Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.14, Issue 45, September 2025

Analyzing land cover changes Due to Wildfires in the Zagros Forest Using a Support Vector Machine (SVM) and its Impact on land surface Temperature (LST) and Spectral Indices NDWI, NDSI, NDVI, and MIDII (Case Study: Khaiz Mountain Forests, Ghachsaran)

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: 10 June 2023
Revised: 09 January 2024
Accepted: 14 February 2024

Keywords:
Land surface temperature, land use, forest fire, NDSI, MIDII, NDWI, Khaiz mountain.

ABSTRACT

Land Surface Temperature (LST) is a critical metric for understanding energy exchange processes influenced by land use and land cover changes. This study aimed to assess the patterns of LST in response to a forest fire on Khaiz Mountain in the Gachsaran region, which covers 68.56 square kilometers. On June 2, 2019, a wildfire ignited and persisted until June 12. During this period, a land use and land cover (LULC) map was produced using a support vector machine (SVM) classification. The study revealed that the forested area, originally spanning 4.61 square kilometers, was reduced to merely 0.42 square kilometers as a result of the fire. Concurrently, the LST index recorded a rise from a range of 26.1 - 53.11 degrees Celsius to 33.2 - 57.23 degrees Celsius, indicating a significant increase of 7 degrees in minimum temperature. Additionally, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) reflected a loss of 9.65 square kilometers of grasslands and forests. The Normalized Difference Snow Index (NDSI) also exhibited an increase of 0.515. A negative correlation was found between the LST and NDVI, evidenced by coefficients of -0.52 on May 25 and -0.31 on June 10. Conversely, the strongest positive correlation of 0.59 was observed between LST and NDSI. The findings demonstrate that the wildfire obliterated 91% of the forest coverage in the area and expanded the extent of barren land from 63.86 square kilometers to 68.07 square kilometers.

Cite this article: Feyzolahpour, M. (2025). Analyzing land cover changes Due to Wildfires in the Zagros Forest Using a Support Vector Machine (SVM) and its Impact on land surface Temperature (LST) and Spectral Indices NDWI, NDSI, NDVI, and MIDII (Case Study: Khaiz Mountain Forests, Ghachsaran). Journal of Natural Environmental Hazards, 14(45), 17-36. DOI: 10.22111/jneh.2024.45880.1971

© Mehdi Feyzolahpour.
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.45880.1971

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

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۵، شماره پیاپی ۳، مهر ۱۴۰۴

تحلیل تغییرات پوشش زمین در اثر آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و تاثیر آن بر دمای سطح زمین (LST) و شاخص‌های طیفی NDWI، NDSI، NDVI و MIDII (منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های کوه خائیز گچساران)

مهدی فیض اله پور[1*]

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

واژه‌های کلیدی:
دمای سطح زمین، کاربری زمین، آتش‌سوزی جنگل، NDSI، MIDII، NDWI، کوه خائیز.

چکیده

دمای سطح زمین (LST) اطلاعات مهمی را در مورد فرآیندهای تبادل انرژی متاثر از کاربری و پوشش زمین فراهم می‌نماید. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی الگوهای LST طی یک دوره زمانی آتش-سوزی جنگل‌های کوه خائیز در منطقه گچساران بوده است. منطقه مورد مطالعه از وسعتی معادل ۶۸/۵۶ کیلومتر مربع برخوردار بوده است. در تاریخ ۲ خرداد ۱۳۹۹ حریقی در این منطقه رخ داده و تا ۱۲ خرداد ادامه داشته است. برای این بازه زمانی با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی (SVM)، نقشه کاربری زمین (LULC) ترسیم شد. نتایج نشان داد که از پهنه جنگلی که معادل ۴/۶۱ کیلومتر مربع بوده، تنها ۰/۴۲ کیلومتر مربع باقی مانده و بقیه در حریق از بین رفته است. شاخص LST در این بازه زمانی از مقادیر حداقل و حداکثر ۲۶/۱ تا ۵۳/۱۱ درجه سلسیوس به ۳۳/۲ تا ۵۷/۲۳ درجه سلسیوس رسیده و افزایش ۷ درجه‌ای را در دمای حداقل نشان می‌دهد. شاخص NDVI نشان از تخریب ۹/۶۵ کیلومتر مربع از پوشش گیاهی و جنگل داشته است. نسبت NDSI نیز به میزان ۰/۵۱۵ افزایش یافته است. بین شاخص LST و NDVI همبستگی منفی برقرار بوده و در روز ۲۵ اردیبهشت و ۱۰ خرداد به‌ترتیب معادل ۰/۵۲- و ۰/۳۱- بوده است. بیشترین همبستگی مثبت نیز به میزان ۰/۵۹ بین LST و NDSI برقرار بوده است. نتایج نشان می‌دهد که آتش‌سوزی باعث تخریب ۹۱ درصد پوشش جنگلی منطقه شده و وسعت زمین‌های بایر را از ۶۳/۸۶ کیلومتر مربع به ۶۸/۰۷ کیلومتر مربع افزایش داده است.

استناد: فیض اله پور، مهدی . (۱۴۰۴). تحلیل تغییرات پوشش زمین در اثر آتش سوزی جنگل های زاگرس با استفاده از ماشین بردار پشتیبانی (SVM) و تاثیر آن بر دمای سطح زمین (LST) و شاخص های طیفی NDWI، NDSI، NDVI و MIDII (منطقه مورد مطالعه: جنگل های کوه خائیز گچساران). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۵)، ۳۶-۱۷. DOI: 10.22111/jneh.2024.45880.1971

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© مهدی فیض اله پور.

*- مهدی فیض اله پور (نویسنده مسئول)

Email: feyzolahpour@znu.ac.ir

مقدمه

تغییرات عمده کاربری زمین به‌شدت چشم اندازها را تغییر داده و باعث کاهش مناطق جنگلی شده و آنها را به قطعاتی با تنوع اکولوژیکی کمتر تبدیل می‌کند. این فرایند نگرانی‌هایی را در مورد مدیریت پایدار کاربری زمین ایجاد کرده است. ویزانی و ملنیزوک[۱] (۲۰۰۹) عنوان کردند که فرایندهای تغییر کاربری زمین مانند جنگل‌زدایی، کشاورزی در مقیاس بزرگ و مدیریت شدید خاک، کیفیت خاک را تغییر داده و بهره‌وری بیولوژیکی و کیفیت محیطی را مختل می‌کند. آلن[۲] و همکاران (۲۰۱۱) خاطر نشان کردند که از بین پارامترهای موثر بر کیفیت خاک، دما عامل مهمی در رشد گیاه بوده و از طریق آن، تبخیر، وضعیت هوادهی و فرایندهای بیوشیمیایی را کنترل می‌کند. ازآنجایی‌که تغییرات دمای خاک به تغییرات کاربری زمین مربوط می‌شود، دمای سطح می‌تواند اطلاعاتی در مورد ویژگی‌های فیزیکی زمین، شرایط آب و هوایی، تغییرات کاربری و فعالیت‌های انسانی ارائه دهد (دوسیت و گارملون[۳]، ۲۰۰۳؛ ونگ[۴] و همکاران، ۲۰۰۴؛ مائو[۵] و همکاران، ۲۰۱۲). از این نظر، تحلیل محیطی در مناطق وسیع را می‌توان از طریق سنجش‌ازدور انجام داد. پردازش و استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور منجر به نتایج قابل‌توجهی در بررسی خاک و گیاه شده است. از طریق سنجش‌ازدور می‌توان دمای سطح مناطق وسیعی را تخمین زده و برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی در کاربری‌های زمین به‌کار برد (جنسن[۶]، ۲۰۰۷). بررسی دما توسط سنجش‌ازدور بر تابش الکترومغناطیسی ساطع‌شده از سطح زمین در محدوده مادون قرمز حرارتی متمرکز شده است (هیلل[۷]، ۲۰۰۴). حسگرهایی که در این ناحیه فعالیت می‌کنند تابش‌هایی را دریافت می‌کنند که از آن می‌توان محصولاتی مانند دمای سطح زمین را استخراج کرد (سابینز[۸]، ۱۹۹۶). دمای به‌دست‌آمده از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای در بسیاری از مطالعات زیست-محیطی، مانند نظارت بر آتش‌سوزی، خاک و زمین‌شناسی استفاده شده است (بون و اونیل[۹]، ۱۹۹۳.، لی[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۳.، سایائو[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۸). در این زمینه، نظارت بر کاربری زمین (LULC) و LST، امری مهم در پایش محیطی یک منطقه به شمار می‌آید. فیضی زاده و همکاران (۲۰۱۳)، ترن[۱۲] و همکاران (۲۰۱۷) و پال و زیاول[۱۳] (۲۰۱۷) تحلیل‌های زمانی را انجام دادند که امکان ارزیابی و رصد بر فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، رشد شهری و گسترش کشاورزی را میسر ساخته است. اخیرا سونگ[۱۴] و همکاران(۲۰۱۸) نشان دادند که از کل تغییرات کاربری زمین در جهان، طی دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۶، ۶۰ درصد با فعالیت‌های مستقیم انسانی و ۴۰ درصد با محرک‌های غیرمستقیم مانند تغییرات آب و هوایی مرتبط بوده است.

1 Vezzani &Mielniczuk
2 Allen et al
3 Dousset & Gourmelon
4 Weng et al
5 Mao et al
6 Jensen
7 Hillel
8 Sabins
9 Bonn & O'Neill
10 Li et al
11 Sayão et al
12 Tran et al
13 Pal & Ziaul
14 Song et al

