

ارزیابی مقایسه‌ای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در ارسباران

امید رفیعیان^{۱*}، خلیل ولیزاده کامران^۲، محمد ابراهیم رمضانی^۱ و سجاد مشیری^۳

۱) استادیار گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران و استادیار مرکز تحقیقات مدیریت توسعه پایدار حوضه آبریز دریاچه ارومیه و رودخانه ارس. *پاراناامه نویسنده مسئول مکاتبات: o_rafieyan@yahoo.ca

۲) دانشیار گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۳) دانش آموخته گروه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۵

چکیده

جنگل ارزشمند ارسباران اکوسیستمی پیچیده و پویا است که همواره در معرض آتش‌سوزی‌های گسترده بوده است. هدف تحقیق حاضر بهره‌گیری از فناوری سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های فنی سامانه گوگل ارث‌انجین به منظور تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌های ارسباران بود. به منظور انتخاب روش و نوع ماهواره مناسب از بین سنتینل ۲ و لندست ۸ از شاخص جداپذیری استفاده شد. بر این اساس، از بین شاخص‌های مختلف شناسایی آتش‌سوزی، شاخص تفاضلی RdNBR برای تهیه نقشه نهایی ۹ سال اخیر و تجمعی آتش‌سوزی انتخاب شد. در ارزیابی صحت نقشه حاصل به صورت کمی، ۸۴ درصد نقاط واقعی آتش‌سوزی ثبت شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی در فاصله ۲۰۰ متری پلی‌گون‌های آتش‌سوزی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای قرار گرفتند که نشان‌دهنده صحت بالای نقشه آتش‌سوزی بود. بازدید میدانی نیز تطابق خوبی بین مناطق آتش‌سوزی منتج از پردازش تصاویر ماهواره‌ای با وضعیت موجود منطقه نشان داد. تحقیق حاضر پتانسیل بالای این دو ماهواره و نیز توانایی و امکانات فوق‌العاده سامانه گوگل ارث‌انجین در تامین حجم عظیم داده‌های دورسنجی و پردازش‌های پیشرفته بر روی آنها برای تهیه نقشه‌های وقوع آتش‌سوزی را نشان داد. مزایای لندست ۸ نسبت به سنتینل ۲، داشتن باند حرارتی و سری زمانی بیشتر است. قدرت مکانی و رادیومتری هر دو تقریباً مشابه است و نقیصه فاصله زمانی زیاد تصاویر تکراری در لندست ۸ با ترکیب آن با تصاویر لندست ۹ تا حد زیادی جبران خواهد شد. در نهایت همسو با نتایج تحقیقات مشابه، لندست ۸ در مجموع به سنتینل ۲ ارجحیت دارد. با توجه به فقدان داده‌های مکانی دقیق، صحیح و هم‌مقیاس از منطقه ارسباران، ایجاد یک پایگاه اطلاعات مکانی یکپارچه و بزرگ‌مقیاس پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، ارسباران، سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، گوگل ارث‌انجین.

مقدمه

موضوعات و نگرانی‌ها است (Merino-de-Miguel et al., 2010; Somashekar et al., 2009). بر اساس آمارهای منتشر شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور سالانه صدها مورد آتش‌سوزی در مناطق مختلف ایران رخ می‌دهد (شریعت‌نژاد، ۱۳۸۷). جنگل‌های ارسباران که یکی از

یکی از عوامل محیطی که می‌تواند بر اکوسیستم جنگلی تاثیرگذار باشد آتش‌سوزی است (بانج‌شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Barnes et al., 1997). آتش‌سوزی‌های فزاینده جنگل‌ها و مراتع در سراسر جهان نه فقط از دیدگاه محیط زیست، بلکه از نظر اقتصادی، اجتماعی و امنیتی از اصلی‌ترین

اکوسیستم‌های جنگلی نادر و جز ذخیره‌گاه‌های زیستکره جهان به‌شمار می‌روند از نظر شرایط خاص اکولوژیکی و تنوع فون و فلور منحصر به‌فرد هستند، بنابراین حفاظت و صیانت از این جنگل‌های ارزشمند امری ضروری محسوب می‌شود. با توجه به آتش‌سوزی‌های مکرر در منطقه ارسباران ضروری است در قدم اول نقشه محدوده‌های دچار آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع منطقه در طول سالیان گذشته با دقت و صحت مناسب تهیه شود تا بر اساس داده‌های مکانی یاد شده به رابطه آتش‌سوزی‌ها با عوامل انسانی، فیزیوگرافی، اقلیمی و اکولوژیکی پرداخته شده و در نهایت با مشخص شدن علل و عوامل، به راهکارهای مدیریتی قبل، حین و بعد از آتش‌سوزی دست یافته شود.

از چالش‌های اصلی در استفاده از سنجش از دور، انتخاب سنجنده مناسب برای اهداف مورد نظر است. سنجنده‌های مختلف دارای قدرت تفکیک طیفی، مکانی، زمانی و رادیومتری متفاوتی هستند. دو ماهواره متناسب با هدف تحقیق که امکان دستیابی به آرشیو کامل داده‌های آنها در اینترنت فراهم است، شامل لندست ۸ و سنتینل ۲ برای ارزیابی و مقایسه انتخاب شدند. چالش مهم دیگر در مطالعات دورسنجی، حجم بسیار زیاد تصاویر ماهواره‌ای به ویژه در مطالعاتی است که نیاز به دانلود تصاویر و داده‌های متعدد و پرحجم سری زمانی و پردازش‌های سنگین به دلیل تعدد پارامترهای مورد نیاز برای مطالعات مرتبط با آتش‌سوزی جنگل است. این مشکل توسط سامانه گوگل ارث‌انجین^۱ به شکل مناسبی حل شده است. این سامانه تحت وب، با تهیه بانک اطلاعاتی تصاویر ماهواره‌ای قوی و فرامین ساده، امکان اعمال انواع پردازش‌های سنجش‌از‌دور را بدون دانلود تک‌تک تصاویر فراهم نموده است (Gorelick et al., 2017). این سامانه کاربران را قادر می‌سازد تا بر روی حجم زیادی از داده‌ها (از توان تفکیک مکانی ۱۰ متر تا چند کیلومتر) بدون نیاز به سیستم‌های پر قدرت، محاسبات خود را انجام دهند.

فرج‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) از تصاویر ماهواره‌ای مودیس^۲ و الگوریتم جهانی کشف آتش برای آشکارسازی مکان‌های آتش‌سوزی در جنگل‌ها و مراتع استان مازندران استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد با استفاده از حد‌آستانه ۳۱۰ درجه کلونین

برای باند ۲۲ سنجنده مودیس که برای مقیاس جهانی در نظر گرفته شده است، آتش‌سوزی‌های سرد و کوچک آشکار نمی‌شود. از این رو، از حد آستانه بومی شده استفاده شد. در تحقیق Dasgupta و همکاران (۲۰۰۶)، شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص استعداد آتش‌سوزی معرفی کردند. این شاخص مبتنی بر مفهوم فیزیکی انرژی گرمایی آتش‌سوزی است و می‌توان آن را با استفاده از محتوی رطوبت سوخت^۳ مربوط به چوب‌های زنده و دمای سوخت^۴ اندازه‌گیری کرد. به‌طور کلی این شاخص در پی‌اندازه‌گیری استعداد آتش‌سوزی با توجه به رفتار دمایی سوخت می‌باشد.

