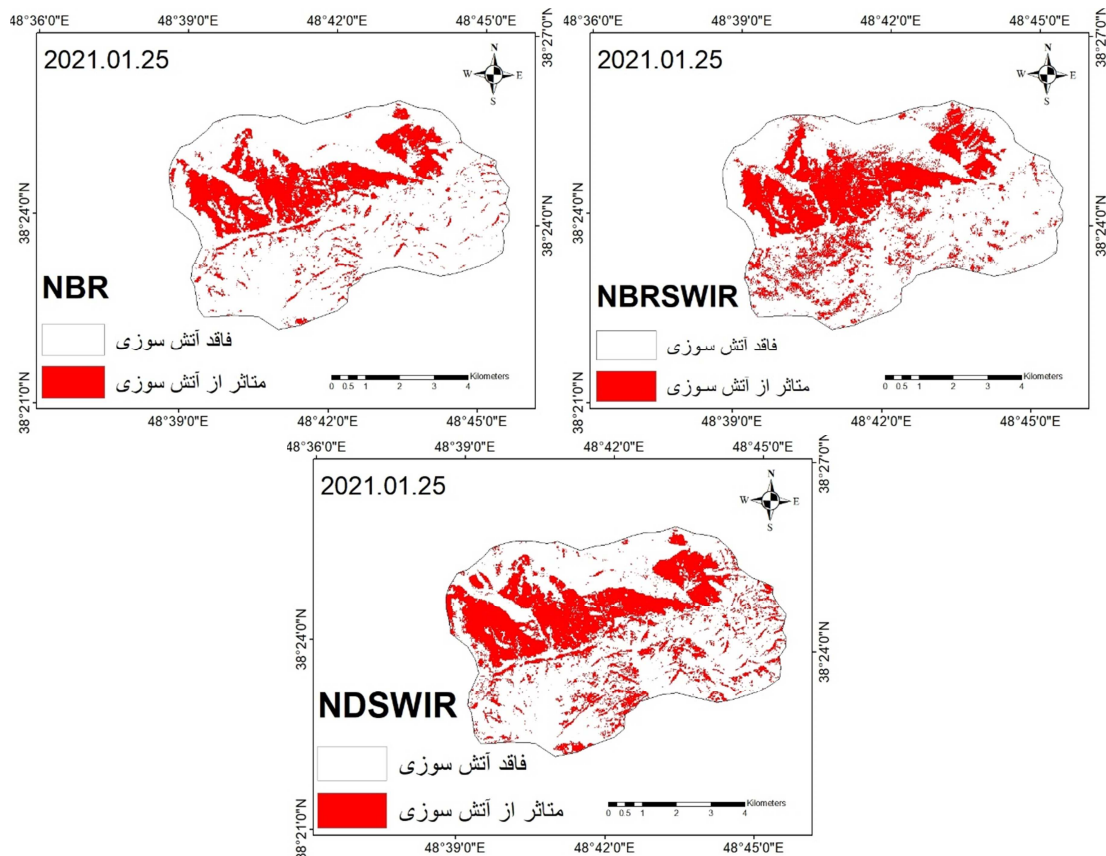
شاخص	۸ ژانویه ۲۰۲۱		۲۵ ژانویه ۲۰۲۱	
	آستانه	مساحت (km ²)	درصد	آستانه
NBRWSWIR	-۰/۱۴	۵/۳۳	۱۱/۲	۲/۰۵
	-۰/۱۲	۱۵/۸۳	۳۳/۴	۲۹/۴
	-۰/۱۰	۱۴/۲۳	۳۰/۰۲	۳۶/۷
	-۰/۰۷	۷/۸۵	۱۶/۵	۹/۹۳
	۰/۰۸	۴/۱۴	۸/۷۳	۸/۵۴
NDSWIR	-۰/۱۰	۱/۳۵	۲/۸۴	۳
	۰/۰۴	۷/۴۵	۱۵/۷	۱۰/۴
	-۰/۰۰۳	۱۱/۷۲	۲۴/۷	۲۰/۱۶
	۰/۰۴	۱۴/۸۳	۳۱/۲	۱۳/۴۵
	۰/۱۶	۱۲/۰۳	۲۵/۳	۰/۳۸
+NBR	-۰/۰۶۱	۰/۱۷	۰/۳۵	۶/۴
	-۰/۵۲	۶/۷۱	۱۴/۱۵	۱۰/۳۴

