



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۴، دوره ۸، شماره ۲، صص ۱۳۴-۱۱۵

## بررسی پتانسیل زمین گرمایی آتشفشان سبلان با استفاده از تصاویر سنجنده های OLI و

### TIRS ماهواره لندست ۸

مهدی فیض اله پور

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

Email: feyzolahpour@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱

#### چکیده

سنجش از دور طیف مادون قرمز حرارتی، یک تکنیک نوظهور برای تعیین ناهنجاریهای حرارتی در مناطق آتشفشانی به شمار می رود. در این تحقیق به بررسی پتانسیل تصویربرداری مادون قرمز حرارتی در تغییرات دمایی سطح آتشفشان سبلان پرداخته شده است. بخش های وسیعی از این آتشفشان در منطقه ای صعب العبور قرار دارد که توسط ارتفاعات احاطه شده است. لذا برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نواحی آتشفشانی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ از سنجنده های زمین عملیاتی OLI و سنجنده مادون قرمز حرارتی TIRS ماهواره لندست ۸ استفاده شد. ترکیبی از نسبت های بانندی بین باندهای ۷/۵، ۵/۴ و ۶/۷ به طور موثری دگرسانی معدنی نواحی آتشفشانی را نشان می دهند. در سمت شمالی کوه سبلان تغییرات حرارتی بالایی به وقوع پیوسته است. این فرایند، پتانسیل زمین گرمایی آتشفشان سبلان را نشان می دهد. آخرین داده های تصاویر سنجنده های OLI و TIRS نشان دهنده تغییرات حرارتی از صفر تا ۴۷ درجه سانتیگراد در سال ۲۰۲۱ بوده است. نتایج بررسی ها، الگوهای ناهنجاری حرارتی را از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ در چندین نقطه نشان می دهد. توزیع این ناهنجاری ها مطابق با داده های LST در ماهواره لندست ۸ می باشد. مقادیر NDVI در مکان های بالقوه زمین گرمایی با کاهش همراه بوده است. بررسی ها نشان می دهد که پهنه هایی با بیشترین پوشش گیاهی رو به کاهش بوده است به طوری که از ۷۰/۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ به ۴۱/۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. یافته های حاصل از دمای سطح زمین نیز حاکی از این است که چشمه های آبگرم قوتورسوئی، موئیل و ایلاندو در پهنه های حرارتی بالایی قرار گرفته اند.

کلمات کلیدی: دمای سطح زمین، مادون قرمز حرارتی، ژئوترمال، سنجنده TIRS، آتشفشان سبلان

انرژی زمین گرمایی از منابع حرارتی داخل زمین به دست می آید. این انرژی جزو منابع انرژی تجدیدپذیری است که در مخازن زیرزمینی آتشفشانی به صورت بخار و آب گرم تشکیل و ذخیره می شود (Haselwimmer et al, 2015:37, Dipippo, 2015:37, 2013:458). انرژی زمین گرمایی با محیط زیست سازگار بوده و برای فرایند اکتشاف و استخراج به فضای کمتری نیاز دارد (DomraKana et al, 2015:92, Siahaan et al, 2011:39). این فرایند از طریق ژئوتورسیسم نیز باعث بهبود اقتصاد جوامع محلی گشته است (Marwan et al, 2020:4, Erfurt-Cooper, 2011:189). در این تحقیق قبل از استفاده از تکنیک های دیگر، برای نقشه برداری زمین گرمایی از روش سنجش از دور استفاده شد. این رویکرد می تواند ساختار زمین شناسی، ناهنجاری حرارتی و تحولات مناطق زمین گرمایی را شناسایی کند (Van der Meer et al, 2020:33, Hewson et al, 2016:267, Reeves et al, 2016:267, 2014:261). دسترسی به تصاویر در بازه های زمانی مختلف، امکان بررسی ویژگی های حرارتی و فعالیت های زیرسطحی آتشفشان ها را میسر می سازد (Abdel Zaher et al, 2018:224, Mia et al, 2019:32). تصاویر ماهواره ای با باندهای حرارتی ویژه می توانند ناهنجاری های دمایی ناشی از سیالات و سنگ های داغ را در اطراف منابع گرمایی نمایش دهند (Qin et al, 2011:557). علاوه بر این، روش های سنجش از دور و طیف سنجی فرو سرخ برای نقشه برداری سنگها، شناسایی کانیهها و اکتشافات زمین شناسی در مناطق وسیع و غیر قابل دسترسی مورد استفاده قرار گرفته اند (Pal et al, 2020:6, Rodriguez et al, 2021:43, Zaini et al, 2019:71, Van der Meer et al, 2018:73, Aufaristama, 2019:103, Yanis et al, 2019:91, Yanis et al, 2019:62). در این تحقیق، برای نقشه برداری پتانسیل گرمایی و نظارت بر تغییرات فعالیت های حرارتی، از سنجنده تصویرساز زمین عملیاتی OLI و سنجنده مادون قرمز حرارتی TIRS استفاده شد. ترکیب چندین باند لندست ۸ به طور موفقیت آمیزی در بررسی پتانسیل های زمین گرمایی آتشفشان های ایتالیا، در چشمه های آبگرم نوادا و آتشفشان وایانگ ویندوی اندونزی مورد استفاده قرار گرفته است (Silvestri et al, 2020:6, Coolbaugh et al, 2007:352, Saepuloh et al, 2020:248).