در مطالعه‌ای که توسط Veraverbeke و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد، به چندین شاخص طیفی قبل و بعد از آتش‌سوزی برای ارزیابی سوختگی در جنگل‌ها و درختچه‌زارهای آمیخته پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنوب یونان با تصاویر لندست ۵ پرداخته شد. ارتباط بین نتایج حاصل از اعمال شاخص‌های GeoCBI^۵-dNBR در جنگل بیشتر از درختچه‌زار بود. همچنین رابطه نسبتاً قوی‌تری بین شاخص‌های dNBR و GeoCBI به دست آمد. در تحقیق Mallinis و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی رابطه بین سه شاخص میدانی شدت آتش‌سوزی شامل CBI، CBI با ساختار هندسی و CBI وزنی، به همراه شاخص‌های طیفی مشتق شده از سنتینل ۲ و لندست ۸ در یونان پرداخته شد که از شاخص‌های NDVI^۶، NBR^۷، dNBR^۸، RdNBR^۹ و RBR^{۱۰} برای تهیه نقشه آتش‌سوزی استفاده گردید. همبستگی آماری، رابطه قوی‌تری بین dNBR و GeoCBI برای هر دو تصویر سنتینل ۲ و لندست ۸ (r = 0.872) و لندست ۸ (r = 0.845) ارایه داد که کفایت هر دو ماهواره را برای آشکارسازی آتش‌سوزی جنگل‌های مدیترانه‌ای نشان می‌دهد. در مطالعه Konkathi و Shetty (۲۰۲۱) ارزیابی شدت سوختگی و آشکارسازی مناطق سوخته در جنگلی در هندوستان با تصاویر چندطیفی سنتینل ۲ و لندست ۸ در سامانه گوگل ارث‌انجین با استفاده از سه شاخص NBR، Dnbr و RdNBR انجام شد. صحت و دقت آنها با نقاط آتش‌سوزی فعال ارایه شده توسط مودیس و ویرس^{۱۱} مقایسه شدند. هم سنتینل ۲ و هم لندست ۸ زوند مشابهی را

5 Geo Composite Burn Index

6 Normalized difference vegetation index (NDVI)

7 Normalized Burn Ratio (NBR)

8 Difference Normalized Burn Ratio (dNBR)

9 Relative Difference Normalized Burn Ratio (RdNBR)

10 Relative Burn Ratio (RBR)

11 Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)

1 Google Earth Engine (GEE)

2 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

3 Fuel moisture content

4 Fuel temperature

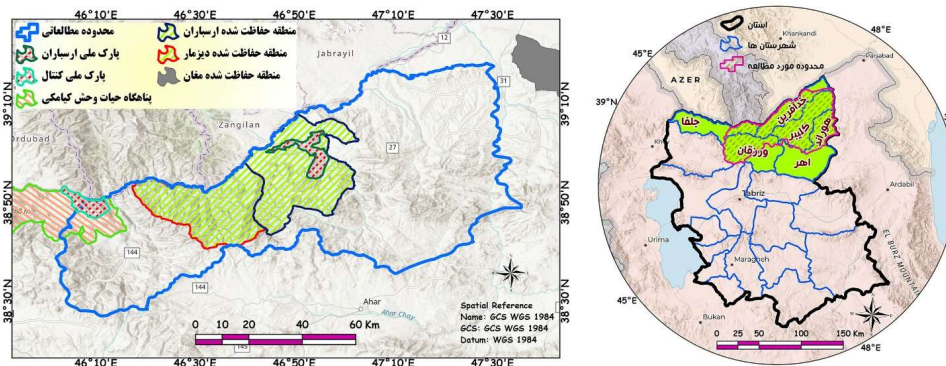
ارزیابی مقایسه‌ای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در ارسباران/۱۳۹۰

آذربایجان شرقی است. با توجه به اینکه موضوع تحقیق بر آتش‌سوزی تمرکز دارد و بسیاری از آتش‌سوزی‌های سالیان اخیر منطقه علاوه بر جنگل‌ها، مراتع منطقه را نیز تحت تاثیر قرار داده است، محدوده‌ای معادل ۶۳۴,۷۱۹ هکتار (حدود ۴ برابر مساحت خالص جنگل‌های ارسباران) مطابق شکل (۱) ملاک عمل قرار گرفت. پارک ملی و منطقه حفاظت شده ارسباران و دیزمار و بخش‌هایی از پارک ملی کنتال و پناهگاه حیات وحش کیامکی در داخل محدوده مطالعاتی قرار گرفتند. دامنه ارتفاعی محدوده مطالعاتی از ۱۸۷ متر در شمال شرقی منطقه تا ۳۲۵۴ متر در قله کنتال (پناهگاه حیات وحش کیامکی) در غرب منطقه را در برمی‌گیرد. مهمترین رودخانه، ارس در مرز شمالی منطقه است که رودخانه‌های سلن‌چای، کلیبرچای، ستن‌چای، ایلگنه‌چای، مردانقوم‌چای و حاجیلرچای به ترتیب از شرق به غرب به رود ارس می‌ریزند.

در نقشه‌برداری شدت سوختگی نشان دادند. شاخص RdnBR منجر به دقت بالایی برای سنتینل ۲ (۶۱/۵۳ درصد) و لندست ۸ (۶۴/۱ درصد) شد. صحت شاخص dNBR برابر با ۴۱/۶۷ درصد برای سنتینل ۲ و ۴۷/۴۴ درصد برای لندست ۸ به دست آمد. با در نظر داشتن تحقیقات پیشین و حساسیت و ارزش اکولوژیکی بالای جنگل‌های ارسباران و وقوع آتش‌سوزی‌های متعدد چند سال اخیر، پژوهش حاضر تلاش می‌کند از به‌روزترین تصاویر ماهواره‌ای و سامانه گوگل‌ارت‌انجین برای اعمال و بومی‌سازی شاخص‌های مناسب آتش‌سوزی در جهت انتخاب مناسب‌ترین داده‌ها برای تولید صحیح‌ترین نقشه‌های وقوع آتش‌سوزی استفاده کند.

مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

ارسباران یا قره‌داغ ناحیه کوهستانی وسیعی در شمال استان



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی در شمال شرقی استان آذربایجان شرقی در پس‌زمینه مرز شهرستان‌ها (راست)، موقعیت مناطق چهارگانه سازمان حفاظت محیط زیست در محدوده مطالعاتی در پس‌زمینه مدل توپوگرافی (چپ)

صورت دو ماهواره همسان 2A, 2B) در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ ماموریت خود را آغاز کردند. این ماهواره دارای سنجنده ابزار چند طیفی (MSI)^۵ متشکل از ۱۳ باند طیفی (۴ باند ۱۰ متری، ۶ باند ۲۰ متری، ۳ باند ۶۰ متری) در محدوده‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز میانی است). سنتینل ۲ به تنهایی از توان تفکیک زمانی ۱۰ روز برخوردار است که پس از پرتاب ماهواره همسان 2B، فاصله زمانی تصاویر تکراری در استوا به ۵ روز و در عرض‌های میانی به ۳ روز می‌رسد. چارچوب ۶ پنجره^۶ سنتینل ۲ به شماره‌های 38SNJ, 38SQJ, 38SPH, 38SPJ, 38SQH, 38SNH و منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند.

داده‌ها و ابزارها

مشخصات ماهواره لندست ۸: ماهواره لندست ۸ دارای دو سنجنده به نام‌های تصویربردار زمینی عملیاتی (OLI)^۱ با ۹ باند طیفی (۸ باند ۳۰ متری و یک باند پانکروماتیک ۱۵ متری) و همچنین سنسور حرارتی مادون‌قرمز (TIRS)^۲ با دو باند ۱۰۰ متری در محدوده طیفی مادون‌قرمز حرارتی با تفکیک زمانی^۳ ۱۶ روز می‌باشد. منطقه مطالعاتی در داخل فریم شماره ۳۳-۱۶۸ لندست ۸ قرار دارد.