۴۰/۸	۱۹/۳۶	-۰/۰۴	۱۹/۰۲	۹/۰۲	-۰/۴۷	
۲۳	۱۰/۹	۰/۳۵	۳۴/۶	۱۶/۴۳	-۰/۴۳	
۰/۷۳	۰/۳۵	۱	۳۱/۷	۱۵/۰۵	-۰/۲۰	
۴/۱۱	۱/۹۵	-۸۲۹۳	۳/۰۱	۱/۴۳	-۸۴۷۴	MIRBI
۱۷	۸/۰۶	-۵۷۳۳	۱۹/۱۵	۹/۰۸	-۶۲۳۷	
۲۳/۶	۱۱/۲	-۳۷۵۵	۳۵/۳	۱۶/۷۷	-۴۷۸۳	
۳۱/۸	۱۵/۱	-۲۰۱۸	۲۵/۰۲	۱۱/۸۶	-۳۱۲۸	
۲۳	۱۰/۹	۹۷۵۴	۱۷/۳	۸/۲۴	۷۶۲۹	
۱۰/۳	۴/۸۹	-۰/۳۷	۲/۴۲	۱/۱۵	-۰/۲۳	NBR
۳۱/۴	۱۴/۹	-۰/۱۶	۱۱/۱۶	۵/۲۹	-۰/۱۶	
۳۶/۵	۱۷/۳	۰/۰۲	۲۶/۹	۱۲/۷۶	-۰/۱۲	
۲۰/۹۴	۹/۹۳	۰/۴۳	۳۲/۵	۱۵/۴۵	-۰/۰۷	
۰/۵۹	۰/۲۸	۱	۲۶/۸	۱۲/۷۳	۰/۲۴	

شاخص MIRBI به تناسب معادله‌ای که برای محاسبه آن استفاده شده به مقادیری در دامنه ۱- و ۱+ دست نیافته و وضعیت بازتاب را به شکل دیگری نشان داد. بیشترین میزان آستانه در تاریخ ۸ ژانویه معادل ۷۶۲۹ بوده و وسعت آن معادل ۸/۲۴ کیلومتر مربع می‌باشد. در تاریخ ۲۵ ژانویه، حداکثر بازتاب از وسعتی معادل ۱۰/۹ کیلومتر مربع برخوردار می‌باشد که افزایشی در حد ۲/۶۶ کیلومتر مربع را نشان داد. بر اساس این شاخص نیز مناطق متأثر از آتش سوزی در قسمت شمالی منطقه در خاک جمهوری آذربایجان قرار دارد. در شاخص NBR مقادیر مثبت نشان‌دهنده مقادیر بالای بازتاب هستند. حداکثر آستانه در ۸ ژانویه معادل ۰/۲۴ بوده و وسعت آن معادل ۱۲/۷۳ کیلومتر بوده است و وسعتی معادل ۲۶/۸ درصد از محدوده مورد مطالعه را در بر گرفت. این میزان در ۲۵ ژانویه به ۵۷/۵۷ درصد محدوده رسید که افزایش قابل توجهی را نشان داده است. این امر نشان از مناطقی دارد که درگیر پدیده آتش‌سوزی شده‌اند. میزان بازتاب پس از گذشت ۱۵ روز به شکل قابل توجهی افزایش یافته و دوباره مشاهده شد که بخش شمالی از بیشترین تمرکز مناطق آسیب‌دیده برخوردار است.



این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



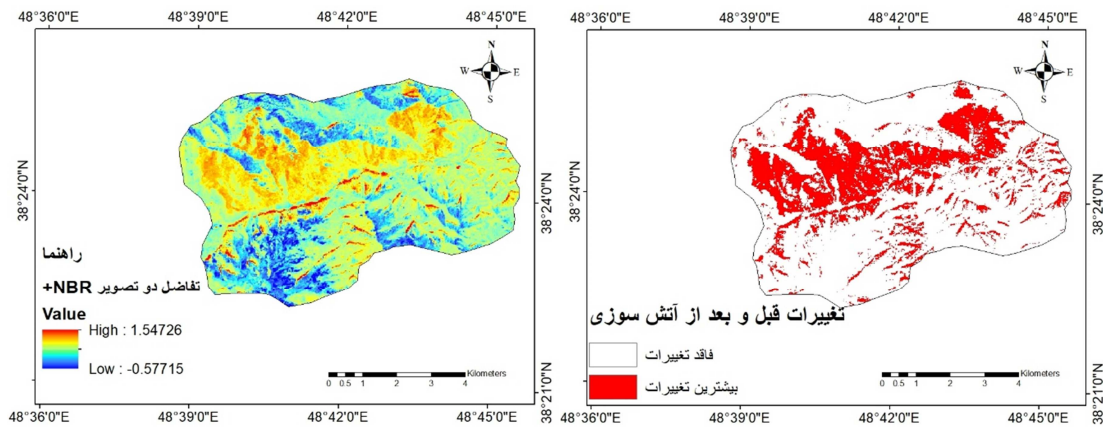
شکل ۳: پهنه متأثر از آتش سوزی بر اساس شاخص های طیفی در تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۲۱. منبع: نویسنده