نقشه‌های LULC و LST[1] در طول سال‌های اخیر امکان شناسایی پویایی چشم‌انداز و همچنین ارزیابی غیرمستقیم رشد اقتصادی و بهره‌برداری از منابع طبیعی را فراهم کرده است. فال[2] و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از نقشه‌های LULC، تغییرات دما را در مقیاس محلی و منطقه‌ای در ایالات‌متحده بررسی کرده و نشان دادند که تغییر کاربری زمین باعث تغییر در گرمای زمین می‌گردد. شهرنشینی و تبدیل زمین‌ها به اراضی بایر، محرک قدرتمندی در تغییر دما درنظر گرفته شده و با شرایط گرمایشی مرتبط می‌باشد. آتش‌سوزی جنگل‌ها یکی از مواردی است که با تغییر پوشش زمین باعث تغییراتی در دمای سطح زمین می‌گردد. این رخداد می‌تواند منشا طبیعی یا انسانی داشته باشد. لازم است که دولت و مقامات محلی با ارائه طرح‌های مدیریت آتش‌سوزی، از منابع طبیعی حفاظت نمایند (کارلسون و بورگان[3]، ۲۰۰۳؛ فرناندز[4] و همکاران، ۲۰۲۱؛ محمدشلوف[5]، ۲۰۰۸؛ الیویرا[6] و همکاران، ۲۰۱۷). این نوع مدیریت‌ها در بر گیرنده واکنش‌های عملیاتی در صورت وقوع آتش‌سوزی می‌باشد (گونس و کوول[7]، ۲۰۰۰؛ منیاس[8] و همکاران، ۲۰۱۲). از طریق نقشه‌های آسیب‌پذیری جنگل‌ها نسبت به آتش‌سوزی می‌توان اقدام به ارزیابی تغییرپذیری مکانی و زمانی خطر آتش‌سوزی نمود (ماویج[9] و همکاران، ۲۰۱۵؛ میلر و آگر[10]، ۲۰۱۳؛ الیویرا و همکاران، ۲۰۱۷؛ تامسون[11] و همکاران، ۲۰۱۵). سیستم‌های مختلفی برای رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی در سراسر جهان ابداع شده است (آلگوور[12] و همکاران، ۲۰۰۳؛ سیرکا[13] و همکاران، ۲۰۱۸). این سیستم‌ها معمولا بر اساس ارزیابی متغیرهای بیوفیزیکی و محیطی و با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف در قالب نقشه‌ها، وقوع و رفتار آتش‌سوزی را مورد بررسی قرار می‌دهند. ازجمله آنها می‌توان به شاخص خطر آتش‌سوزی جنگل مک آرتور (مک آرتور[14]، ۱۹۶۷؛ نوبل[15] و همکاران، ۱۹۸۰)، سیستم رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی ملی ایالات‌متحده (دمینگ[16] و همکاران، ۱۹۷۷) و سیستم شاخص آب و هوای آتش‌سوزی جنگل‌های کانادا (ون واگنر[17]، ۱۹۷۷) اشاره نمود. از این سیستم‌ها به‌طور موثری برای ترسیم خطر آتش-سوزی در چندین منطقه در سراسر جهان ازجمله اروپا استفاده شده است (دگروت و فلانیگان[18]، ۲۰۱۴؛ سان میگوول[19] و همکاران، ۲۰۱۲). ویژگی مشترک شاخص‌های خطر آتش‌سوزی وابستگی آنها به داده‌های هواشناسی می‌باشد (کوویکو[20]، ۲۰۰۳). این امر مبتنی بر این واقعیت است که وقوع آتش‌سوزی توسط میزان رطوبت پوشش گیاهی کنترل شده و به‌وسیله تعامل پوشش گیاهی در خاک سطحی با آب و هوا و توپوگرافی تعیین می‌گردد. در

1 Land surface temperature
2 Fall et al
3 Carlson & Burgan
4 Fernandez et al
5 Mohamed Shaluf
6 Oliveira et al
7 Gunes & Kovel
8 Minas et al
9 Mhawej et al
10 Miller & Ager
11 Thompson et al
12 Allgower et al
13 Sirca et al
14 McArthur
15 Noble et al
16 Deeming et al
17 Van Wagner
18 De Groot & Flannigan
19 San-Miguel
20 Chuvieco

واقع، سیستم‌های رتبه‌بندی خطر آتش‌سوزی، از طریق اندازه‌گیری اقلیمی، میزان رطوبت را مدل‌سازی کرده و سپس از مقادیر محاسبه‌شده برای تولید شاخص‌ها استفاده کرده و وقوع و رفتار آتش‌سوزی جنگل‌ها را پیش‌بینی می‌کنند. اکثر رویکردها برای استفاده از سنجش‌ازدور بر روی شاخص‌های دمای سطح زمین (LST)، شاخص‌های طیفی رطوبت پوشش گیاهی، پراکندگی راداری و اندازه‌گیری غیرمستقیم تنش گیاه متمرکز شده‌اند. سری زمانی شاخص تفاوت نرمال‌شده آب با فصلی بودن وقوع آتش‌سوزی دارای ارتباط می‌باشد (گائو[۱]، ۱۹۹۶؛ هویسکا[۲] و همکاران، ۲۰۱۴). شاخص تفاوت نرمال‌شده آب نیز در ارتباط با تخمین‌های ماهواره‌ای LST برای پیش‌بینی خطر آتش‌سوزی استفاده شده است (عبدالهی و همکاران، ۲۰۱۸). شاخص جهانی رطوبت پوشش گیاهی نیز در ترکیب با LST برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی به‌کار گرفته شده است (سکاتو[۳] و همکاران، ۲۰۰۲.، پن[۴] و همکاران، ۲۰۱۶). پراکندگی برگشتی رادار نیز با وجود تاثیرپذیری از عوامل متعدد، با رطوبت گیاهی و خطر آتش‌سوزی مرتبط می‌باشند (آبوت[۵] و همکاران، ۲۰۰۷.، هانت[۶] و همکاران، ۲۰۱۱.، لیبیون[۷] و همکاران، ۲۰۱۶). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که سری‌های زمانی شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی و LST به‌عنوان نماینده تنش آبی گیاه با وقوع آتش‌سوزی مرتبط هستند (باجوکو[۸] و همکاران، ۲۰۱۵؛ چاودهاری و هاسان[۹]، ۲۰۱۵؛ سلینکسبی[۱۰] و همکاران، ۲۰۲۰؛ یو[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۷). شاخص LST همچنین برای مدلسازی بیلان انرژی، تخمین انرژی گرمایی و پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی استفاده شده است (نولان[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی‌ها نشان می‌دهد که وقوع آتش‌سوزی با ناهنجاری‌های LST مرتبط می‌باشد (متین[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۷؛ مانزو[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۴). رویکردهای بیان‌شده در مورد نقش سنجش‌ازدور بر بررسی خطر آتش‌سوزی جنگل بیشتر بر وقوع آتش‌سوزی متمرکز شده‌اند. با این حال، مدل‌های خطر آتش‌سوزی نه تنها برای پیش‌بینی وقوع آتش‌سوزی بلکه برای ارائه معیاری از مشخصه آتش‌سوزی‌های مورد انتظار نیز به‌کار می‌روند. از این نظر، هر تلاشی برای بهبود مدل‌های خطر آتش‌سوزی نیازمند درک پتانسیل سنجش‌از ور در پیش‌بینی مشخصه-های آتش‌سوزی می‌باشد (روفالت[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۸؛ فلانیگان[۱۶] و همکاران، ۲۰۱۶). هیترمن و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از ماهواره‌های لندست و GEDI پاسخ‌های طیفی و ساختاری پوشش گیاهی را پس از وقوع آتش‌سوزی مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های این پژوهش واکنش‌های طیفی جنگل به آتش‌سوزی را نمایش داده و پتانسیل بالای تصاویر GEDI را در این زمینه نشان می‌دهد. پیفاج و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از داده‌های سنتینل ۲ به بررسی شدت آتش‌سوزی جنگل پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص‌های مبتنی بر تصاویر دو زمانه اطلاعات بیشتری را ازنظر شدت آتش‌سوزی ارائه می‌دهند.

[1] Gao
[2] Huesca et al
[3] Ceccato
[4] Pan et al
[5] Abbott et al
[6] Hunt et al
[7] Leblon et al
[8] Bajocco et al
[9] Chowdhury & Hassan
[10] Slingsby et al
[11] Yu et al
[12] Nolan et al
[13] Matin et al
[14] Manzo et al
[15] Ruffault et al
[16] Flannigan et al

در ایران پژوهش‌های 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 به‌طورکلی 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. فرج زاده و همکاران (۱۳۹۴) به تجزیه‌وتحلیل آتش‌سوزی جنگل با منشا آب و هوایی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه البرز پرداختند. نتایج نشان داد که در روز آتش‌سوزی در سطح زمین استیلای زبانه کم‌فشار 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. جانباز قبادی (۱۳۹۸) بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی (FRSI) و با بهره-گیری از فن GIS اقدام به بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان نمود. نتایج نشان داد که ۹۰ درصد آتش‌سوزی‌های به‌وقوع‌پیوسته 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.

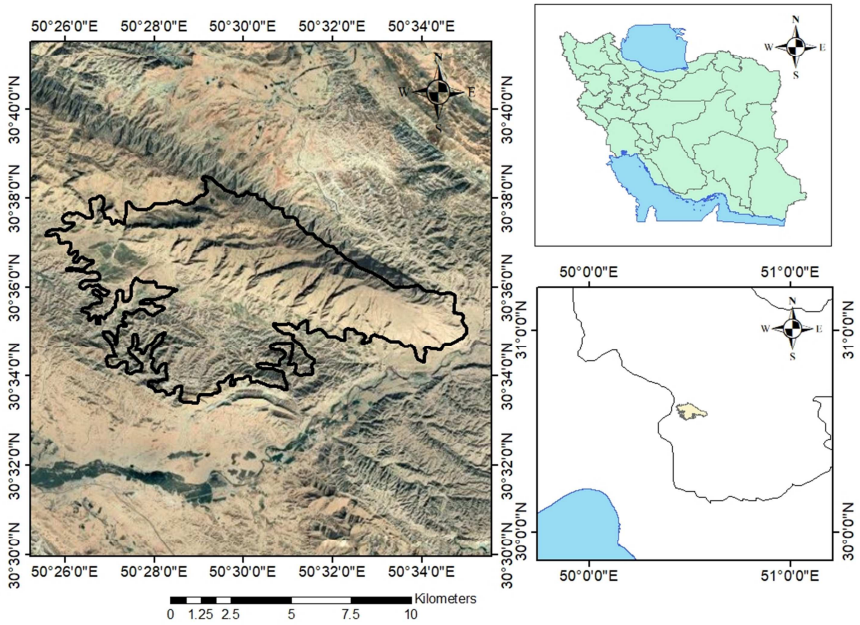
بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی تغییرات دمای سطح زمین توسط تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های زمانی چندگانه به‌عنوان تابعی از شاخص LULC[1] بوده است. به این منظور نقش آتش‌سوزی جنگل بر روی کاربری زمین در دو بازه زمانی قبل و بعد از آتش‌سوزی مورد بررسی قرار گرفته و تغییرات دمای سطح زمین در اثر این رخداد شناسایی شده و ارتباط آن با شاخص‌های MIDII[2]، NDWI[3], NDSI[4] و NDVI[5] مورد بررسی قرار گرفت.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه از تاریخ ۲ خرداد تا ۱۲ خرداد ۱۳۹۹ به‌طور گسترده‌ای دستخوش حریقی بی‌سابقه شد که منجر به تخریب پوشش گیاهی در این منطقه گردید. با وجود گستردگی محدوده جنگلی زاگرس، تنها بخش متاثرشده از آتش‌سوزی انتخاب شد تا بدین وسیله پهنه آتش‌گرفته به خوبی شناسایی گردد. انتخاب منطقه وسیع‌تر می‌توانست

1 Land use land cover
2 MID infrared index
3 Normalized difference water index
4 Normalized difference soil index
5 Normalized difference vegetation index

منجر به نمایش گسترده تصاویر و وضوح پایین گردد. منطقه یادشده در مختصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی در استان کهکیلویه و بویراحمد و در حوالی شهر گچساران در کوه خائیز واقع شده است. این منطقه بخشی از جنگل‌های زاگرس را در خود جای داده و از وسعتی معادل ۶۸/۵۶ کیلومتر مربع برخوردار می‌باشد. وسعت پهنه جنگلی در این محدوده معادل ۴/۶۱ کیلومتر مربع بوده است. این محدوده بر روی دامنه طاقدیسی آهکی واقع شده و در ادامه رشته کوه زاگرس قرار دارد. تشکیل این محدوده در فازهای کوه‌زایی پیرینه، ساوین و پاسادنین تکامل یافته است. ازنظر اقلیمی نیز در فصل گرم سال این منطقه در معرض پر فشار جنب حاره قرار گرفته و شاهد اقلیمی گرم و خشک می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کهکیلویه و بویر احمد. منبع: نویسندگان

تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ شامل محدوده‌های طیفی نوری و حرارتی مادون قرمز از سرویس زمین‌شناسی ایالات-متحده (USGS) دانلود گردید. لندست ۸ حامل سنجنه‌های OLI و TIRS است که داده‌هایی را با وضوح مکانی ۳۰ متر و ۱۰۰ متر ارائه می‌دهد. لندست ۸ دارای دو باند حرارتی است که اولی در محدوده ۱۰۶۰۰ تا ۱۱۱۹۰ نانومتر و دومی در محدوده ۱۱۵۰۰ تا ۱۲۵۱۰ نانومتر قرار دارد (سازمان زمین‌شناسی آمریکا[1]، ۲۰۱۶). در دوره مورد مطالعه دو تصویر انتخاب شدند که یکی مربوط به تاریخ ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹ و دیگری مربوط به تاریخ ۱۰ خرداد ۱۳۹۹ بوده است. تصاویر یادشده مربوط به ناحیه کوهستانی خائیز در منطقه گچساران بوده که در نیمه جنوبی ایران قرار دارد. در این دوره از سال، تصاویر از پوشش ابری کمی برخوردار بوده و این امر مشکل در انتخاب تصویر را به حداقل می‌رساند. به‌علت رخداد آتش‌سوزی در بازه زمانی ۱۰ روزه از ۲ خرداد ۱۳۹۹ تا ۱۲ خرداد ۱۳۹۹، یک تصویر برای قبل از تاریخ آتش‌سوزی و تصویر دیگر برای روز پس از آتش‌سوزی دانلود گردید. برای بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر

[1] USGS

پوشش گیاهی لازم است که کاربری زمین (LULC) برای این دو بازه زمانی ترسیم شود تا بدین وسیله سطح آسیب-دیده از آتش‌سوزی تعیین گردد. بدین منظور، نقشه LULC به‌وسیله ماشین بردار پشتیبانی (SVM[1]) ترسیم می-گردد. برای ترسیم این نقشه، باندهای ۱ تا ۷ ماهواره لندست ۸ با یکدیگر ترسیم شده و تصویر واحدی تولید گردید. بر اساس این نقشه، پهنه‌های آبی، پوشش گیاهی، زمین بایر و جنگل‌ها از تصویر واقعی انتخاب شده و آموزش داده شدند. مقادیر آموزش داده‌شده، ذخیره شده و در بخش ماشین بردار پشتیبانی در نرم‌افزار Arc Gis بارگذاری شده و نقشه نهایی ترسیم شد. با توجه به اندازه هر پیکسل که معادل ۳۰ متر است و تعداد پیکسل‌های هر بخش، می‌توان مساحت هر پهنه آتش‌گرفته را محاسبه نمود. در مرحله بعدی، وضعیت دمای سطح زمین برای قبل و بعد از آتش-سوزی برآورد می‌گردد تا بدین وسیله بتوان تأثیر آتش‌سوزی و تبدیل زمین‌های جنگلی به زمین‌های بایر را بر دمای سطح زمین بررسی نمود.

برای محاسبه دمای سطح زمین (LST)، در ابتدا اعداد دیجیتالی باند حرارتی ۱۰ به درخشندگی در بالای اتمسفر تبدیل شدند. با فرض اینکه تابش یکنواخت بوده و از دمای جسم سیاه برخوردار است، تابش طیفی به دمای روشنایی تبدیل شد (سازمان زمین‌شناسی آمریکا، ۲۰۱۶).

$$L\lambda = ML.DN + AL \quad (۱)$$

در این معادله $L\lambda$ تابش طیفی بالای اتمسفر، ML ضریب مقیاس‌بندی‌شده تشعشعی برای باند ۱۰، DN عدد دیجیتالی و AL ضریب مقیاس‌بندی‌شده افزایش تشعشع برای باند می‌باشد.

برای محاسبه دمای روشنایی از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$TB = \frac{K2}{ln\left(\frac{K1}{L\lambda}+1\right)} \quad (۲)$$

در این معادله TB دمای روشنایی، K1 و K2 ثابت ویژه باند حرارتی هستند که از فایل متادیتای لندست ۸ دانلود شده‌اند و $L\lambda$ تابش طیفی بالای اتمسفر می‌باشد.

انتشار سطح زمین برای تبدیل TB به LST ضروری بوده و با استفاده از روش پیشنهادی سابرینو و راسونی (۲۰۰۰) محاسبه می‌گردد. به این منظور از شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) استفاده می‌شود. شاخص NDVI یک شاخص طیفی است که به‌طور گسترده برای شناسایی وجود پوشش گیاهی سبز در تصاویر ماهواره‌ای به-کار گرفته می‌شود (راس[2] و همکاران، ۱۹۷۴). معادله مربوط به این شاخص به‌صورت زیر می‌باشد:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+1} \quad (۳)$$

در این معادله، NIR مقادیر بازتابی از باند ۵ ماهواره لندست ۸ بوده و معرف طیف مادون قرمز حرارتی می‌باشد. فاکتور R نیز معرف باند ۴ ماهواره لندست ۸ بوده و مقادیر بازتابی از نور قرمز را نشان می‌دهد.

وارونگی تابع پلانک برای تخمین LST مورد استفاده قرار گرفت که از LSE برای تصحیح اختلاف انتشار بین جسم سیاه و اهداف زمینی استفاده می‌کند. ندوسی و آودان[3] (۲۰۱۶) عنوان کرده‌اند که این روش کارامدتر می‌باشد؛ زیرا

1 Support vector machine
2 Rouse et al
3 Ndossi & Avdan

تخمین LST به پارامترهای اتمسفری وابسته نبوده و این امر ممکن است باعث ایجاد خطا گردد. دمای به‌دست‌آمده بر حسب کلیون با تفریق ۲۷۳/۱۵ به مقادیر سلسیوس تبدیل می‌شود.

$$LST = \frac{TB}{1+\left(\frac{\lambda.TB}{P}\right).lnE} \quad (۴)$$

در این معادله، LST دمای سطح زمین، TB درجه روشنایی، λ طول موج تابش ساطع‌شده، P ضریب ثابت به‌دست‌آمده از ضریب پلانک، سرعت نور و ضریب بولتزمن بوده و E از الگوریتم تخمین NDVI به‌دست می‌آید.

در مرحله بعد، بین LST با چهار شاخص طیفی رابطه همبستگی پیرسون برقرار گردید. شاخص NDVI نشان‌دهنده پوشش گیاهی است. شاخص تفاوت نرمال‌شده آب (NDWI) توسط مک فیتر (۱۹۹۶) پیشنهاد شده و نشان‌دهنده نیاز و تنش آبی می‌باشد. شاخص تفاوت نرمال‌شده خاک (NDSI) توسط راجرز و کرنی (۲۰۰۴) پیشنهاد شده و معرف خاک لخت است و شاخص مادون قرمز (MIDII) توسط مادیرا (۱۹۹۳) پیشنهاد شده و معرف علفزارها می‌باشد. معادلات مربوط به این شاخص‌ها به‌صورت زیر است:

$$NDWI = \frac{Green-NIR}{Green+NIR} \quad (۵)$$

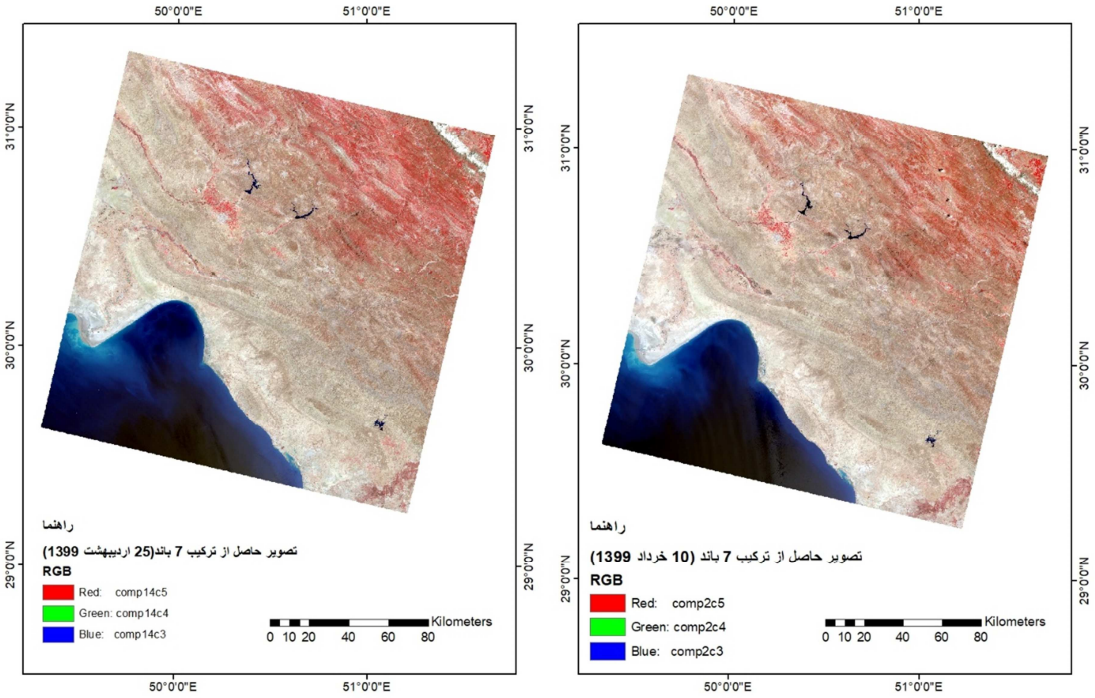
$$NDSI = \frac{SWIR1-NIR}{SWIR1+NIR} \quad (۶)$$

$$MIDII = \frac{SWIR1-SWIR2}{SWIR1+SWIR2} \quad (۷)$$

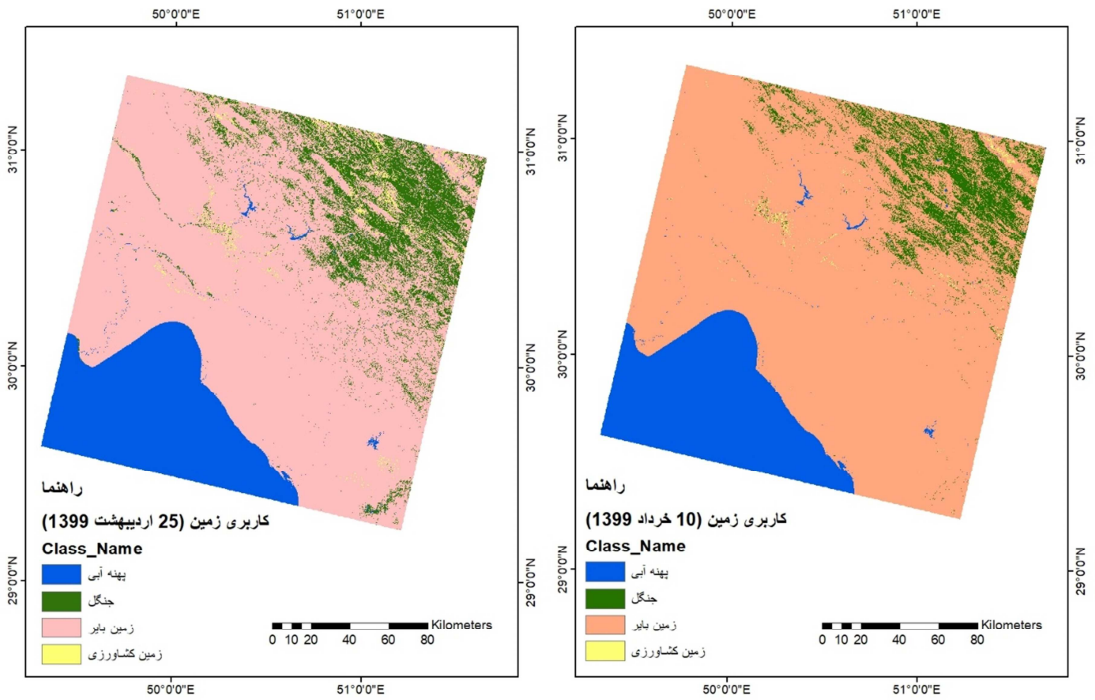
در این معادله Green معرف باند ۳ ماهواره لندست ۸، NIR باند ۵، SWIR1 باند ۶ و SWIR2 باند ۷ ماهواره ۸ می‌باشد.