مشخصات ماهواره سنتینل ۲: ماهواره‌های سری سنتینل توسط اتحادیه اروپا (مطالعات نظارت بر زمین کوپرنیک^۴)، طراحی و تولید شده‌اند و تاکنون ۶ سری از این ماهواره‌ها به فضا پرتاب شده است. دومین سری از ماهواره‌های سنتینل (به

^۴ Copernicus Land Monitoring Studies

^۵ Multi-Spectral Instrument (MSI)

^۶ Tile/Granule

^۱ Operational Land Imager (OLI)

^۲ Thermal Infra-Red Sensor (TIRS)

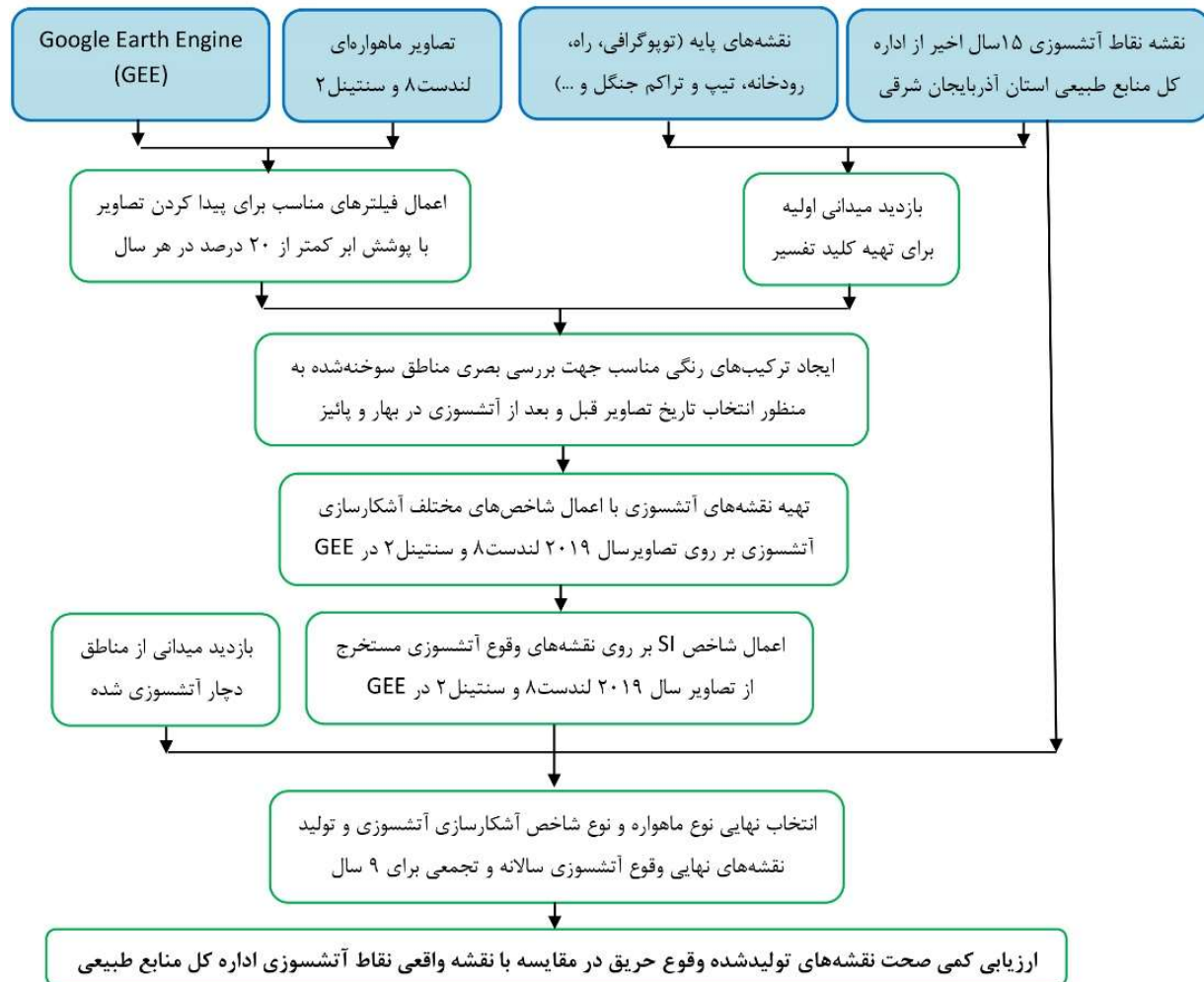
^۳ Temporal Resolution

ایستگاه‌های بارندگی مادون قرمز گروه مخاطرات اقلیمی (CHIRPS)^۲ و داده‌های ارتفاع است (Gorelick *et al.*, 2017).

روش پژوهش

فرآیند روش تحقیق در فلوچارت زیر آمده است. در ادامه به تشریح جزئیات روش کار پرداخته می‌شود.

سامانه گوگل ارث انجین: این سامانه پایگاه عظیمی از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای تا چهل سال پیش را میزبانی می‌کند. این تصاویر که روزانه برداشت می‌شوند، دربرگیرنده یک بانک اطلاعاتی عظیم قابل جستجو شامل کل کاتالوگ‌های ماهواره لندست (USGS/NASA) و سنتینل، همچنین نقشه‌ها و داده‌هایی نظیر برنامه تصاویر کشاورزی ملی آمریکا (NAIP)^۱، بارش، دمای سطح دریا، داده‌های آب و هوایی مربوط به



شکل ۲. فرآیند عملیاتی تحقیق

اکوسیستم‌های مختلف است (Key & Benson, 2006). در سنجش‌ازدور تلاش‌هایی زیادی شده است تا شدت آتش‌سوزی را با استفاده از شاخص‌های طیفی (بدون دخالت باندهای حرارتی) ارزیابی کنند (Kawano *et al.*, 2002). یکی از این شاخص‌ها، نسبت نرمال شده سوختگی (NBR) است که از

تهیه نقشه‌های وقوع حریق بر مبنای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲

یکی از شاخص‌های کیفی که برای آشکارسازی آتش‌سوزی‌ها در تصاویر دورسنجی استفاده می‌شود، شاخص شدت آتش‌سوزی^۳ است. تعاریف شدت آتش‌سوزی متنوع هستند اما عموماً در ارتباط با نحوه تأثیر آتش‌سوزی بر

^۲ Climate Hazards Group Infra-Red Precipitation with Station (CHIRPS)
^۳ Fire Severity

^۱ National Agriculture Imagery Program (NAIP)

ارزیابی مقایسه‌ای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در ارسباران /۱۳۱

رابطه (۵) $BAI = 1/((\rho_{Cred} - \rho_{red})^2 + (\rho_{Cnir} - \rho_{nir})^2)$ پس از اینکه شاخص مذکور بر روی هر دو تصویر قبل و بعد از آتش‌سوزی اعمال شد، می‌توان با استفاده از یک تفاضل ساده بین دو تصویر به دست آمده محدوده دچار حریق شده را به شکل مطلوبی شناسایی کرد. از این شاخص با عنوان dBAI یاد می‌شود.