نتایج و بحث آماده انتشار بدون شماره مجله

در این پژوهش با توجه به اینکه پوشش ابر و پهنه های آبی بازتاب هایی را مشابه مناطق آسیب دیده از آتش سوزی نشان می دهند، از شاخص $+NBR$ استفاده شد تا تاثیر این پهنه ها کاهش یابد. بر این اساس مشاهده شد که در روز ۸ ژانویه هیچ میزان بازتاب مثبتی در منطقه مورد مطالعه دیده نشده است؛ ولی در ۲۵ ژانویه حدود $11/25$ کیلومتر مربع از مقادیر بازتاب مثبت برخوردار بودند که حدود $23/73$ درصد منطقه را در بر می گرفت. البته لازم به یادآوری است که در انتخاب تصویر پس از رخداد آتش سوزی، روزی انتخاب شد که کمترین میزان پوشش ابر را داشته است. اما آتش سوزی در فصل زمستان رخ داده و میزان رطوبت خاک قابل توجه بوده که می توانسته در میزان بازتاب و ایجاد اختلال نقش داشته باشد.

با مقایسه تصاویر در شکل ۴، واضح است که شاخص NBR بازتاب هایی را در مناطق مرطوب ارائه می دهد؛ ولی این بازتاب ها در شاخص $+NBR$ مشاهده نمی شود. مناطق تحت تاثیر این بازتاب ها به اشتباه به عنوان مناطق سوخته طبقه بندی می شوند؛ زیرا دارای مقادیر درخشندگی بالایی هستند. دومین عنصر مزاحم در این مورد ابرها و سایه هایی است که در تصاویر وجود دارند. این پارامترها نه تنها نواحی سوخته شده را از سنجنده پنهان می کند حتی در مورد

شاخص NBR ممکن است که آنها را با نواحی سوخته شده اشتباه گرفت. این مشکل در شاخص +NBR حل شده است. در واقع این مناطق نسبت به مناطق سوخته شده درخشندگی بسیار پایینی داشته‌اند.



شکل ۴: تفاضل حاصل از تصاویر شاخص +NBR در دوره قبل و بعد از آتش سوزی. منبع: نویسنده