یافته‌های پژوهش

جنگل‌های زاگرس در سال‌های اخیر شاهد آتش‌سوزی‌های گسترده‌ای بوده که باعث نابودی بخش اعظمی از جنگل‌های ناحیه گشته است. وسعت بعضی از این آتش‌سوزی‌ها در برخی مواقع به حدی بوده که مهار آن چندین روز طول کشیده و با تلفات انسانی همراه بوده است. یکی از گسترده‌ترین آتش‌سوزی‌ها در ۲ خرداد ۱۳۹۹ رخ داده و تا ۱۲ خرداد تداوم داشته و پس از آن با کمک بالگردها مهار شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حجم تخریب پوشش جنگلی فاجعه‌بار بوده است. این آتش‌سوزی در منطقه کوه خائیز در نزدیکی گچساران رخ داده است. برای درک شدت حادثه تصویر ماهواره‌ای قبل و بعد از آتش‌سوزی از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا دانلود گردید. تصویر قبل از حادثه مربوط به ۲۵ اردیبهشت یا ۸ روز قبل از حادثه بوده و تصویر فاقد پوشش ابری قابل‌توجه می‌باشد. تصویر بعد از حادثه نیز مربوط به ۱۰ خرداد بوده که تقریبا مصادف با مهار آتش بوده است. تهیه نقشه کاربری زمین (LULC) برای این تصویر، شدت تخریب را نشان خواهد داد. برای تهیه نقشه LULC از سیستم ماشین بردار پشتیبانی استفاده شده و قبل از برش محدوده، تمامی تصویر اموزش داده شد. بنابراین ۷ باند برای هر تصویر با یکدیگر ادغام شده و کل محدوده به ۴ کاربری پهنه آبی، خاک بایر، اراضی جنگلی و اراضی کشاورزی تقسیم شدند. نقشه مربوط به کاربری‌ها در زیر نشان داده شده است:

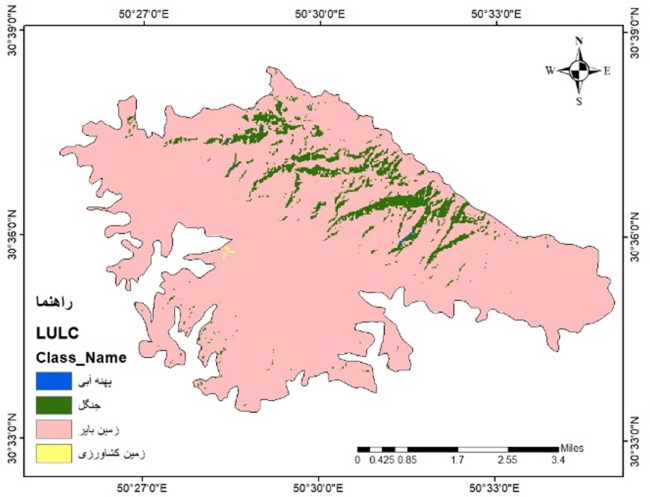


شکل ۲: تصویر حاصل از ترکیب ۷ باند برای ترسیم نقشه کاربری زمین در SVM. منبع: نویسندگان

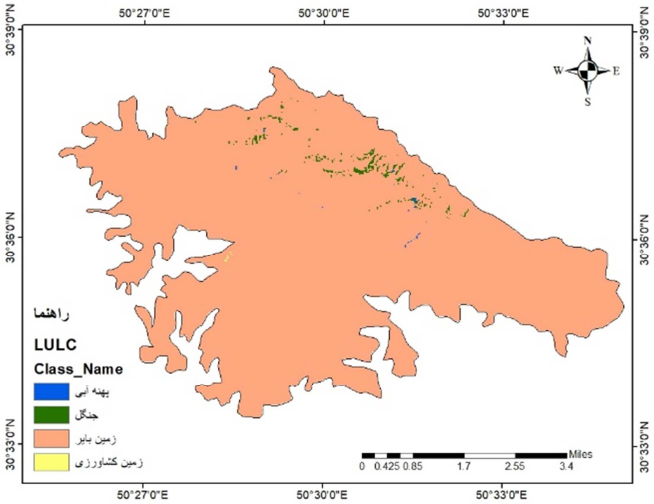


شکل۳: نقشه آموزش داده‌شده برای کل محدوده برای دو بازه مورد بررسی در مدل ماشین بردار پشتیبانی(SVM) . منبع: نویسندگان

نقشه کاربری زمین در ۲۵ اردیبهشت نشان می‌دهد که زمین بایر با وسعتی معادل ۶۳/۸۶ کیلومتر مربع بخش اعظم محدوده را پوشانده است. مساحت کل محدوده معادل ۶۸/۵۶ کیلومتر مربع بوده است، بنابراین ۹۳/۱۴ درصد کل محدوده اختصاص به این کاربری دارد. بیشترین کاربری پس از این نوع کاربری اختصاص به پوشش جنگلی دارد.



شکل ۴: تغییر کاربری زمین در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹



شکل ۵: تغییر کاربری زمین در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹

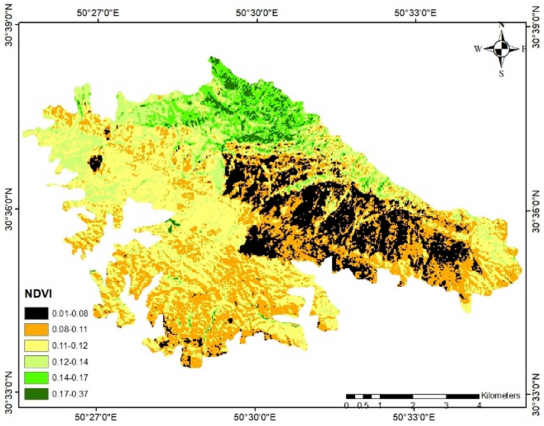
جدول۱: مساحت کاربری زمین در دو بازه زمانی مورد مطالعه

نوع کاربری	۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹	۱۰ خرداد ۱۳۹۹
پهنه آبی	۰/۰۳۴	۰/۰۳۶
زمین بایر	۶۳/۸۶	۶۸/۰۷
جنگل	۴/۶۱	۰/۴۲
زمین کشاورزی	۰/۰۳	۰/۰۱

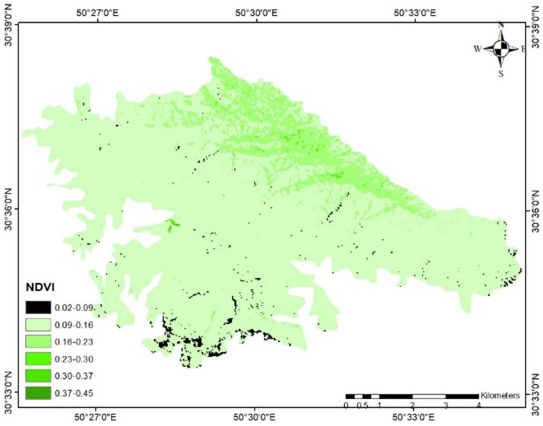
حدود ۴/۶۱ کیلومتر مربع از منطقه با جنگل پوشیده شده است. این پهنه، منطقه‌ای را شامل می‌شود که دچار حریق شده است. این پهنه ۶/۷۲ درصد کل محدوده را در بر می‌گیرد. پهنه‌های آبی و اراضی کشاورزی با حجم ناچیز در رده‌های بعدی قرار دارند (۰/۰۳۴ و ۰/۰۳ کیلومتر مربع). در نقشه کاربری زمین در ۱۰ خرداد ماه، کاربری زمین بعد از آتش‌سوزی مقادیر کاملا متفاوتی را نشان می‌دهد. بیشترین تغییر در پهنه جنگلی رخ داده، بدین‌صورت که وسعت پهنه جنگلی از ۴/۶۱ کیلومتر مربع به ۰/۴۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است. به عبارتی ۴/۱۹ کیلومتر مربع از جنگل کاملا در آتش سوخته است. وسعت پهنه جنگلی از ۶/۷۲ درصد کل محدوده به ۰/۶۱ درصد کل محدوده رسیده است. بنابراین می‌توان چنین عنوان کرد که ۹۱ درصد جنگل‌های کوه خائیز در این آتش‌سوزی از بین رفته است. در مقابل، وسعت زمین‌های بایر از ۶۳/۸۶ کیلومتر مربع به ۶۸/۰۷ کیلومتر مربع افزایش یافته است. مقادیر تخریب جنگل در نقشه LULC کمی متفاوت‌تر از مقادیر حاصل‌شده در شاخص NDVI می‌باشد. کمترین میزان شاخص NDVI در منطقه در بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۸ قرار گرفته است. مقادیر بالا در روز ۲۵ اردیبهشت، مساحتی معادل ۰/۸۸ کیلومتر مربع را پوشش می‌داد. لیکن در روز ۱۰ خرداد مقادیر بالا با افزایش قابل‌توجهی مواجه شده و به ۹/۶۵ کیلومتر مربع رسیده است. منطقه‌ای که با چنین کاهشی مواجه شده، دقیقا با منطقه آتش‌گرفته مطابقت دارد. لیکن وسعت این پهنه با آن مقداری که در نقشه LULC به‌دست‌آمده متفاوت بوده و می‌توان دلیل آن را در تخریب پوشش‌های گیاهی دانست که در بحث آموزش ماشین بردار پشتیبانی در حکم مناطق جنگلی قلمداد نشده است. وسعت منطق تخریب‌شده با افزایش قابل‌توجهی مواجه شده و ۱۴/۰۷ درصد کل وسعت منطقه را شامل می‌شود.