$$dBAI = BAI_{pre} - BAI_{post} \quad (۶)$$

انتخاب ماهواره و شاخص دورسنجی مناسب تولید نقشه‌های وقوع حریق

پس از اعمال شاخص‌های دورسنجی مختلف بر روی تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸، برای انتخاب ماهواره و شاخص دورسنجی مناسب، از شاخص جداپذیری (SI)^۳ استفاده شد (Kaufman & Remer, 1994; Lasaponara, 2006; Pereira, 1999). شاخص جداپذیری به منظور ارزیابی اثربخشی و انتخاب الگوریتم‌ها و شاخص‌های نهایی برای تهیه نقشه مناطق سوخته استفاده می‌شود که در مطالعات مشابه نیز به کار رفته است (Schepers et al., 2014; Veraverbeke et al., 2011). این شاخص به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$SI = \frac{|\mu_b - \mu_u|}{(\sigma_b \sigma_u)} \quad (۷)$$

مقادیر μ_b و μ_u میانگین باندهای در نظر گرفته شده برای نمونه‌های برداشت شده از مناطق نمونه سوخته و نسوخته است که روی تصاویر مشخص شده‌اند و σ_u و σ_b انحراف معیار باندهای ورودی هستند. صورت کسر، سیگنال تشخیص یا واریانس بین گروهی را نشان می‌دهد، درحالی‌که مخرج کسر، واریانس درون گروهی و اختلاط بین طبقات آسیب‌دیده و بدون تاثیر را متمایز می‌کند (Pereira, 1999). بر این اساس، مقادیر بزرگ‌تر امکان تفکیک خوب را نشان می‌دهند (Veraverbeke et al., 2011). در پژوهش حاضر برای اعمال شاخص جداپذیری، ۱۵۰ نمونه از مناطق دچار حریق شده در سال ۲۰۱۹ و ۱۵۰ نمونه هم از منطقه جنگلی که آتش نگرفته بود، انتخاب شد و مطابق رابطه (۷) بر روی تصاویر حاصل از شاخص‌های مختلف آتش‌سوزی اعمال و مقایسه شد. برای انتخاب تصاویر قبل و بعد از آتش‌سوزی هر سال در محیط سامانه گوگل ارث‌انجین، تصاویر لندست ۸ با پوشش ابر کمتر از ۲۰ درصد و مربوط به ۹ ماه اول سال (بهار، تابستان و پاییز)، انتخاب شده و طی بررسی بصری محدوده منطقه

تقسیم تفاضل باند مادون قرمز میانی از باند مادون قرمز نزدیک بر مجموع آنها محاسبه می‌شود (Key & Benson, 2006).

NBR طبق رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$NBR = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR}} \quad -1 \leq NBR \leq 1 \quad (۱)$$

که در آن NBR شاخص نسبت نرمال شده سوختگی، ρ_{NIR} و ρ_{MIR} نیز به ترتیب انعکاس در باندهای مادون قرمز میانی و مادون قرمز نزدیک می‌باشند. شاخص NBR برای تصاویر قبل و بعد از آتش‌سوزی که نسبت به یکدیگر هم‌مرجع هستند نیز محاسبه می‌شود. پس از اعمال شاخص مذکور بر روی هر دو تصویر قبل و بعد از آتش‌سوزی، می‌توان با استفاده از یک تفاضل ساده بین دو تصویر، محدوده دچار حریق شده را به شکل مطلوبی شناسایی کرد. از این شاخص با عنوان dNBR یاد می‌شود. وجود مقادیر منفی در تصویر خروجی، نشان‌دهنده رشد پوشش‌های گیاهی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده از بین رفتن پوشش‌های گیاهی در منطقه مورد نظر است. هر چقدر مقادیر حاصل، از صفر بزرگ‌تر شود نشان‌دهنده میزان تغییر بزرگتری است که در تصویر و پیکسل‌های موجود اتفاق افتاده است.

$$dNBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad (۲)$$

از دیگر الگوریتم‌های باندهای غیرحرارتی ورژن‌های بهینه شده الگوریتم NBR با عنوان RBR (رابطه ۳) و RdNBR (رابطه ۴) است که نقش بسیار مهمی در برطرف‌سازی محدودیت‌های موجود در شاخص‌های قبلی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر شاخص‌های معرفی شده، از همبستگی و صحت بالاتری با پدیده آتش‌سوزی رخ داده در محیط برخوردارند.

$$RBR = \left(\frac{dNBR}{NBR_{pre} + 1.001} \right) \quad (۳)$$

$$RdNBR = \left(\frac{NBR_{pre} - NBR_{post}}{\sqrt{|NBR_{pre}|}} \right) \quad (۴)$$

از شاخص‌های موثر دیگری که در پژوهش حاضر استفاده شد می‌توان به شاخص مناطق سوخته شده (BAI) و شاخص تفاوت مناطق سوخته شده (dBAI)^۲ اشاره نمود. این الگوریتم به طور آماری پارامترهایی را که بیشترین تفاوت را بین نواحی سوخته شده و سالم دارد، استخراج می‌کند که در آن ρ_{red} و ρ_{NIR} به ترتیب انعکاسات سطحی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک بوده و ρ_{Cred} و ρ_{Cnir} نیز به ترتیب انعکاسات مرجع این باندها هستند.

³ Separability Index (SI)

¹ Burned Area index

² Differenced Burned Area index

نتایج

انتخاب ماهواره و شاخص مناسب جهت تولید نقشه‌های

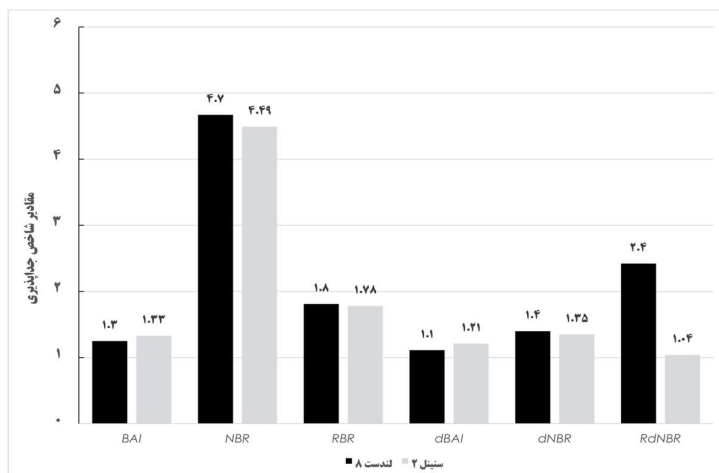
وقوع حریق

چنانچه ذکر شد، در این تحقیق از تصاویر دو ماهواره لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تولید نقشه‌های وقوع حریق استفاده شد. به منظور ارزیابی قابلیت هر کدام و انتخاب تصویر مناسب برای تهیه نقشه‌های نهایی آتش‌سوزی، تصاویر این دو ماهواره برای سال ۲۰۱۹ که از نظر فراوانی وقوع حریق، در رتبه بالایی قرار داشت انتخاب شد و شاخص‌های مختلف آتش‌سوزی تک زمانه یا مستقل (بعد از آتش‌سوزی) شامل BAI و NBR و شاخص‌های دوزمانه یا تفاضلی (قبل و بعد از آتش‌سوزی) شامل dNBR, RBR, dBAI و RdNBR بر روی آنها اعمال شد. برای ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده، از شاخص جداپذیری استفاده شد که در قسمت روش کار تشریح گشت. نتایج به دست آمده از شاخص جداپذیری برای هر یک از شاخص‌های آتش‌سوزی یاد شده، بر روی هر دو نوع تصویر ماهواره‌ای در زیر آمده است که نشان می‌دهد لندست ۸ و شاخص‌های NBR و RdNBR بهترین نتایج و بیشترین صحت را کسب کرده اند (شکل ۳).