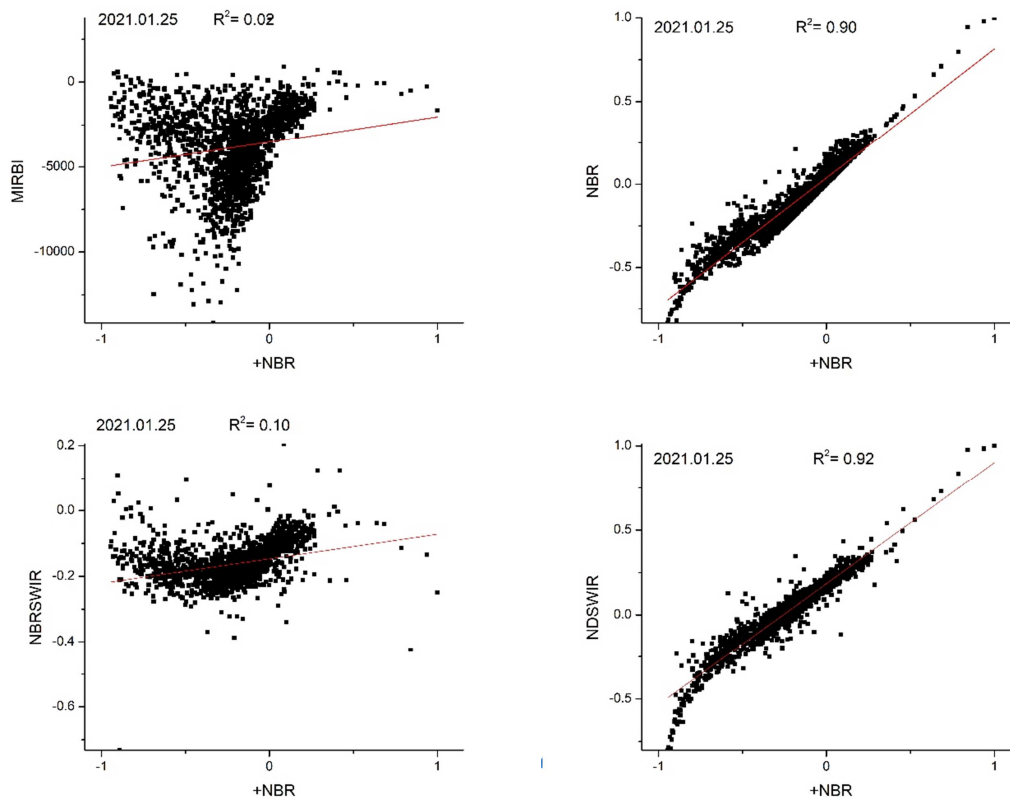
به منظور صحت‌سنجی شاخص‌ها از ضریب کاپا استفاده شد. مقادیر ضریب کاپا برای هر شاخص در جدول ۲ نمایش داده شد. مشاهده می‌شود که شاخص +NBR از بیشترین مقادیر ضریب کاپا در حدود ۰/۹۲ برخوردار است. این درحالیست که شاخص NBR با مقادیر کاپا در حد ۰/۸۶ در جایگاه دوم قرار دارد. ضعیف‌ترین ضریب کاپا به میزان ۰/۴۶ متعلق به شاخص MIRBI بوده است. این شاخص در تشخیص پهنه‌های متأثر از آتش سوزی بسیار ضعیف عمل کرده است.

جدول ۲: میزان ضریب کاپا برای شاخص‌های طیفی استفاده شده در تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۲۱

شاخص طیفی	ضریب کاپا
NDSWIR	۰/۷۳
NBR	۰/۸۶
+NBR	۰/۹۲
NBRSWIR	۰/۵۱
MIRBI	۰/۴۶

در آخرین بخش از پژوهش، بین شاخص +NBR با شاخص‌های دیگر همبستگی پیرسون برقرار شد. بر این اساس مشاهده شد که شاخص‌های NDSWIR و NBR بیشترین ضریب همبستگی را به میزان ۰/۹۵ با شاخص +NBR داشته‌اند. ولی ضریب R2 برای شاخص NDSWIR به میزان ۰/۹۲ بوده و نسبت به شاخص NBR که معادل ۰/۹۰ است، بیشتر می‌باشد. کمترین میزان همبستگی به میزان ۰/۱۶ نیز متعلق به شاخص MIRBI بوده که همبستگی بسیار ضعیفی را نشان می‌دهد (شکل ۵، جدول ۳).

این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۵: نمودار پراکنش شاخص‌های طیفی با شاخص +NBR در تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۲۱. منبع: نویسنده

جدول ۳: مقادیر ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین R2 بین شاخص‌های طیفی با شاخص +NBR

شاخص	همبستگی پیرسون	R ²
+NBR, NDSWIR	۰/۹۵	۰/۹۲
+NBR, NBRSWIR	۰/۳۱	۰/۱۰
+NBR, NBR	۰/۹۵	۰/۹۰
+NBR, MIRBI	۰/۱۶	۰/۰۲

آماده انتشار بدون شماره مجله

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش قابلیت نقشه‌برداری دقیق مناطق سوخته را با استفاده از علم سنجش‌ازدور تایید می‌کند. تصاویر چندطیفی ارائه‌شده توسط سنجنده‌های ماهواره سنتینل ۲ از قابلیت بالایی در تشخیص پهنه‌های آتش‌سوزی برخوردارند؛ ولی نیاز به انتخاب و ترکیب مناسب باندها می‌باشد. در واقع وجود چندین شاخص امکان دستیابی به نتایج مطلوب را فراهم می‌سازد. با این حال ویژگی‌های محیطی می‌تواند سطح دقت نقشه نهایی را کاهش دهد. توده‌های آبی و ابرها برای برخی از شاخص‌ها ایجاد خطا نموده و بازتاب‌های کاذب با افزایش غیرموجه در پیکسل‌ها، به‌عنوان مناطق سوخته در نظر گرفته می‌شود. حتی اگر بتوان با استفاده از روش‌های خاص اختلال توده آبی و ابرها را حذف کرد؛ اما شاخص‌ها بایستی از چنان توانایی برخوردار باشند که اثر این پدیده‌ها را کاهش دهند. شاخص جدید که در این پژوهش برای تصاویر سنتینل ۲ ارائه شده، این امکان را ایجاد می‌کند که بازتاب‌های مناطق سوخته را