جدول۲: وسعت شاخص پوشش گیاهی NDVI در محدوده مورد مطالعه

نسبت NDVI در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹		نسبت NDVI در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹	
رده‌بندی شاخص	وسعت به کیلومتر مربع	رده‌بندی شاخص	وسعت به کیلومتر مربع
۰/۰۲ – ۰/۰۹	۰/۸۸	۰/۰۱ -۰/۰۸	۹/۶۵
۰/۰۹ – ۰/۱۶	۵۹/۶	۰/۰۸ -۰/۱۱	۲۰/۳
۰/۱۶ -۰/۲۳	۷/۸	۰/۱۱ -۰/۱۲	۲۴/۰۶
۰/۲۳ -۰/۳۰	۰/۱۷	۰/۱۲ -۰/۱۴	۸/۵
۰/۳۰ -۰/۳۷	۰/۰۱	۰/۱۴ -۰/۱۷	۴/۳
۰/۳۷ – ۰/۴۵	۰/۰۰۶	۰/۱۷ -۰/۳۷	۱/۶

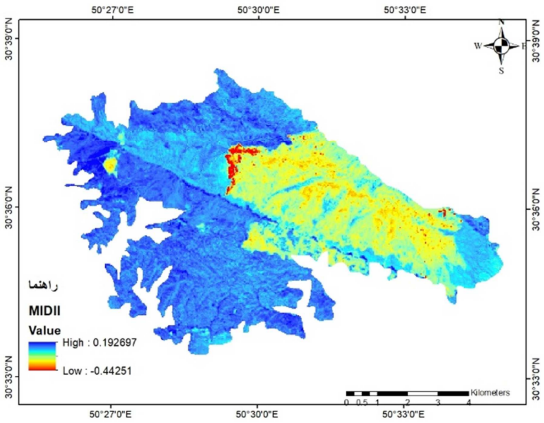


شکل ۶: شاخص NDVI در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹

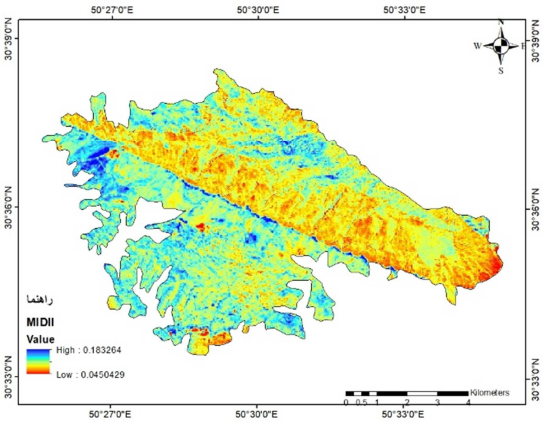


شکل ۷: شاخص NDVI در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹. منبع: نویسندگان

وضعیت بالا را در شاخص MIDII که برای بررسی پوشش گیاهی طراحی شده است، می‌توان به وضوح مشاهده کرد. مقادیر حداقل و حداکثر این شاخص از ۰/۰۴ و ۰/۱۸ در ۲۵ اردیبهشت به ۰/۴۴- و ۰/۱۹ در ۱۰ خرداد رسیده که در این نقشه، محدوده تخریب‌یافته و شدت آن را به وضوح می‌توان مشاهده کرد.

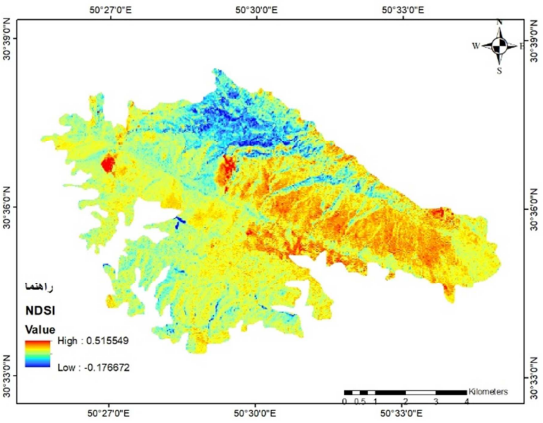


شکل۸: شاخص MIDII در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹

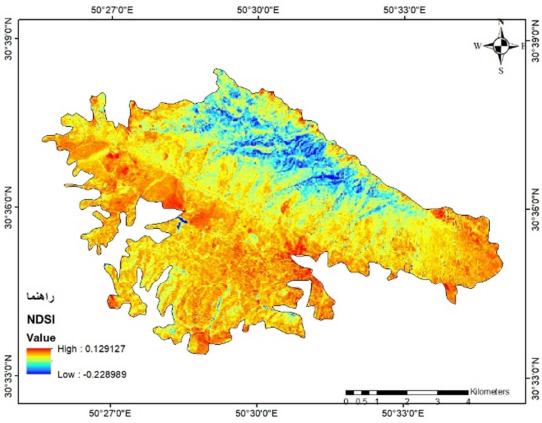


شکل۹: شاخص MIDII در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹. منبع: نویسندگان

در شاخص خاک بایر (NDSI) مشاهده می‌شود که مقادیر حداکثر خاک بایر برای ۲۵ اردیبهشت معادل ۰/۱۲۹ بوده که در ۱۰ خرداد به ۰/۵۱۵ افزایش یافته و افزایش قابل‌توجهی را در پهنه خاک بایر نشان می‌دهد که دقیقا با منطقه تخریب‌شده در اثر آتش‌سوزی مطابقت دارد.

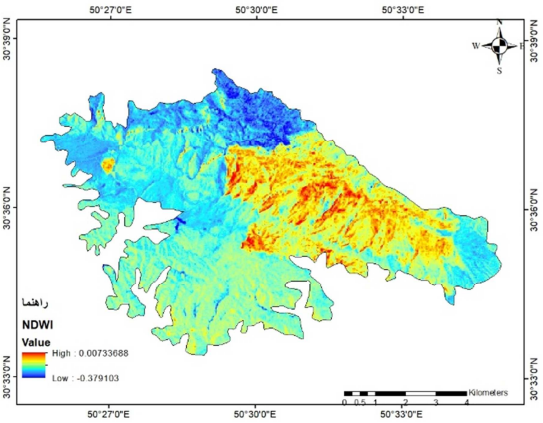


شکل ۱۰: شاخص NDSI در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹

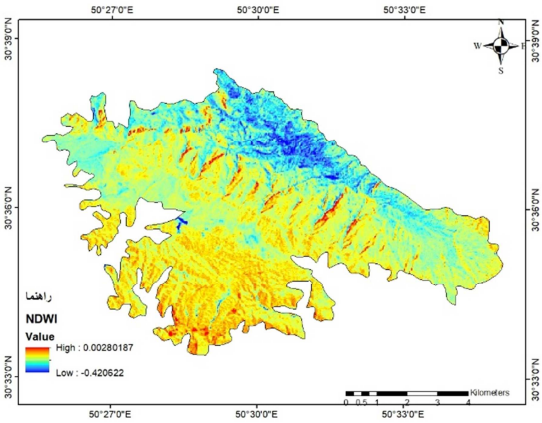


شکل ۱۱: شاخص NDSI در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹ . منبع: نویسندگان

در شاخص چالش آبی (NDWI) مشاهده می‌شود که دامنه‌های شمالی کوه خائیز نسبت به دامنه‌های جنوبی با چالش اب کمتری مواجه بوده‌اند در ۲۵ اردیبهشت، حداقل و حداکثر چالش آبی معادل ۰/۴۲- و ۰/۰۰۲۸ بوده است. در روز پس از خاموشی آتش، مقادیر حداکثر با تغییرات قابل‌توجهی مواجه شده است. مقادیر حداقل به میزان ۰/۳۷۹- رسیده که تغییر چندانی را نشان نمی‌دهد، لیکن بیشترین چالش آبی به میزان ۰/۰۰۷۳ رسیده که افزایش قابل‌توجهی را نشان داده و با پهنه آتش‌گرفته مطابقت دارد.



شکل ۱۲: شاخص NDWI در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹

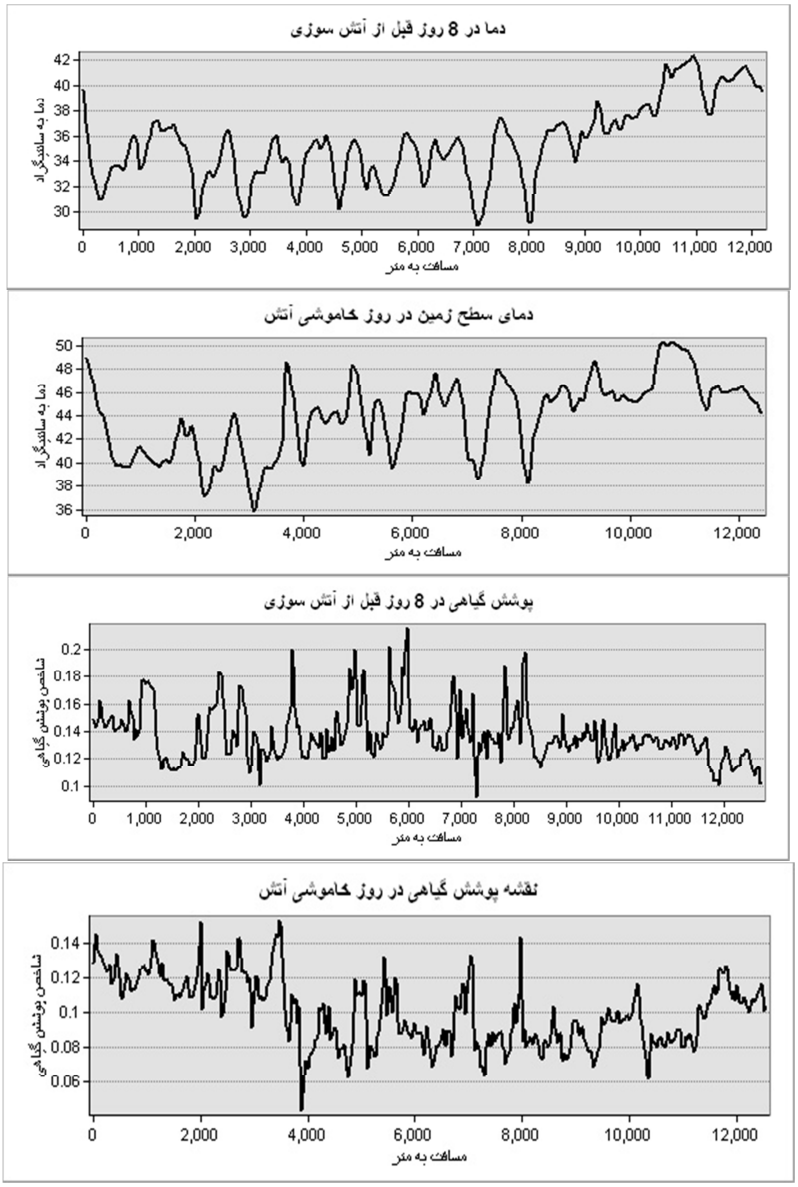


شکل ۱۳: شاخص NDWI در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹. منبع: نویسندگان