تاکنون تحقیقات کمی در زمینه دمای سطح زمین در محیط های آتشفشانی ایران انجام شده است. در تحقیقی بر اساس دورسنجی با تصاویر سنجنده لندست اقدام به پایش تغییرات حرارتی آتشفشان دماوند شده است. نتایج نشان داد که در تصاویر سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۷ دماوند فعالیت کرده و افزایش LST در مناطق با ناهنجاری های حرارتی دیده می شود که در سال ۲۰۰۷ تغییراتی در ترکیبات چشمه ها مشاهده شده است (Eskandari et al, 2018:48). تکامل آتشفشان تفتان در بخش جنوب شرقی ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این ساختارها نشان دهنده یک تنش کششی با امتداد شمال شرقی به جنوب غربی در مجموعه آتشفشان است که باعث به وجود آمدن یک منطقه کششی در جهت شمال غربی به جنوب شرقی گردیده است (Partabian et al, 2020:178). در زمینه آتشفشان سبلان تحقیقات مختلفی صورت گرفته است. در این تحقیقات آتشفشان سبلان از جنبه های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته

است. با استفاده از وارون سازی یک بعدی و دو بعدی داده های مگنتوتلوریک، محدوده مخزن زمین گرمایی سبلان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مخزن اصلی در محدوده ای در قسمت غربی کوه سبلان واقع شده که از سمت جنوب و جنوب غربی قله سبلان به سمت غرب و دره موئیل کشیدگی داشته و مخزن دیگر با وسعت کوچکتر در شیب در قسمت شمالی کوه سبلان جای گرفته است (Oskooi et al, 2015:112). با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم گیری به بررسی تاثیر برخی پارامترهای جغرافیایی بر دمای سطح زمین در کوه سبلان پرداخته شد. نتایج نشان داد که ارتباط معنی داری بین ارتفاع، شیب و جهت شیب با دمای سطح زمین دیده می شود (Bahrami et al, 2017:110). در تحقیقی هیدروژئوشیمی سیالات گرمایی مخازن ژئوترمال غرب سبلان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که مخازن در این بخش از دمایی در حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد برخوردار هستند (Alavi et al, 2019:85). در تحقیقی اقدام به ارزیابی و پهنه بندی خطرهای مرتبط با فوران احتمالی آتشفشان سبلان شد. بر اساس نتایج حاصله احتمال فوران آتشفشانی در آینده وجود داشته است (Abbasnejad et al, 2023:73).