مطالعاتی، در ترکیب رنگی باندهای 753 تصویری که بیشترین تعداد آتش‌سوزی را داشت، به عنوان تصویر بعد از آتش‌سوزی لحاظ شد و اولین تصویر مربوط به همان سال که هنوز آتش‌سوزی در آن رخ نداده بود، به عنوان تصویر قبل از آتش‌سوزی انتخاب و شاخص یاد شده بر روی آن اعمال گردیده و نقشه حریق سال مذکور تولید شد.

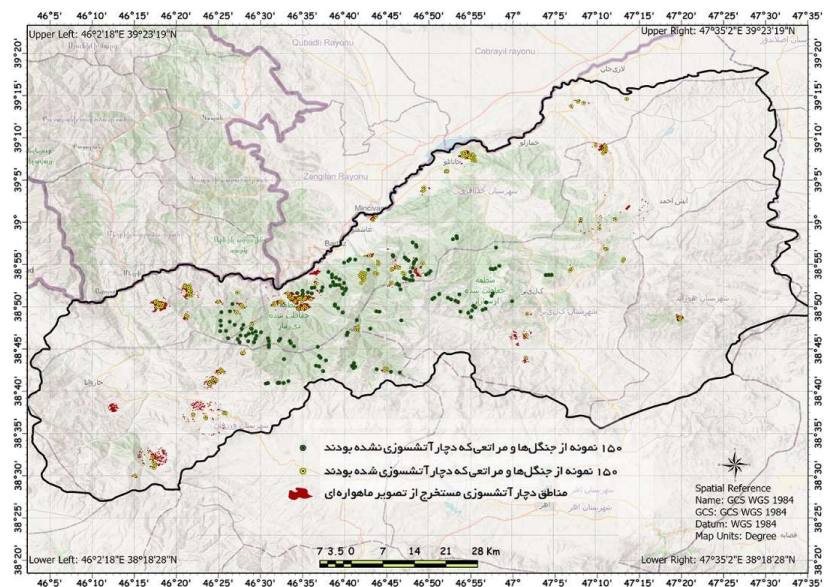
ارزیابی صحت نقشه نهایی وقوع آتش‌سوزی

به منظور ارزیابی کمی صحت، نقشه وقوع آتش‌سوزی مستخرج از تصویر ماهواره‌ای، با نقشه منتج از ۱۱۴ نقطه آتش‌سوزی ثبت شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی (به عنوان نقشه واقعیت زمینی) مقایسه شد. علی‌رغم نمود واضح مناطق دچار آتش‌سوزی در تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۶)، به منظور اطمینان بیشتر و اثبات عینی و مستندسازی مناطق سوخته شده و نیز بررسی آثار باقی مانده و سرعت احیا جنگل و مرتع، در مناطق منتخب بازدید میدانی انجام شد. به این منظور پلی‌گون‌های آتش‌سوزی سه سال اخیر بر روی تصویر ماهواره‌ای رنگی قرار گرفت و پرینت رنگی با هدف تطابق با طبیعت تهیه شد و با حضور در نقاط مزبور، محدوده‌های آتش‌سوزی نمایان شده در تصویر ماهواره‌ای در عرصه راستی آزمایی شدند.



شکل ۳. نتایج شاخص جداپذیری برای شاخص‌های اعمال شده مستقل و تفاضلی آتش‌سوزی در تصویر لندست ۸ و سنتینل ۲

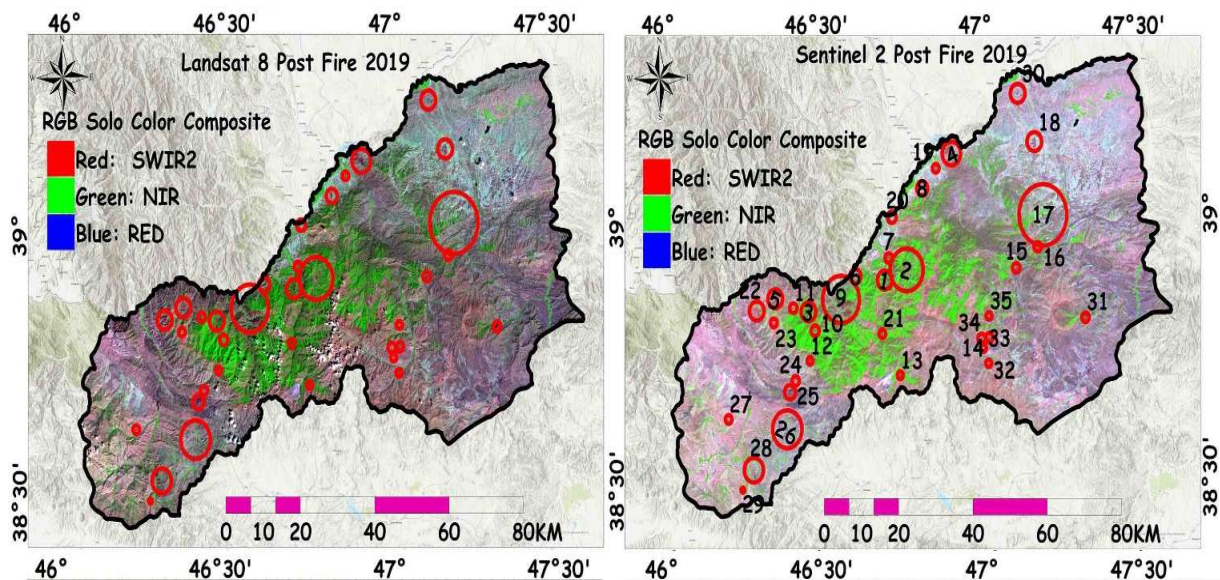
ارزیابی مقایسه‌ای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در ارساران/۱۳۳



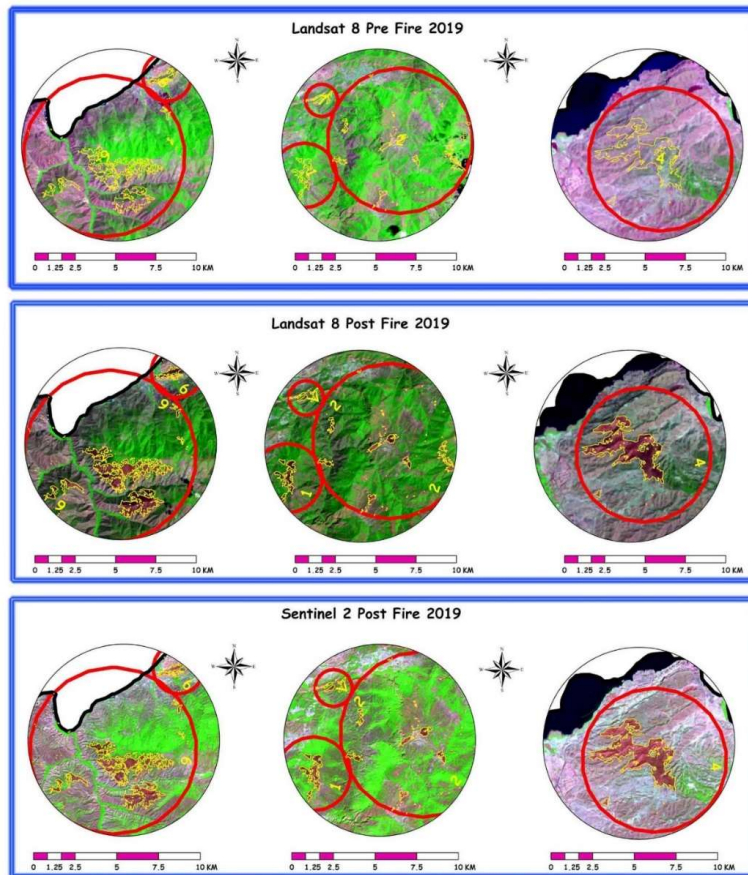
شکل ۴. موقعیت نمونه‌های منتخب از مناطق دچار آتش‌سوزی شده و نشده برای محاسبه شاخص جداپذیری در هر یک از دو تصویر ماهواره‌ای

منطقه در پس زمینه تصویر لندست ۸ و در ردیف پایین آن، محدوده مناطق سوخته شده هر سه منطقه در پس زمینه تصویر سنتینل ۲ به وضوح نمایان شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در هر دو تصویر ماهواره‌ای محدوده مناطق آتش‌سوزی به خوبی آشکارسازی و تفکیک شده است.