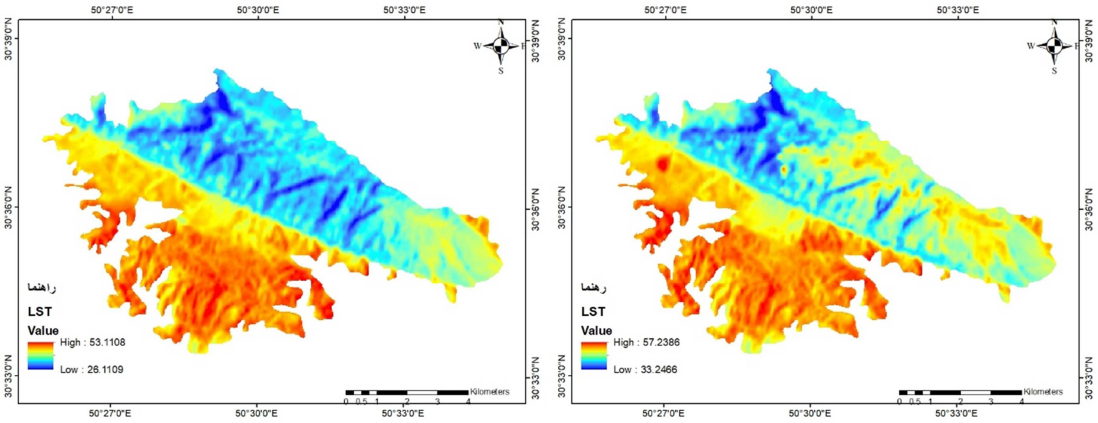
نتایج و بحث

هدف اصلی در این پژوهش بررسی وضعیت دمای سطح زمین در اثر تغییرات کاربری به‌خصوص آتش‌سوزی جنگل در محدوده مورد مطالعه بوده است. منطقه یادشده در نیمه جنوبی ایران و در منطقه گچساران واقع شده است. با توجه به زمان پژوهش که در بین ۲۵ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد بوده، می‌توان انتظار دمای بالایی را داشت. این منطقه به‌صورت طاقدیسی با جهت شمال غربی به جنوب شرقی بوده و خط الراس آن کاملا محدوده دمایی متفاوتی را به‌وجود آورده است که در آن به وضوح مشاهده می‌شود دامنه شمالی خنک‌تر از دامنه جنوبی بوده است. منطقه خنک‌تر با منطقه پوشیده از جنگل مطابقت داشته است. مقادیر حداقل و حداکثر در این روز معادل ۲۶/۱ تا ۵۳/۱۱ درجه

سلسیوس بوده است. در روز ۱۰ خرداد و در روز خاموش شدن حریق جنگل، دمای حداقل و حداکثر به ۳۳/۲ و ۵۷/۲۳ درجه سانتی‌گراد رسیده است. این میزان از نوسان دمایی در محدوده زمانی ۱۶ روز به وقوع پیوسته و در آن دمای حداکثر با افزایش ۴ درجه و دمای حداقل با افزایش ۷ درجه‌ای مواجه شده که در نقشه LST با منطقه‌ای که دچار حریق شده مطابقت دارد. این میزان تغییرات دمایی در دامنه شمالی رخ داده که قبلا معرف مناطق خنک‌تر بوده است. برش مقطعی از تصویر LST و NDVI تغییرات را در دو بازه زمانی قبل و بعد از حریق نشان می‌دهد.



شکل ۱۴: وضعیت دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه. منبع: نویسندگان

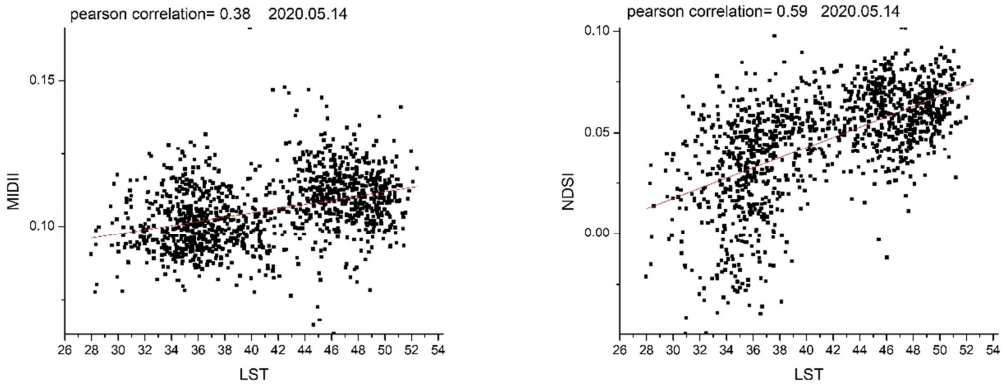


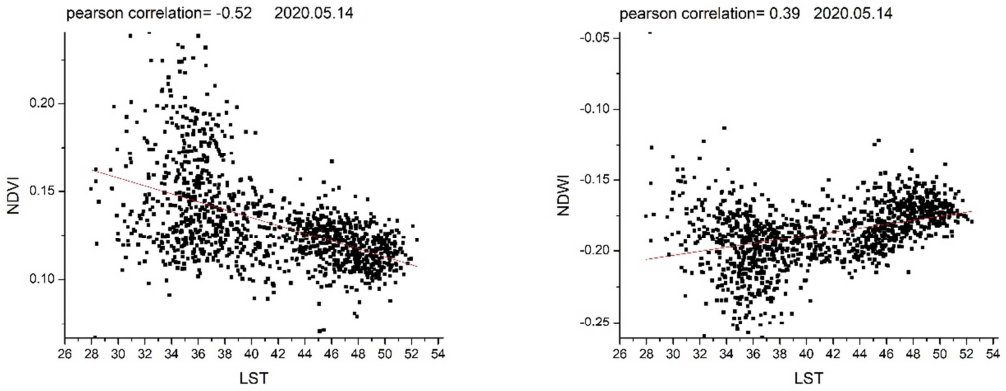
شکل ۱۵: دمای LST در ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹ **شکل ۱۶: دمای LST در ۱۰ خرداد ۱۳۹۹. منبع: نویسندگان**

برای بررسی نقش شاخص‌های مختلف در LST بین این شاخص‌ها و LST مقادیر R^2 و همبستگی پیرسون برآورد گردید. به این منظور ۱۲۱۱ نقطه از تصاویر توسط نرم‌افزار Arc Gis نمونه‌برداری شده و در نرم‌افزار Origin 8 پردازش شد. مقادیر همبستگی‌های روز ۲۵ اردیبهشت متفاوت از روز ۱۰ خرداد است. همبستگی‌های روز قبل از آتش‌سوزی با LST مقادیر قابل‌توجه‌تری را نشان می‌دهد. روز پس از خاموشی حریق، همبستگی‌ها به شکل قابل-توجهی کاهش می‌یابد.

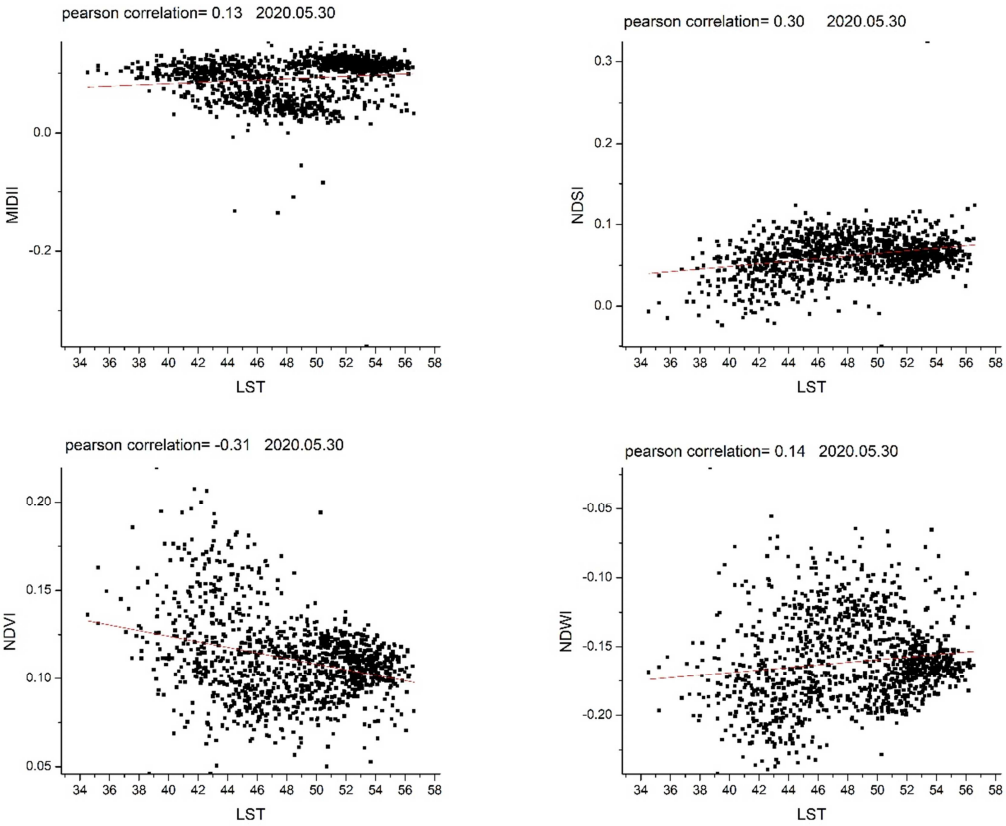
جدول ۳: روابط همبستگی بین LST و شاخص‌های طیفی مورد مطالعه

عنوان شاخص‌ها	۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹		۱۰ خرداد ۱۳۹۹	
	R^2	همبستگی پیرسون	R^2	همبستگی پیرسون
LST و MIDII	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۰۱	۰/۱۳
LST و NDSI	۰/۳۵	۰/۵۹	۰/۰۹	۰/۳۰
LST و NDVI	۰/۲۷	-۰/۵۲	۰/۰۹	-۰/۳۱
LST و NDWI	۰/۱۵	۰/۳۹	۰/۰۲	۰/۱۴





شکل ۱۷: نمودار پراکنش بین LST و شاخص‌های طیفی (۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۹) . منبع: نویسندگان



شکل ۱۸: نمودار پراکنش بین LST و شاخص‌های طیفی (۱۰ خرداد ۱۳۹۹) .

در روز ۲۵ اردیبهشت شاخص NDSI یا زمین بایر با دمای سطح زمین بیشترین همبستگی مثبت را نشان می‌دهد. این میزان معادل ۰/۵۹ برآورد شده است. بیشترین همبستگی منفی نیز بین شاخص NDVI و LST به میزان ۰/۵۲- برآورد شده است. روز پس از خاموشی حریق، همبستگی‌ها به شکل قابل‌توجهی کاهش یافت. برای مثال، مقدار