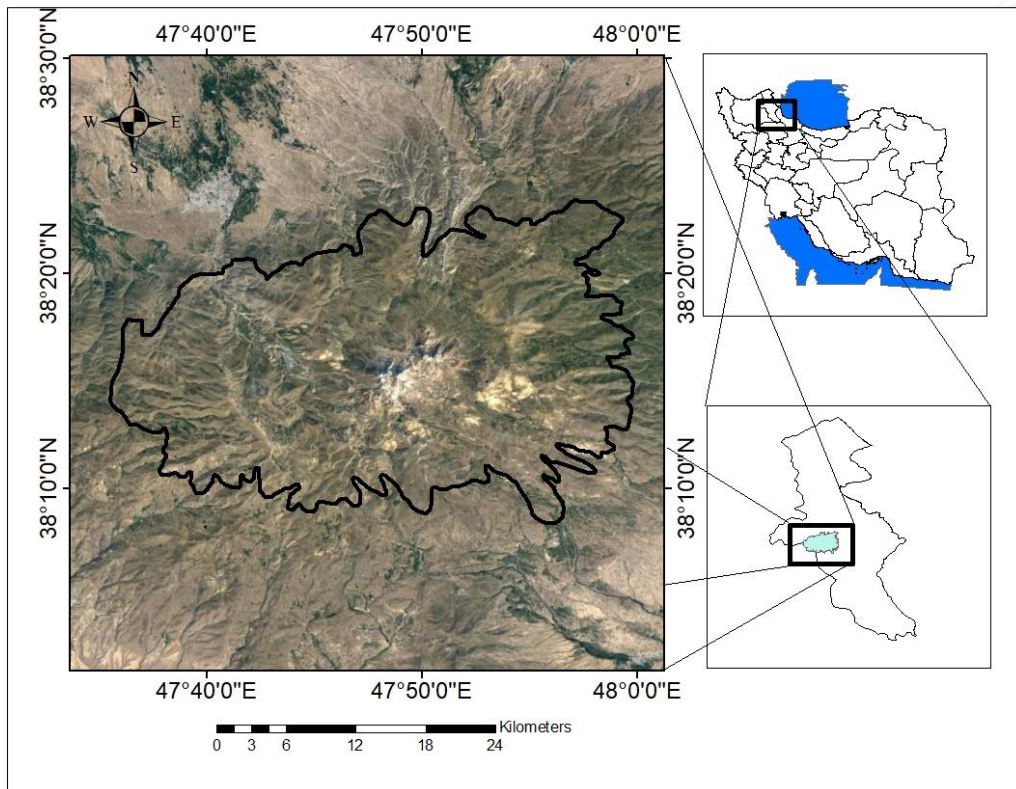
با توجه به موارد ذکر شده، در این تحقیق اقدام به بررسی دمای سطح زمین در محدوده آتشفشان سبلان شده است. به این منظور از سنجنده های OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ شده است.

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بخش مرکزی این محدوده، کوه آتشفشان سبلان را در بر می گیرد. این منطقه از ارتفاعی بیش از ۴۰۰۰ متر برخوردار بوده و در دامنه های آن چشمه های آبگرم متعددی واقع شده است که در این تحقیق نزدیکترین چشمه ها به محدوده های ارتفاعی بالاتر برای بررسی هیدروترمال آتشفشان سبلان مورد بررسی قرار گرفتند. موقعیت و ویژگی های دمایی چشمه های قوتورسوئی، موئیل و ایلانندو در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۱: موقعیت، دبی و دمای چشمه های آبگرم در محدوده شمالی سبلان

ردیف	عنوان چشمه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دما به سانتیگراد	دبی به مترمکعب در ثانیه
۲	موئیل	۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه و ۳ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه	۴۵	۲
۳	قوتورسوئی	۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۵ ثانیه	۳۸ درجه و ۲۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه	۴۲	۱۳
۴	ایلانندو	۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۷ ثانیه	۳۸ درجه و ۱۸ دقیقه و ۴۴ ثانیه	۳۷	۳



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات کوه سبلان

## مواد و روش ها

در ژانویه ۱۹۸۳، مدیریت لندست به اداره ملی اقیانوسی و جوی منتقل شده و در سال ۱۹۸۵ توسط ماهواره رصد زمین تجاری شد. ماهواره ERTS-A یا ERTS-1 اولین ماهواره برنامه لندست به شمار می آید. ماهواره لندست ۸ یکی از جدیدترین ماهواره های در دسترس لندست است که در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ با محموله ای متشکل از دو سنجنده تصویرگر زمین عملیاتی OLI و حسگر حرارتی مادون قرمز TIRS به فضا پرتاب شد. این سنجنده ها می توانند داده های جهانی را با وضوح فضایی ۳۰ متر در محدوده طول موج مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه، ۱۰۰ متر در مادون قرمز حرارتی و ۱۵ متر در باند پانکروماتیک تهیه کنند (Siahaan et al, 2011:81). سنجنده ها هر ۱۶ روز یکبار داده های چند طیفی را با وضوح بالا جمع اوری می کنند. باند ۷ در محدوده طول موج SWIR با باندهای جذبی خاک رس آبدار، اکسیدها و کانی های سولفات منطبق است (Mia et al, 2014:19., Seward et al, 2018:65). باندهای طیفی SWIR سرشار از علائم طیفی معدنی هستند که می توان از آنها برای مشاهده و تعیین ترکیب کانی شناسی استفاده کرد (Abrams et al, 2019:6). بنابراین باند ۷ را می توان برای شناسایی دگرسانی کانی هیدروترمال در ناحیه زمین گرمایی سبلان به کار گرفت. علاوه بر این سنجنده OLI برای ارزیابی مناطق ساحلی و ابرهای سیروس دارای