حتی در صورت وجود پهنه‌های آبی و توده‌ها ابر تشخیص دهد. این شاخص در مقایسه با شاخص‌های MIRBI، NDSWIR، NBR و NBRSWIR به مقادیر بالای ضریب کاپا به میزان ۰/۹۲ دست یافته است. عملکرد بالای شاخص NBR+ هم در مورد رویکرد تک زمانی و هم در رویکرد دو زمانی به اثبات رسید. سایر شاخص‌ها در رویکرد تک زمانی به نتایج ضعیف‌تری نسبت به این شاخص دست یافتند؛ ولی شاخص NBR+ حتی در این شرایط نیز عملکرد بهتری را به نمایش گذاشت. تنها با استفاده از باندهای ۱۲ و ۸A اجسام آبی تمایل به داشتن مقادیر روشنایی بالا در پیکسل‌ها دارند. با کم کردن میزان انرژی، پیکسل‌های باند آب تمایل دارند که تاریک دیده شوند. بنابراین در نهایت مناطق سوخته روشن دیده شده و به راحتی قابل شناسایی هستند. علاوه بر این شاخص NBR+ با ایجاد مقادیر منفی برای ابرها باعث می‌گردد که این عوارض با پیکسل سوختگی اشتباه گرفته نشود. قابلیت این شاخص توسط تحقیقات روی و همکاران (۲۰۱۶) به تایید رسیده و نتایج مشابهی به دست آمده است.

منابع

- امامی، حسن؛ شهریاری، حسن. (۱۳۹۸). کمی‌سازی عوامل محیطی و انسانی در وقوع آتش‌سوزی جنگل با روش‌های RS و GIS مناطق حفاظت‌شده ارسباران، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۸، شماره ۱۱۲، ۵۳-۳۳.
- جانباز قبادی، غلامرضا. (۱۳۹۸). بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی (FRSI) با بهره‌گیری از تکنیک (GIS)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۶، شماره ۳، ۱۰۲-۸۹.
- رودسرای، زهره؛ سام خانیانی، علی؛ کیانی، عباس. (۱۴۰۱). مروری بر روش‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور در شناسایی و پایش آتش‌سوزی جنگل، نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، دوره ۱۴، شماره ۴، ۵۲-۱۹.
- عابدی قشلاقی، حسن؛ ولی‌زاده کامران، خلیل. (۱۳۹۷). ارزیابی پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۵، ۶۶-۴۹.
- عبدی، امید؛ شتایی، شعبان؛ شیروانی، زینب؛ نقوی، محمدرضا. (۱۳۹۰). اثر مدیریت جنگل روی آتش‌سوزی جنگل‌های استان گلستان در سال ۱۳۸۹ با استفاده از GIS، نشریه تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، دوره ۹، شماره ۲، ۱۰۸-۱۰۰.
- فرج زاده، منوچهر؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ مگری، بساحل. (۱۳۹۴). تجزیه و تحلیل آتش‌سوزی جنگل با منشا آب‌وهوایی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه البرز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۳، شماره ۳، ۱۰۴-۸۳.
- Arellano-Pérez, S., Ruiz-González, A. D., Alvarez-González, J. G., Vega-Hidalgo, J. A., Díaz-Varela, R., & Alonso-Rego, C. (2018). Mapping fire severity levels of burned areas in Galicia (NW Spain) by Landsat images and the dNBR index: Preliminary results about the influence of topographical, meteorological, and fuel factors on the highest severity level. *Advances in Forest Fire Research*, 1053-1060.
- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinos, K. P. (2019). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International journal of remote sensing*, 40(3), 905-930.
- Barboza Castillo, E., Turpo Cayo, E.Y., de Almeida, C.M., Salas López, R., Rojas Briceño, N.B., Silva López, J.O., Espinoza-Villar, R. (2020). Monitoring wildfires in the northeastern Peruvian Amazon using Landsat-8 and sentinel-2 imagery in the GEE platform. *International Journal of Geoinformation*, 9, 564- 576.
- Dibs, H., Hasab, H.A., Al-Rifaie, J.K., Al-Ansari, N. (2020). An optimal approach for land-use/land-cover mapping by integration and fusion of multispectral Landsat OLI images: A case study in Baghdad, Iraq. *Water Air Soil Pollution*, 231, 488- 498.
- Epting, J., Verbyla, D., Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing Environment*, 96, 328-339.
- García, M.J.L., Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto International*, 6, 31-37.
- Gerard, F., Plummer, S., Wadsworth, R., Sanfeliu, A.F., Iliffe, L., Balzter, H., Wyatt, B. (2003). Forest fire scar detection in the boreal forest with multitemporal spot-vegetation data. *IEEE Trans. Geoscience. Remote Sensing*, 41, 2575-2585.