همبستگی بین تنش آبی از ۰/۳۹ به ۰/۱۴ کاهش یافت. درکل، بین سه شاخص MIDII، NDSI و NDWI با LST همبستگی مثبت و بین NDVI و LST همبستگی منفی برقرار است. مقادیر یادشده در جدول زیر نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر آتش‌سوزی به شکل گسترده‌ای جنگل‌های زاگرس را متاثر ساخته است، لیکن پژوهش‌های جامعی در مورد شدت این آتش‌سوزی‌ها، پهنه متاثر شده و حجم خرابی‌ها انجام نگرفته است. دمای سطح زمین فاکتوری است که از پوشش زمین و نوع کاربری تاثیر می‌پذیرد، لیکن تاثیر هر کاربری متفاوت از کاربری‌های دیگر است. شناخت عملکرد کاربری، رفتار آنها را در دمای سطح زمین نمایان می‌سازد. آتش‌سوزی جنگل‌های زاگرس در محدوده کوه خائیز در ۲ خرداد ۱۳۹۹ آغاز شده و به مدت ۱۰ روز یعنی ۱۲ خرداد ۱۳۹۹ تدوم یافت. بنابراین شرایط کاربری‌ها در روز قبل و بعد از حریق به منظور تغییر کاربری مورد بررسی قرار گرفته و تصاویر لندست ۸ در روز ۲۵ اردیبهشت یعنی ۸ روز قبل از حریق و ۱۰ خرداد یعنی روز اطفا حریق دانلود شده و توسط ماشین بردار پشتیبانی (SVM) آموزش دیده و ترسیم گردید. نتایج نشان داد که از مساحت کل محدوده که معادل ۶۸/۵۶ کیلومتر مربع بوده، ۴/۶۱ کیلومتر مربع اختصاص به جنگل داشته که در اثر این حریق ۹۱ درصد آن کلا تخریب شده و تنها ۰/۴۲ کیلومتر مربع آن باقی مانده و به زمین‌های بایر محدوده اضافه شده است. این میزان تخریب در شاخص NDVI معادل ۹/۶۵ کیلومتر مربع بوده که پوشش گیاهی را نیز شامل شده است. در اثر این رخداد، شاخص NDSI با افزایش قابل‌توجهی روبرو شده و حداکثر میزان آن از ۰/۱۲۹ به ۰/۵۱۵ رسیده و این میزان افزایش در شاخص نیاز آبی (NDWI) نیز مشاهده شد که در آن مقادیر حداکثر از ۰/۰۰۲۸ به ۰/۰۰۷۳ رسید. دمای سطح زمین (LST) نیز متاثر از این عوامل در بازه زمانی ۱۶ روز از مقادیر حداقل و حداکثر ۲۶/۱ و ۵۳/۱۱ درجه به ۳۳/۲ و ۵۷/۲۳ درجه سلسیوس افزایش یافت که در این بین مقادیر حداقل با افزایش ۷ درجه‌ای مواجه گردید. موارد یادشده نشان از نوعی همبستگی بین LST و سایر شاخص‌ها داشته که در این میان بین LST و NDVI همبستگی منفی و بین سایر شاخص‌های NDSI، NDWI و MIDII با شاخص LST همبستگی مثبت برقرار است. نتایج نشان می‌دهد که آتش-سوزی‌ها، جنگل‌های زاگرس را با تخریب قابل‌توجه مواجه ساخته و این امر منجر به افزایش دمای سطح زمین شده 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، ۲۸(۱۱۲)، ۵۳- ۳۳.

جانباز قبادی، غلامرضا. (۱۳۹۸). بررسی مناطق خطر آتش‌سوزی جنگل در استان گلستان بر اساس شاخص خطر آتش‌سوزی (FRSI) با بهره‌گیری از فن (GIS)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶(۳)، ۱۰۲- ۸۹.

رودسرابی، زهره؛ سام خانیانی، علی؛ کیانی، عباس. (۱۴۰۱). مروری بر روش‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور در شناسایی و پایش آتش‌سوزی جنگل، نشریه سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۱۴(۴)، ۵۲- ۱۹.

عابدی قشلاقی، حسن؛ ولی‌زاده کامران، خلیل. (۱۳۹۷). ارزیابی . پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی جنگل با استفاده از فن‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS، مجله مخاطرات محیط طبیعی، ۷(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، ۹(۲)، ۱۰۸- ۱۰۰.

فرج زاده، منوچهر؛ قویدل رحیمی، یوسف؛ مکری، ساحل. (۱۳۹۴). تجزیه‌وتحلیل آتش‌سوزی جنگل با منشا آب و هوایی با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه البرز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۳)، ۱۰۴- ۸۳.

Abbott, K. N., Leblon, B., Staples, G. C., MacLean, D. A., & Alexander, M. E. (2007). Fire danger monitoring using RADARSAT-1 over northern boreal forests. International Journal of Remote Sensing, 28(6), 1317–1338.

Abdollahi, M., Islam, T., Gupta, A., & Hassan, Q. K. (2018). An advanced forest fire danger forecasting system: integration of remote sensing and historical sources of ignition data. Remote Sensing, 10, 923.

Allgöwer, B., Carlson, J. D., & van Wagtendonk, J. W. (2003). Introduction to fire danger rating and remote sensing – Will remote sensing enhance wildland fire danger rating? In E. Chuvieco (Ed.), Wildland Fire Danger Estimation and Mapping - The Role of Remote Sensing Data (pp. 1–19). World Scientific.

Allen, D. E., Singh, B. P., & Dalal, R. C. (2011). Soil health indicators under climate change: A review of current knowledge. In B. P. Singh (Ed.), Soil Health and Climate Change (pp. 25–35). Springer.

Bajocco, S., Guglietta, D., & Ricotta, C. (2015). Modeling fire occurrence at regional scale: does vegetation phenology matter? European Journal of Remote Sensing, 48, 763–775.

Bonn, F. J., & O'Neill, N. T. (1993). Thermal infrared remote sensing of soils: evolution, trends, and perspectives. Remote Sensing Review, 7, 281–302.

Carlson, J. D., & Burgan, R. E. (2003). Review of users' needs in operational fire danger estimation: The Oklahoma example. International Journal of Remote Sensing, 24, 1601–1620.

Ceccato, P., Flasse, S., & Grégoire, J. M. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 82, 198–207.

Chowdhury, E. H., & Hassan, Q. K. (2015a). Operational perspective of remote sensing-based forest fire danger forecasting systems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 224–236.

Chuvieco, E. (2003). Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. World Scientific.

De Groot, W. J., & Flannigan, M. D. (2014). Climate change and early warning systems for wildland fire. In A. Singh & Z. Zommers (Eds.), Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change (pp. 127–151). Springer.

Deeming, J. E., Burgan, R. E., & Cohen, J. D. (1977). The National Fire Danger Rating System - 1978. Ogden.

Dousset, B., & Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58, 43–54.

Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google Earth Engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series. Remote Sensing, 12(1471), 21p.

Fall, S., Niyogi, D., Gluhovsky, A., Pielke Sr, R. A., Kalnay, E., Rochon, G. (2010). Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: assessment using the North American Regional Reanalysis. International Journal of Climatology, 30(13), 1980–1993.

Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. Journal of Environmental Planning and Management, 56, 1290–1315.

Fernandez-Guisuraga, J. M., Suárez-Seoane, S., Calvo, L. (2021). Radiative transfer modeling to measure fire impact and forest engineering resilience in short-term. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 176, 30–41.

Flannigan, M. D., Wotton, B. M., Marshall, G. A., de Groot, W. J., Johnston, J., Jurko, N., & Cantin, A. S. (2016). Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. Climate Change, 134, 59–71.

Gao, B.-C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, 257–266.

Gunes, A. E., & Kovel, J. P. (2000). Using GIS in emergency management operations. Journal of Urban Planning and Development, 126, 136–149.

Hillel, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press.

Huesca, M., Litago, J., Merino-de-Miguel, S., Cicuendez-López-Ocaña, V., Palacios-Orueta, A. (2014). Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26, 363–376.

Hunt, E. R., Li, L., Yilmaz, M. T., & Jackson, T. J. (2011). Comparison of vegetation water contents derived from shortwave-infrared and passive-microwave sensors over central Iowa. Remote Sensing of Environment, 115, 2376–2383.

Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Prentice Hall.

Leblon, B., San-Miguel-Ayanz, J., Bourgeau-Chavez, L., & Kong, M. (2016). Remote sensing of wildfires. In N. Baghdadi & M. Zribi (Eds.), Land Surface Remote Sensing (pp. 55–95). Elsevier.

Li, Z., Tang, B., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-Derived Land Surface Temperature: Current Status and Perspectives. Remote Sensing of Environment, 131, 14–37.

Madeira, N. J. (1993). Etude Quantitative des Relations Constituants Minéralogiques-Réflectance Diffuse des Latosols Brésiliens: Application à l'utilisation Pédologique des Données Satellitaires TM (Région de Brasilia); Pierre et Marie Curie Université.

Manzo-Delgado, L., Aguirre-Gómez, R., & Álvarez, R. (2004). Multitemporal analysis of land surface temperature using NOAA-AVHRR: preliminary relationships between climatic anomalies and forest fires. International Journal of Remote Sensing, 25, 4417–4424.

Mao, D., Wang, Z., Luo, L., & Ren, C. (2012). Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 528–536.

Matin, M. A., Chitale, V. S., Murthy, M. S. R., Uddin, K., Bajracharya, B., & Pradhan, S. (2017). Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information systems, and historical fire data. International Journal of Wildland Fire, 26, 276–286.

McArthur, A. G. (1967). Fire behavior in Eucalypt forests. Canberra: Australia Forestry and Timber Bureau.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425–1432.

Mhawej, M., Faour, G., Adjizian-Gerard, J. (2015). Wildfire likelihood’s elements: A literature review. Challenges, 6, 282–293.

Miller, C., & Ager, A. A. (2013). A review of recent advances in risk analysis for wildfire management. International Journal of Wildland Fire, 22, 1–14.

Minas, J. P., Hearne, J. W., & Handmer, J. W. (2012). A review of operations research methods applicable to wildfire management. International Journal of Wildland Fire, 21, 189–196.

Mohamed Shaluf, I. (2008). Technological disaster stages and management. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 17, 114–126.

Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat. A PyQGIS Plugin. Remote Sensing, 8, 31 p.

Noble, I. R., Bary, G. A. V., & Gill, A. M. (1980). McArthur's fire-danger meters are expressed as equations. Austral Ecology, 5, 201–203.

Nolan, R. H., Resco de Dios, V., Boer, M. M., Caccamo, G., Goulden, M. L., & Bradstock, R. A. (2016). Predicting dead fine fuel moisture at regional scales using vapor pressure deficit from MODIS and gridded weather data. Remote Sensing of Environment, 174, 100–108.

Oliveira, S., Laneve, G., Fusilli, L., Eftychidis, G., Nunes, A., Lourenço, L., Sebastián-López, A. (2017). A common approach to foster prevention and recovery of forest fires in Mediterranean Europe. In B. Fuerst-Bjeliš (Ed.), Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture (pp. 337–361). IntechOpen.

Pal, S., & Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban center. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20(1), 125–145.

Pan, J., Wang, W., & Li, J. (2016). Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China. Natural Hazards, 81, 1879–1899.

Rogers, A. S., & Kearney, M. S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2317–2335.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351 I, 309–317.

Ruffault, J., Martin-StPaul, N., Pimont, F., & Dupuy, J. L. (2018). How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC)? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, 262, 391–401.

Sabins, F. F. (1996). Remote Sensing: Principles and Interpretation (3rd ed.). W.H. Freeman and Company.

San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Giovando, C., Boca, R., Sedano, F., Kempeneers, P., McInerney, D., Whitmore, C., de Oliveira, S. S., Rodrigues, M., Durrant, T., Corti, P., Oehler, F., Vilar, L., & Amatulli, G. (2012). Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). In J. Tiefenbacher (Ed.), Approaches to Managing Disaster - Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts (pp. 87–108). InTech.

Sayão, V. M., Demattê, J. A. M., Bedin, L. G., Nanni, M. R., Rizzo, R. (2018). Satellite land surface temperature and reflectance related to soil attributes. Geoderma, 325, 125–140.

Sirca, C., Salis, M., Arca, B., Duce, P., & Spano, D. (2018). Assessing the performance of fire danger indexes in a Mediterranean area. iForest - Biogeosciences and Forestry, 11, 563–571.

Slingsby, J. A., Moncrieff, G. R., & Wilson, A. M. (2020). Near-real-time forecasting and change detection for an open ecosystem with complex natural dynamics. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 166, 15–25.

Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. International Journal of Remote Sensing, 21(2), 353–366.

Song, X., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. Nature, 560, 639–643.

Thompson, M. P., Haas, J. R., Gilbertson-Day, J. W., Scott, J. H., Langowski, P., Bowne, E., & Calkin, D. E. (2015). Development and application of a geospatial wildfire exposure and risk calculation tool. Environmental Modelling & Software, 63, 61–72.

Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 124, 119–132.

USGS. (2016). Landsat 5 (L5) data users handbook. LSDS-1574 Version. Retrieved from https://landsat.usgs.gov/documents/ on March 1, 2019.

Van Wagner, C. E. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research, 7, 23–34.

Vezzani, F. M., & Mielniczuk, J. (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 33(4), 743–755.

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 89, 467–548.

Yu, B., Chen, F., Li, B., Wang, L., Wu, M. (2017). Fire risk prediction using remotely sensed products: a case of Cambodia. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 83, 19–25.

University of Sistan and Baluchestan

Journal of Natural Environment Hazards

Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385

Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

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), 100- 108. [In Persian]

Abedi Gheshlaghi, 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), 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), 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), 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), 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), 19- 52. [In Persian]

References (in English)

Abbott, K. N., Leblon, B., Staples, G. C., MacLean, D. A., & Alexander, M. E. (2007). Fire danger monitoring using RADARSAT-1 over northern boreal forests. International Journal of Remote Sensing, 28(6), 1317–1338.

Abdollahi, M., Islam, T., Gupta, A., & Hassan, Q. K. (2018). An advanced forest fire danger forecasting system: integration of remote sensing and historical sources of ignition data. Remote Sensing, 10, 923.

Allgöwer, B., Carlson, J. D., & van Wagtendonk, J. W. (2003). Introduction to fire danger rating and remote sensing – Will remote sensing enhance wildland fire danger rating? In E. Chuvieco (Ed.), Wildland Fire Danger Estimation and Mapping - The Role of Remote Sensing Data (pp. 1–19). World Scientific.

Allen, D. E., Singh, B. P., & Dalal, R. C. (2011). Soil health indicators under climate change: A review of current knowledge. In B. P. Singh (Ed.), Soil Health and Climate Change (pp. 25–35). Springer.

Bajocco, S., Guglietta, D., & Ricotta, C. (2015). Modeling fire occurrence at regional scale: does vegetation phenology matter? European Journal of Remote Sensing, 48, 763–775.

Bonn, F. J., & O'Neill, N. T. (1993). Thermal infrared remote sensing of soils: evolution, trends, and perspectives. Remote Sensing Review, 7, 281–302.

Carlson, J. D., & Burgan, R. E. (2003). Review of users' needs in operational fire danger estimation: The Oklahoma example. International Journal of Remote Sensing, 24, 1601–1620.

Ceccato, P., Flasse, S., & Grégoire, J. M. (2002). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 82, 198–207.

Chowdhury, E. H., & Hassan, Q. K. (2015a). Operational perspective of remote sensing-based forest fire danger forecasting systems. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 224–236.

Chuvieco, E. (2003). Wildland Fire Danger Estimation and Mapping. World Scientific.

De Groot, W. J., & Flannigan, M. D. (2014). Climate change and early warning systems for wildland fire. In A. Singh & Z. Zommers (Eds.), Reducing Disaster: Early Warning Systems for Climate Change (pp. 127–151). Springer.

Deeming, J. E., Burgan, R. E., & Cohen, J. D. (1977). The National Fire Danger Rating System - 1978. Ogden.

Dousset, B., & Gourmelon, F. (2003). Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 58, 43–54.

Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F. M., & Trigo, I. F. (2020). Google Earth Engine open-source code for land surface temperature estimation from the Landsat series. Remote Sensing, 12(1471), 21p.

Fall, S., Niyogi, D., Gluhovsky, A., Pielke Sr, R. A., Kalnay, E., Rochon, G. (2010). Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: assessment using the North American Regional Reanalysis. International Journal of Climatology, 30(13), 1980–1993.

Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran. Journal of Environmental Planning and Management, 56, 1290–1315.

Fernandez-Guisuraga, J. M., Suárez-Seoane, S., Calvo, L. (2021). Radiative transfer modeling to measure fire impact and forest engineering resilience in short-term. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 176, 30–41.

Flannigan, M. D., Wotton, B. M., Marshall, G. A., de Groot, W. J., Johnston, J., Jurko, N., & Cantin, A. S. (2016). Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation: climate change implications. Climate Change, 134, 59–71.

Gao, B.-C. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58, 257–266.

Gunes, A. E., & Kovel, J. P. (2000). Using GIS in emergency management operations. Journal of Urban Planning and Development, 126, 136–149.

Hillel, D. (2004). Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press.

Huesca, M., Litago, J., Merino-de-Miguel, S., Cicuendez-López-Ocaña, V., Palacios-Orueta, A. (2014). Modeling and forecasting MODIS-based Fire Potential Index on a pixel basis using time series models. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 26, 363–376.

Hunt, E. R., Li, L., Yilmaz, M. T., & Jackson, T. J. (2011). Comparison of vegetation water contents derived from shortwave-infrared and passive-microwave sensors over central Iowa. Remote Sensing of Environment, 115, 2376–2383.

Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Prentice Hall.

Leblon, B., San-Miguel-Ayanz, J., Bourgeau-Chavez, L., & Kong, M. (2016). Remote sensing of wildfires. In N. Baghdadi & M. Zribi (Eds.), Land Surface Remote Sensing (pp. 55–95). Elsevier.

Li, Z., Tang, B., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-Derived Land Surface Temperature: Current Status and Perspectives. Remote Sensing of Environment, 131, 14–37.

Madeira, N. J. (1993). Etude Quantitative des Relations Constituants Minéralogiques-Réflectance Diffuse des Latosols Brésiliens: Application à l'utilisation Pédologique des Données Satellitaires TM (Région de Brasilia); Pierre et Marie Curie Université.

Manzo-Delgado, L., Aguirre-Gómez, R., & Álvarez, R. (2004). Multitemporal analysis of land surface temperature using NOAA-AVHRR: preliminary relationships between climatic anomalies and forest fires. International Journal of Remote Sensing, 25, 4417–4424.

Mao, D., Wang, Z., Luo, L., & Ren, C. (2012). Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, 528–536.

Matin, M. A., Chitale, V. S., Murthy, M. S. R., Uddin, K., Bajracharya, B., & Pradhan, S. (2017). Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information systems, and historical fire data. International Journal of Wildland Fire, 26, 276–286.

McArthur, A. G. (1967). Fire behavior in Eucalypt forests. Canberra: Australia Forestry and Timber Bureau.

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17, 1425–1432.

Mhawej, M., Faour, G., Adjizian-Gerard, J. (2015). Wildfire likelihood's elements: A literature review. Challenges, 6, 282–293.

Miller, C., & Ager, A. A. (2013). A review of recent advances in risk analysis for wildfire management. International Journal of Wildland Fire, 22, 1–14.

Minas, J. P., Hearne, J. W., & Handmer, J. W. (2012). A review of operations research methods applicable to wildfire management. International Journal of Wildland Fire, 21, 189–196.

Mohamed Shaluf, I. (2008). Technological disaster stages and management. Disaster Prevention and Management: An International Journal, 17, 114–126.

Ndossi, M. I., & Avdan, U. (2016). Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat. A PyQGIS Plugin. Remote Sensing, 8, 31 p.

Noble, I. R., Bary, G. A. V., & Gill, A. M. (1980). McArthur's fire-danger meters are expressed as equations. Austral Ecology, 5, 201–203.

Nolan, R. H., Resco de Dios, V., Boer, M. M., Caccamo, G., Goulden, M. L., & Bradstock, R. A. (2016). Predicting dead fine fuel moisture at regional scales using vapor pressure deficit from MODIS and gridded weather data. Remote Sensing of Environment, 174, 100–108.

Oliveira, S., Laneve, G., Fusilli, L., Eftychidis, G., Nunes, A., Lourenço, L., Sebastián-López, A. (2017). A common approach to foster prevention and recovery of forest fires in Mediterranean Europe. In B. Fuerst-Bjeliš (Ed.), Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture (pp. 337–361). IntechOpen.

Pal, S., & Ziaul, S. K. (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban center. Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20(1), 125–145.

Pan, J., Wang, W., & Li, J. (2016). Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China. Natural Hazards, 81, 1879–1899.

Rogers, A. S., & Kearney, M. S. (2004). Reducing signature variability in unmixing coastal marsh Thematic Mapper scenes using spectral indices. International Journal of Remote Sensing, 25(12), 2317–2335.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351 I, 309–317.

Ruffault, J., Martin-StPaul, N., Pimont, F., & Dupuy, J. L. (2018). How well do meteorological drought indices predict live fuel moisture content (LFMC)? An assessment for wildfire research and operations in Mediterranean ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, 262, 391–401.

Sabins, F. F. (1996). Remote Sensing: Principles and Interpretation (3rd ed.). W.H. Freeman and Company.

San-Miguel-Ayanz, J., Schulte, E., Schmuck, G., Camia, A., Strobl, P., Liberta, G., Giovando, C., Boca, R., Sedano, F., Kempeneers, P., McInerney, D., Whitmore, C., de Oliveira, S. S., Rodrigues, M., Durrant, T., Corti, P., Oehler, F., Vilar, L., & Amatulli, G. (2012). Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). In J. Tiefenbacher (Ed.), Approaches to Managing Disaster - Assessing Hazards, Emergencies and Disaster Impacts (pp. 87–108). InTech.

Sayão, V. M., Demattê, J. A. M., Bedin, L. G., Nanni, M. R., Rizzo, R. (2018). Satellite land surface temperature and reflectance related to soil attributes. Geoderma, 325, 125–140.

Sirca, C., Salis, M., Arca, B., Duce, P., & Spano, D. (2018). Assessing the performance of fire danger indexes in a Mediterranean area. iForest - Biogeosciences and Forestry, 11, 563–571.

Slingsby, J. A., Moncrieff, G. R., & Wilson, A. M. (2020). Near-real-time forecasting and change detection for an open ecosystem with complex natural dynamics. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 166, 15–25.

Sobrino, J. A., & Raissouni, N. (2000). Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: Application to Morocco. International Journal of Remote Sensing, 21(2), 353–366.

Song, X., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. Nature, 560, 639–643.

Thompson, M. P., Haas, J. R., Gilbertson-Day, J. W., Scott, J. H., Langowski, P., Bowne, E., & Calkin, D. E. (2015). Development and application of a geospatial wildfire exposure and risk calculation tool. Environmental Modelling & Software, 63, 61–72.

Tran, D. X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S. W., Caetano, M., Kieu, H. V. (2017). Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 124, 119–132.

USGS. (2016). Landsat 5 (L5) data users handbook. LSDS-1574 Version. Retrieved from https://landsat.usgs.gov/documents/ on March 1, 2019.

Van Wagner, C. E. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research, 7, 23–34.

Vezzani, F. M., & Mielniczuk, J. (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 33(4), 743–755.

Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 89, 467–548.

Yu, B., Chen, F., Li, B., Wang, L., Wu, M. (2017). Fire risk prediction using remotely sensed products: a case of Cambodia. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 83, 19–25.