در شکل (۵)، موقعیت ۳۵ منطقه آتش‌سوزی در سال ۲۰۱۹ در پس زمینه تصویر سنتینل ۲ و لندست ۸ نشان داده شده است. در شکل (۶) برای نمونه، سه منطقه آتش‌سوزی با بزرگ‌نمایی بیشتر نمایش داده شده است. مطابق شکل مذکور، در ردیف بالا تصاویر لندست ۸ قبل از آتش‌سوزی برای سه منطقه نمونه آمده است. در ردیف دوم محدوده مناطق سوخته شده هر سه



شکل ۵. موقعیت ۳۵ منطقه آتش‌سوزی مربوط به سال ۲۰۱۹ در پس‌زمینه تصویر سنتینل ۲ (راست) و لندست ۸ (چپ)



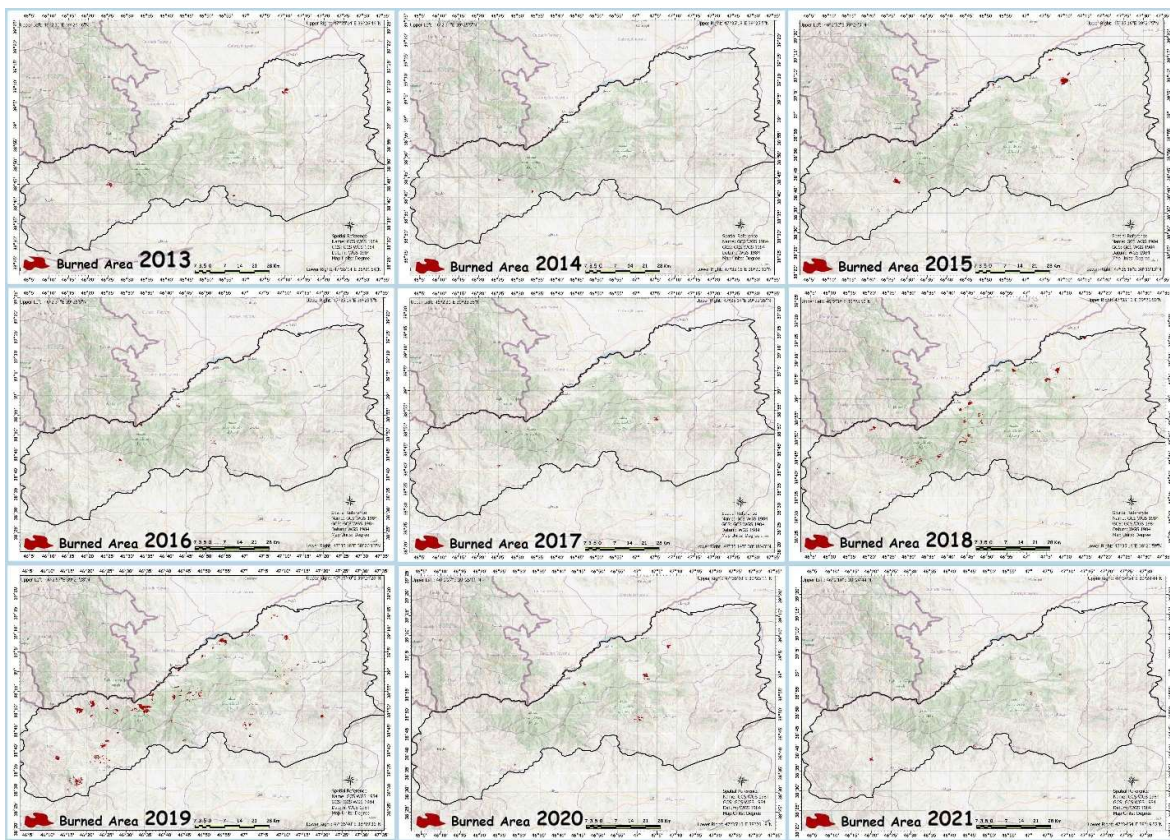
شکل ۶. نمایش سه نمونه از مناطق دچار آتش‌سوزی شده در سال ۲۰۱۹ در تصویر سنتینل ۲ (پایین)، لندست ۸ (وسط)، تصویر قبل از آتش‌سوزی (بالا). محدوده‌های آتش‌سوزی در هر سه تصویر رقومی با رنگ زرد نمایش داده شده‌اند.

محترم ادارات منابع طبیعی، به دلیل خطرات موجود حین حریق، طبیعتاً از کانون آتش‌سوزی نبوده و از فواصل مختلف توسط GPS ثبت گردیده است، بافر ۱۰۰ و ۲۰۰ متری برای نقاط مذکور اعمال شد و با پلی‌گون‌های آتش‌سوزی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شد. بر این اساس ۵۹ نقطه (۵۲ درصد) در فاصله ۱۰۰ متری و ۹۶ نقطه (۸۴ درصد) در فاصله ۲۰۰ متری پلی‌گون‌های آتش‌سوزی قرار گرفتند که نشان‌دهنده همخوانی خوب نقشه آتش‌سوزی با واقعیت زمینی بود.

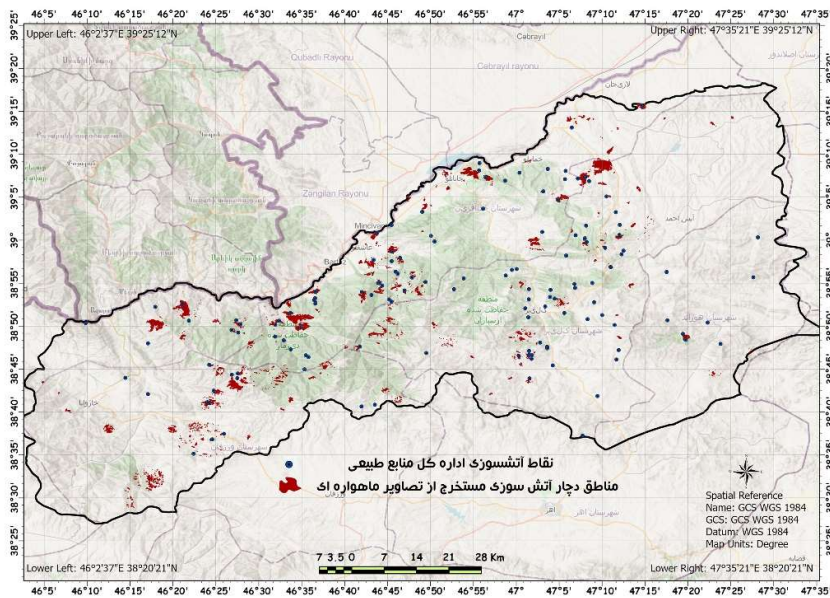
ارزیابی کمی صحت نقشه‌های وقوع حریق منتج از لندست ۸