- Hasmadi, M., Pakhriazad, H.Z., Shahrin, M.F. (2009). Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data. *Geogr. Malays. Journal of Society and Space*, 5, 1–10.
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing Environment*, 202, 166–176.
- Ip, F., Dohm, J.M., Baker, V.R., Doggett, T., Davies, A.G., Castano, B., Cichy, B. (2004). ASE floodwater classifier development for EO- 1 Hyperion imagery. *Lunar Planet. Sci*, 35, 1–2.
- Liu, C., Frazier, P., Kumar, L. (2007). Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing Environment*, 107, 606–616.
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *Eur. Journal of Remote Sensing*, 53, 104–112.
- Mallinis, G., Gitas, I.Z., Giannakopoulos, V., Maris, F., Tsakiri-Strati, M. (2013). An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. *Journal of Digital Earth*, 6, 124–136.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal Remote Sensing*, 17, 1425–1432.
- Meneses, B.M. (2021). Vegetation recovery patterns in burned areas were assessed with Landsat 8 OLI imagery and environmental biophysical data. *Fire*, 4, 76-92.
- Nolde, M., Plank, S., Riedlinger, T. (2020). An adaptive and extensible system for satellite-based, large-scale burnt area monitoring in near-real time. *Remote Sensing*, 12, 2162- 2189.
- Oliveira, E.R., Disperati, L., Alves, F.L. (2021). A new method (MINDED-BA) for automatic detection of burned areas using remote sensing. *Remote Sensing*, 13, 5164- 5191.
- Ponomarev, E., Zabrodin, A., Ponomareva, T. (2022). Classification of fire damage to boreal forests of Siberia in 2021 based on the dNBR index. *Fire*, 5, 19- 35.
- Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Fiorucci, P., Ferraris, L., Negro, D., Puca, S. (2020). An automatic processing chain for near real-time mapping of burned forest areas using sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12, 674- 691.
- Roy, D.P., Zhang, H.K., Ju, J., Gomez-Dans, J.L., Lewis, P.E., Schaaf, C.B., Kovalsky, V. (2016). A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing Environment*, 176, 255–271.
- Saidi, S., Younes, A.B., Anselme, B. (2021). A GIS-remote sensing approach for forest fire risk assessment: Case of Bizerte region, Tunisia. *Applied Geomatics*, 13, 587–603.
- Sanchez, A.H., Picoli, M.C.A., Camara, G., Andrade, P.R., Chaves, M.E.D., Lechler, S., Queiroz, G.R. (2020). Comparison of cloud cover detection algorithms on sentinel-2-2 images of the Amazon tropical forest. *Remote Sensing*, 12, 1284- 1302.
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., Goossens, R. (2014). Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (APEX). *Remote Sensing*, 6, 1803–1826.
- Silva, J.M.N., Pereira, J.M.C., Cabral, A.I., Sa', A.C.L., Vasconcelos, M.J.P., Mota, B., Gre'Goire, 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*, 108, 8498- 8522.
- Seydi, S.T. Akhoondzadeh, M., Amani, M., Mahdavi, S. (2021). Wildfire damage assessment over Australia using sentinel-2 imagery and MODIS land cover product within the Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*, 13, 220- 246.
- Story, M., Congalton, R.G. (1986). Accuracy assessment: A user's perspective. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 52, 397–399.
- Szpakowski, D.M., Jensen, J.L. (2019). A review of the applications of remote sensing in fire ecology. *Remote Sensing*, 11, 2638- 2652.
- Tanase, M.A., Belenguer-Plomer, M.A., Roteta, E., Bastarrika, A., Wheeler, J., Fernández-Carrillo, Á., Chuvieco, E. (2020). Burned area detection and mapping: Intercomparison of sentinel-1 and sentinel-2 based algorithms over tropical Africa. *Remote Sensing*, 12, 334- 351.
- Trigg, S., Flasse, S. (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 2641–2647.
- Veraverbeke, S., Hook, S., Hulley, G. (2012). An alternative spectral index for rapid fire severity assessments. *Remote Sensing Environmental*, 123, 72–80.
- Wang, L., Qu, J.J., Hao, X. (2008). Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements. *Agricultural and forest Meteorological*, 148, 1767–1776.