در ادامه نقشه‌های آتش‌سوزی ۹ سال اخیر به تفکیک و در نهایت نقشه تجمعی آتش‌سوزی در این مدت آمده است. مقایسه نقشه حاصل با نقاط واقعی دچار آتش‌سوزی نشان می‌دهد که از ۱۱۴ نقطه آتش‌سوزی اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی، ۲۲ نقطه (۱۹ درصد) در داخل مناطق آتش‌سوزی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای واقع شده‌اند. با فرض اینکه ثبت نقاط آتش‌سوزی توسط کارشناسان

ارزیابی مقایسه‌ای تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ برای تهیه نقشه وقوع آتش‌سوزی در ارسباران/۱۳۵



شکل ۷. نقشه‌های وقوع آتش‌سوزی در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (پلی‌گون‌های قرمز)



شکل ۸. نقشه وقوع آتش‌سوزی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای (پلی‌گون‌های قرمز) در مقایسه با نقشه نقاط آتش‌سوزی اداره کل (نقاط آبی)

بحث و نتیجه گیری

شهرستان‌های خدافرین و کلیبر اتفاق افتاده و شهرستان‌های ورزقان، جلفا، هوراند و اهر در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به بازدید میدانی انجام شده، به‌طور تقریبی تمام مناطق منتخب دچار حریق شده سه سال اخیر با پوشش جنگلی مطابق تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، آثار آتش‌سوزی در تاج و تنه درختان یافت شد. اما در مناطق مرتعی که مطابق نقشه‌های آتش‌سوزی تولید شده یک تا سه سال اخیر آثار آتش‌سوزی از بین رفته بود. اما مطابق مستندات و اظهارات کارشناسان محلی، آتش‌سوزی در تاریخ و محل مورد نظر به اثبات رسیده بود. طبق مشاهدات میدانی، برخی از گونه‌های درختی مانند ارس، در مقابل آتش‌سوزی (بسته به شدت و مدت آتش‌سوزی) توان مقاومت نداشته و کاملاً از بین رفته‌اند و پس از دو سه سال هنوز امکان تجدیدحیات پیدا نکرده‌اند و در عین حال برخی از همان گونه‌ها به دلیل اطفای سریع حریق، نیمی از شاخه‌های خود را از دست داده‌اند، اما همچنان در حال حیات و ادامه رشد هستند. آنچه مسلم است در مراتع، بازیابی و احیا طبیعی با پوشش علفی متراکم، در همان یک‌سال اول بعد از آتش‌سوزی چشمگیر بوده و در صورت قرق و عدم دخالت آثار آتش‌سوزی محو شده و رو به کلیماکس پیش می‌رود.

در خصوص مزایا و محدودیت‌های دو ماهواره مذکور می‌توان گفت که لندست ۸ دو سال قبل از اولین سنتینل ۲ پرتاب شده است و دوره زمانی بیشتری را پوشش می‌دهد. لندست ۸ از نظر قدرت طیفی در مقایسه با ماهواره سنتینل ۲ دارای باند حرارتی می‌باشد. از نظر قدرت مکانی و رادئومتری نیز با ماهواره سنتینل ۲ تقریباً از عملکرد یکسانی برخوردار است (Veraverbeke et al., 2010). یکی دیگر از مزیت‌های مهم لندست ۸ نسبت به سنتینل ۲ از نظر سری زمانی است، ماهواره‌های سری لندست ۴، ۵، ۷، ۸ و ۹ از سال ۱۹۸۲ تا کنون (۳۷ سال) تصویربرداری می‌کنند. محدودیت مهم ماهواره لندست ۸ در مطالعات آتش‌سوزی نسبت به سایر ماهواره‌ها از بعد توان تفکیک زمانی می‌باشد. با توجه به اینکه ناحیه اپتیک از اتمسفر تاثیر می‌پذیرد بعضی از تصاویر لندست دارای ابر می‌باشد و این چرخه زمانی هر ۱۶ روز یک‌بار در لندست باعث می‌شود خیلی از تصاویر به دلیل داشتن ابر برای مطالعات آتش‌سوزی به‌ویژه در سطح وسیع قابل استفاده نباشند. البته تصاویر لندست ۹ در تلفیق با لندست ۸، این دوره تکرار را به ۸

برای تهیه نقشه آتش‌سوزی جنگل، شاخص‌های مختلفی بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد و برای مقایسه، از شاخص جداپذیری استفاده شد. از بین شاخص‌های مختلف، شاخص تفاضلی «RdNBR» برای تهیه نقشه نهایی آتش‌سوزی تجمعی نیز به‌دست آمد. در تحقیق Konkathi و Shetty (2021) شاخص تفاضلی RdNBR و سپس dNBR عملکرد بهتری نشان دادند. در تحقیقات مشابه دیگری همین شاخص‌ها بهترین رتبه را داشتند (Miller et al., 2009; Veraverbeke et al., 2011). مطابق شکل (۳)، دلیل استفاده نکردن از شاخص NBR علی‌رغم کسب شاخص جداپذیری بالاتر این است که شاخص مذکور از شاخص‌های مستقل آشکارسازی آتش‌سوزی بوده و برای تهیه نقشه تنها یک مقطع زمانی خاص کاربرد دارد و برای شناسایی آتش‌سوزی‌های واقع شده در طول سال یا سال‌های متمادی، به دلیل از بین رفتن آثار آتش‌سوزی با جایگزینی گونه‌های علفی و بوته‌ای به‌ویژه در مراتع با محدودیت روبه‌رو بوده است (Veraverbeke et al., 2010).

از بین دو ماهواره سنتینل ۲ و لندست ۸، به دلیل ماهیت پژوهش حاضر که به سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای در ۹ سال اخیر می‌پردازد و همچنین نتایج تحقیقات پیشین، تصویر «لندست ۸» برای تهیه نقشه آتش‌سوزی جنگل و مرتع مربوط به ۹ سال (۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰) انتخاب شد. در تحقیق Konkathi و Shetty (2021) هم سنتینل ۲ و هم لندست ۸ صحت مشابهی را در نقشه‌برداری شدت سوختگی در جنگل‌های هندوستان نشان دادند (لندست ۸ اندکی بهتر بود). همچنین Mallinis و همکاران (2018) نتایج مشابهی از ارزیابی صحت تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در آتش‌سوزی جنگل‌های کاج مدیترانه‌ای یونان و Veraverbeke و همکاران (2011) در جنگل‌ها و درختچه‌زارهای آمیخته پهن‌برگ و سوزنی‌برگ جنوب یونان با تصاویر Landsat-5 TM به‌دست آوردند.

در ارزیابی صحت به صورت کمی، ۸۴ درصد نقاط آتش‌سوزی ثبت شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی، در فاصله ۲۰۰ متری پلی‌گون‌های آتش‌سوزی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای قرار گرفتند که نشان‌دهنده صحت بالای نقشه آتش‌سوزی بود. مطابق هر دو نقشه مذکور، حدود سه‌چهارم آتش‌سوزی‌ها در محدوده

صنایع چوب و کاغذ کشور. مجموعه مقالات اولین همایش ملی تامین مواد اولیه صنایع چوب و کاغذ کشور، دانشگاه گرگان، ۱۲ صفحه.

فرج‌زاده، م.، قويدل‌رحيمي، ی. و مكري، س. (۱۳۹۴) تجزيه و تحليل آتش‌سوزی جنگل با منشا آب و هوايي با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه البرز، تحليل فضايی مخاطرات محیطی، (۴۷): ۸۳-۱۰۴.

Barnes, B.V., Zak, D.R., Denton, S.R. and Spurr, S.H. (1997) *Forest Ecology*. 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 774p.

Dasgupta, S., Qu, J.J. and Hao, X. (2006) Design of a susceptibility index for fire risk monitoring. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1): 140-144.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. (2017) *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. *Remote Sensing of Environment*, 202: 18-27.

Kawano, K., Iwabuchi, H. and Kudoh, J. (2002) Monitoring of forest fires in far-east Russia. *Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 4: 2060-2062.

Key, C.H. and Benson, N.C. (2006) Landscape assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. *General Technical Report, RMRS-GTR.164*: 305-325.

Konkathi, P. and Shetty, A. (2021) Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Science Informatics*, 14(2): 645-653.

Lasaponara, R. (2006) Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-vegetation data. *Ecological Modelling*, 196(1-2): 265-270.

Mallinis, G., Mitsopoulos, I., and Chrysafi, I. (2018) Evaluating and comparing sentinel2A and landsat8 operational land imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. *GIS Science and Remote Sensing*, 55(1): 1-18.

Merino-de-Miguel, S., Huesca, M., and González-Alonso, F. (2010) MODIS reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. *Ecological Modelling*, 221(1): 67-74.

Miller, J., Knapp, E., Key, C., Skinner, C., Isbell, C., Creasy, R. and Sherlock. J. (2009)

روز کاهش داده و این نقیصه را نیز جبران می کند (Mallinis *et al.*, 2018).

مزیت‌های سنتینل ۲، قدرت تفکیک مکانی کمی بهتر و بازه زمانی تکراری کوتاه‌تر است (دوره تکرار ۳ تا ۵ روز یک‌بار) که باعث می‌شود تصاویر بیشتری نسبت به لندست ۸ داشته و از تاثیرپذیری قابل توجه ابرآلودگی ممانعت شود. در صورت استفاده از شاخص‌های قبل و بعد از آتش‌سوزی، این نقیصه در تصاویر لندست ۸ جبران می‌شود. از محدودیت‌های سنتینل ۲ نسبت به لندست ۸ محدود بودن بازه سری زمانی (۷ سال) برای پایش و ارزیابی خسارت آتش‌سوزی می‌باشد (Konkathi & Shetty, 2021).

تحقیق حاضر پتانسیل بالای تصاویر ماهواره‌ای و به‌ویژه توانایی و امکانات فوق‌العاده سامانه گوگل‌ارت‌انجین در تامین حجم عظیم داده‌های دورسنجی و پردازش‌های پیشرفته بر روی آنها را برای تهیه نقشه‌های وقوع آتش‌سوزی نشان داد (Gorelick *et al.*, 2017, Konkathi, & Shetty, 2021). فقدان داده‌های مکانی دقیق و صحیح و هم‌مقیاس از محدودیت‌ها و نواقص اغلب مطالعات در کشور است که منطقه حاضر نیز از این امر مستثنی نیست. بنابراین ایجاد یک پایگاه اطلاعات مکانی^۱ یکپارچه و بزرگ‌مقیاس با استفاده از فناوری‌های نوین سنسج‌ازدور و سیستم‌اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری بیشتر از ظرفیت‌های سامانه گوگل‌ارت‌انجین در تلفیق با اطلاعات میدانی از ضرورت‌های هدفمندسازی و بهنگام‌سازی مطالعات منابع طبیعی به‌ویژه در عرصه‌های ارزشمند و حساسی نظیر ارسباران است.

سیاسگزاری

از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان شرقی به‌خاطر حمایت مالی و در اختیار گذاشتن اطلاعات پایه قدردانی می‌شود.

منابع

بانج‌شفیعی، ع.، اکبری‌نیا، م.، جلالی، غ. و علیجانپور، ا. (۱۳۸۸) تاثیر آتش‌سوزی جنگل بر رویش قطری گونه‌های راش و ممرز، مطالعه موردی جنگل خیرود. *تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، ۱۴(۲): ۲۴-۳۵.

شریعت‌نژاد، ش. (۱۳۸۷) نقش و جایگاه سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری برای مدیریت توسعه و تامین مواد اولیه

- Somashekar, R.K., Ravikumar, P., Mohan Kumar, C.N., Prakash, K.L., and Nagaraja, B.C. (2009) Burnt area mapping of Bandipur National Park, India using IRS 1C/1D LISS III data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(1): 37-50.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten W. and Goossens, R. (2010) The temporal dimension of Differenced Normalized Burn Ratio (Dnbr) fire/burn severity studies: The case of the Large 2007 Peloponnese wildfires in Greece. *Remote Sensing of Environment*, 114: 2548-2563.
- Veraverbeke, S., Lhermitte, S., Verstraeten, W. and Goossens, R. (2011) Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with landsat thematic mapper. *International Journal of Remote Sensing*, 32(12): 3521–3537.
- Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (rdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 113: 645–656.
- Pereira, J. (1999) A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37(1): 217-226.
- Schepers, L., Haest, B., Veraverbeke, S., Spanhove, T., Vanden Borre, J. and Goossens, R. (2014) Burned area detection and burn severity assessment of a heathland fire in Belgium using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). *Remote Sensing*, 6(3): 1803-1826.

Comparative evaluation of Landsat8 and Sentinel2 images to prepare a fire occurrence map in Arasbaran

Omid Rafieyan^{1*}, Khalil Valizadeh Kamran², Mohammad Ebrahim Ramazani¹ and Sajjad Moshiri³

1) Assistant Professor, Department of Environment, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran and Assistant Professor of Research Center for Sustainable Development Management of Urmia Lake and Aras River Basin.

*Corresponding Author Email Address: o_rafieyan@yahoo.ca.

2) Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3) M.Sc. Graduated, Department of Remote Sensing and GIS, Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Date of Submission: 2022/09/06

Date of Acceptance: 2022/11/21

Abstract

The valuable Arasbaran forest is a complex and dynamic ecosystem that has always been subject to extensive fires. The purpose of the present research is to utilize the technology of remote sensing and Geographic information system and the technical abilities of the Google Earth Engine system in order to prepare a fire occurrence map in the rangelands and forests of Arasbaran. In order to choose the appropriate method and type of satellite between Sentinel2 and Landsat8, the separability index was used. Accordingly, the RdNBR differential index was selected among the different indicators of fire detection to prepare the final map of the last 9 years and the cumulative fire map. Based on the accuracy assessment of the resulting map quantitatively, 84% of the actual fire points recorded by the General Directorate of Natural Resources and Watershed of East Azarbayjan province were placed at a distance of 200 meters from fire polygons extracted from satellite images, which showed the high accuracy of the fire map. The field visit also showed a good match among the fire areas resulting from the processing of satellite images with the existing situation of the region. The current research showed the high potential of these two satellites as well as the extraordinary ability and facilities of the Google Earth Engine system in providing a huge amount of remotely sensed data and advanced processing on them to prepare fire occurrence maps. The advantages of Landsat8 compared to Sentinel2 are having thermal bands and more time series. The spatial and radiometric resolution of both are almost similar, and the low-temporal resolution of Landsat8 will be compensated by combining it with Landsat 9 images. Therefore, in line with the results of similar studies, Landsat8 is generally preferable to Sentinel2. For the correct and scaled spatial data from Arasbaran region, it is suggested to create an integrated and large-scale Geo-database due to the lack of accuracy.

Key words: Arasbaran, Fire, Geographic information system, Google Earth Engine, Remote sensing.