References

References (in Persian)

- Abdi, O., Shetaei, S., Shirvani, Z., Naghavi, M. (2012). Forest management impacts on forest fires in Golestan province by GIS application, *Iranian Journal Forest and Range Protection Research*, 9(18), pp 100- 108. [In Persian]
- Abedi Gheslaghi, H., Valizadeh, K. (2018). Evaluation and zoning of forest fire risk using multi-criteria decision-making techniques and GIS, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), pp 49- 66. [In Persian]
- Emami, Hassan., Shahriyari, H. (2020). Quantifying environmental and human factors affecting the occurrence and spread of wildfire using RS and GIS methods protected area of Arasbaran, *Scientific- research Quarterly of Geographical Data*, 28(112), pp 35-53. [In Persian]
- Farajzadeh, M., Ghavidel, Y., Mokri, S. (2015). The analysis of forest fires with climatic approach using satellite data in Alborz area Iran, *Journal of spatial analysis environmental hazards*, 2(3), pp 83- 104. [In Persian]
- Janbazghobadi, G. (2019). Investigation of forest fire hazard areas in Golestan province based on fire risk system index (FRSI) using the technique, *Journal of Spatial Analysis environmental hazards*, 6(3), pp 89-102. [In Persian]
- Roodsarabi, Z., Sam Khaniani, A., Kiani, A. (2023), A review of remote sensing methods in identifying and monitoring forest fires, *Iranian Journal of remote sensing & GIS*, 4(56), pp 19- 52. [In Persian]

References (in English)

- Arellano-Pérez, S., Ruiz-González, A. D., Álvarez-González, J. G., Vega-Hidalgo, J. A., Díaz-Varela, R., & Alonso-Rego, C. (2018). Mapping fire severity levels of burned areas in Galicia (NW Spain) by Landsat images and the dNBR index: Preliminary results about the influence of topographical, meteorological, and fuel factors on the highest severity level. *Advances in Forest Fire Research*, 1053-1060.
- Amos, C., Petropoulos, G. P., & Ferentinos, K. P. (2019). Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. *International journal of remote sensing*, 40(3), 905-930.
- Barboza Castillo, E., Turpo Cayo, E.Y., de Almeida, C.M., Salas López, R., Rojas Briceño, N.B., Silva López, J.O., Espinoza-Villar, R. (2020). Monitoring wildfires in the northeastern Peruvian Amazon using Landsat-8 and sentinel-2 imagery in the GEE platform. *International Journal of Geoinformation*, 9, 564- 576.
- Dibs, H., Hasab, H.A., Al-Rifaie, J.K., Al-Ansari, N. (2020). An optimal approach for land-use/land-cover mapping by integration and fusion of multispectral Landsat OLI images: A case study in Baghdad, Iraq. *Water Air Soil Pollution*, 231, 488- 498.
- Epting, J., Verbyla, D., Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing Environment*, 96, 328–339.
- García, M.J.L., Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic mapper data. *Geocarto International*, 6, 31–37.
- Gerard, F., Plummer, S., Wadsworth, R., Sanfeliu, A.F., Iliffe, L., Balzter, H., Wyatt, B. (2003). Forest fire scar detection in the boreal forest with multitemporal spot-vegetation data. *IEEE Trans. Geoscience. Remote Sensing*, 41, 2575–2585.
- Hasmadi, M., Pakhriazad, H.Z., Shahrin, M.F. (2009). Evaluating supervised and unsupervised techniques for land cover mapping using remote sensing data. *Geogr. Malays. Journal of Society and Space*, 5, 1–10.
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing Environment*, 202, 166–176.
- Ip, F., Dohm, J.M., Baker, V.R., Doggett, T., Davies, A.G., Castano, B., Cichy, B. (2004). ASE floodwater classifier development for EO- 1 Hyperion imagery. *Lunar Planet. Sci*, 35, 1–2.
- Liu, C., Frazier, P., Kumar, L. (2007). Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing Environment*, 107, 606–616.
- Liu, S., Zheng, Y., Dalponte, M., Tong, X. (2020). A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data. *Eur. Journal of Remote Sensing*, 53, 104–112.
- Mallinis, G., Gitas, I.Z., Giannakopoulos, V., Maris, F., Tsakiri-Strati, M. (2013). An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. *Journal of Digital Earth*, 6, 124–136.
- McFeeters, S.K., 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal Remote Sensing*, 17, 1425–1432.
- Meneses, B.M. (2021). Vegetation recovery patterns in burned areas were assessed with Landsat 8 OLI imagery and environmental biophysical data. *Fire*, 4, 76-92.
- Nolde, M., Plank, S., Riedlinger, T. (2020). An adaptive and extensible system for satellite-based, large-scale burnt area monitoring in near-real time. *Remote Sensing*, 12, 2162- 2189.
- Oliveira, E.R., Disperati, L., Alves, F.L. (2021). A new method (MINDED-BA) for automatic detection of burned areas using remote sensing. *Remote Sensing*, 13, 5164- 5191.
- Ponomarev, E., Zabrodin, A., Ponomareva, T. (2022). Classification of fire damage to boreal forests of Siberia in 2021 based on the dNBR index. *Fire*, 5, 19- 35.
- Pulvirenti, L., Squicciarino, G., Fiori, E., Fiorucci, P., Ferraris, L., Negro, D., Puca, S. (2020). An automatic processing chain for near real-time mapping of burned forest areas using sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12, 674- 691.
- Roy, D.P., Zhang, H.K., Ju, J., Gomez-Dans, J.L., Lewis, P.E., Schaaf, C.B., Kovalskyy, V. (2016). A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sensing Environment*, 176, 255–271.

این نسخه موقت و قبل چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه

بدون تاریخ و شماره است.

- Saidi, S., Younes, A.B., Anselme, B. (2021). A GIS-remote sensing approach for forest fire risk assessment: Case of Bizerte region, Tunisia. *Applied Geomatic*, 13, 587–603.
- Sanchez, A.H., Picoli, M.C.A., Camara, G., Andrade, P.R., Chaves, M.E.D., Lechler, S., Queiroz, G.R. (2020). Comparison of cloud cover detection algorithms on sentinel-2-2 images of the Amazon tropical forest. *Remote Sensing*, 12, 1284- 1302.
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J., Goossens, R. (2014). Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using airborne imaging spectroscopy (APEX). *Remote Sensing*, 6, 1803–1826.
- Silva, J.M.N., Pereira, J.M.C., Cabral, A.I., Sa', A.C.L., Vasconcelos, M.J.P., Mota, B., Gre'Goire, 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*, 108, 8498- 8522.
- Seydi, S.T. Akhoondzadeh, M., Amani, M., Mahdavi, S. (2021). Wildfire damage assessment over Australia using sentinel-2 imagery and MODIS land cover product within the Google Earth Engine cloud platform. *Remote Sensing*, 13, 220- 246.
- Story, M., Congalton, R.G. (1986). Accuracy assessment: A user's perspective. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 52, 397–399.
- Szpakowski, D.M., Jensen, J.L. (2019). A review of the applications of remote sensing in fire ecology. *Remote Sensing*, 11, 2638- 2652.
- Tanase, M.A., Belenguer-Plomer, M.A., Roteta, E., Bastarrika, A., Wheeler, J., Fernández-Carrillo, Á., Chuvieco, E. (2020). Burned area detection and mapping: Intercomparison of sentinel-1 and sentinel-2 based algorithms over tropical Africa. *Remote Sensing*, 12, 334- 351.
- Trigg, S., Flasse, S. (2001). An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sens*, 22, 2641–2647.
- Veraverbeke, S., Hook, S., Hulley, G. (2012). An alternative spectral index for rapid fire severity assessments. *Remote Sensing Environmental*, 123, 72–80.
- Wang, L., Qu, J.J., Hao, X. (2008). Forest fire detection using the normalized multi-band drought index (NMDI) with satellite measurements. *Agricultural and forest Meteorological*, 148, 1767–1776.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

آماده انتشار (بدون شماره مجله)