دو باند طیفی ۱ و ۹ می باشد. وجود ابرها رایجترین مشکل برای به دست آوردن تصاویر در ارتفاعات سبلان به شمار می آید. بنابراین تصاویر ماهواره ای بدون ابر در این منطقه مورد استفاده قرار گرفتند. داده های به دست آمده از مرکز مشاهدات و علوم زمین شناسی منابع زمین، بوسیله اصلاحات رادیومتری و هندسی تصحیح شدند. این امر باعث می گردد که در طول پردازش داده ها تنها به کالیبراسیون اعداد دیجیتالی نیاز باشد (USGS, 2015). در مرحله تبدیل اولیه DN، با استفاده از معادله ۱ طیف های نوری در سنجنده اندازه گیری شده و بر روی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست اجرا شدند.

$$P\lambda = \frac{MPQ_{cal} + AP}{\sin(\theta_{SE})} \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله،  $P\lambda$  بازتاب سطوح بالای اتمسفر TOA، MP فاکتور رتبه بندی باند طیفی، AP ضریب رتبه بندی مازاد باند طیفی،  $Q_{cal}$  مقدار پیکسل در DN و SE زاویه ارتفاع خورشیدی بر اساس داده های سالانه می باشد. هر دو فاکتور AP و  $\theta_{SE}$  از فایل های متادیتا به دست می آیند. در مرحله بعدی، باند سنجنده TIRS با استفاده از معادله ۲ و از طریق روش تشعشع پلانک به داده های دمای روشنایی تبدیل می گردد. سنجنده TIRS دارای دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ با طول موج های ۱۰/۹ و ۱۲ میکرومتر می باشد. با این وجود، در این تحقیق تنها از باند ۱۰ برای محاسبه دمای سطح آتشفشان استفاده شده است. به دلیل اثر نورهای سرگردان، برای تخمین LST از باند ۱۱ استفاده نمی شود (USGS, 2015).

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

در این معادله، T دمای روشنایی،  $L\lambda$  تابش طیفی TOA بوده و K1 و K2 به ترتیب معادل ۷۷۴/۸۸۵۳ و ۱۳۲۱/۰۷۸۹ می باشد. داده های دمای روشنایی می تواند نمای کلی از فعالیت حرارتی در یک منطقه را ارائه دهد. چنین تصور می شود که داده های دمایی ثبت شده از سنجنده های ماهواره ای دارای مقدار انتشار سطح ناچیزی هستند (Rodriguez et al, 2021:31). برای محاسبه تابش به عنوان تابعی از تصحیح اتمسفر در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به داده های شاخص تفاوت پوشش گیاهی NDVI نیاز بوده است. فاکتور انتشار، یکی از مهمترین شاخص ها برای به دست

آوردن دمای دقیق سطوح از تصاویر ماهواره ای می باشد. تابش سطحی توسط پارامترهای مختلفی مانند رطوبت، ترکیب شیمیایی، ساختار و زبری کنترل می شود (Weng et al, 2004:472). میزان انتشار در هر پیکسل از نسبت پوشش گیاهی تاثیر پذیرفته و از طریق شاخص NDVI پردازش می گردد. مقادیر شاخص پوشش گیاهی از طریق معادله زیر برآورد می گردد.

$$NDVI = \left( \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \right) \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله NIR و RED به ترتیب نشان دهنده باندهای ۵ و ۴ در ماهواره لندست ۸ می باشند. مقادیر NDVI برای محاسبه نسبت پوشش گیاهی PV به کار گرفته شده است. این شاخص یک پارامتر مهم برای محاسبه انتشار سطح زمین به شمار می آید. روش های مختلفی برای تخمین PV وجود داشته است لیکن در این تحقیق این شاخص به وسیله روش NDVI برآورد گردید (Rouse et al, 1974:39., Carlson et al, 1997:246). این شاخص به شکل زیر محاسبه می گردد:

$$PV = \left( \frac{NDVI-NDVI_S}{NDVI_V-NDVI_S} \right) \quad \text{معادله (۴)}$$

مقادیر NDVI<sub>S</sub> و NDVI<sub>V</sub> به ترتیب نشان دهنده میزان NDVI در زمین های خالی و مناطق با پوشش گیاهی متراکم می باشند. هر دوی این پارامترها از تجزیه و تحلیل مقادیر هیستوگرام سالانه NDVI بازیابی می شوند. مقادیر انتشار را می توان با در نظر گرفتن تنوع زمین در منطقه مورد مطالعه محاسبه کرد (Sobrino et al, 2004:438). میزان انتشار در هر پیکسل از معادله زیر به دست می آید:

$$E = 0.004PV + 0.986 \quad \text{معادله (۵)}$$

در نهایت با بهره گیری از پارامتر انتشار، دمای سطح زمین LST محاسبه شد (Qin et al, 2011:561).

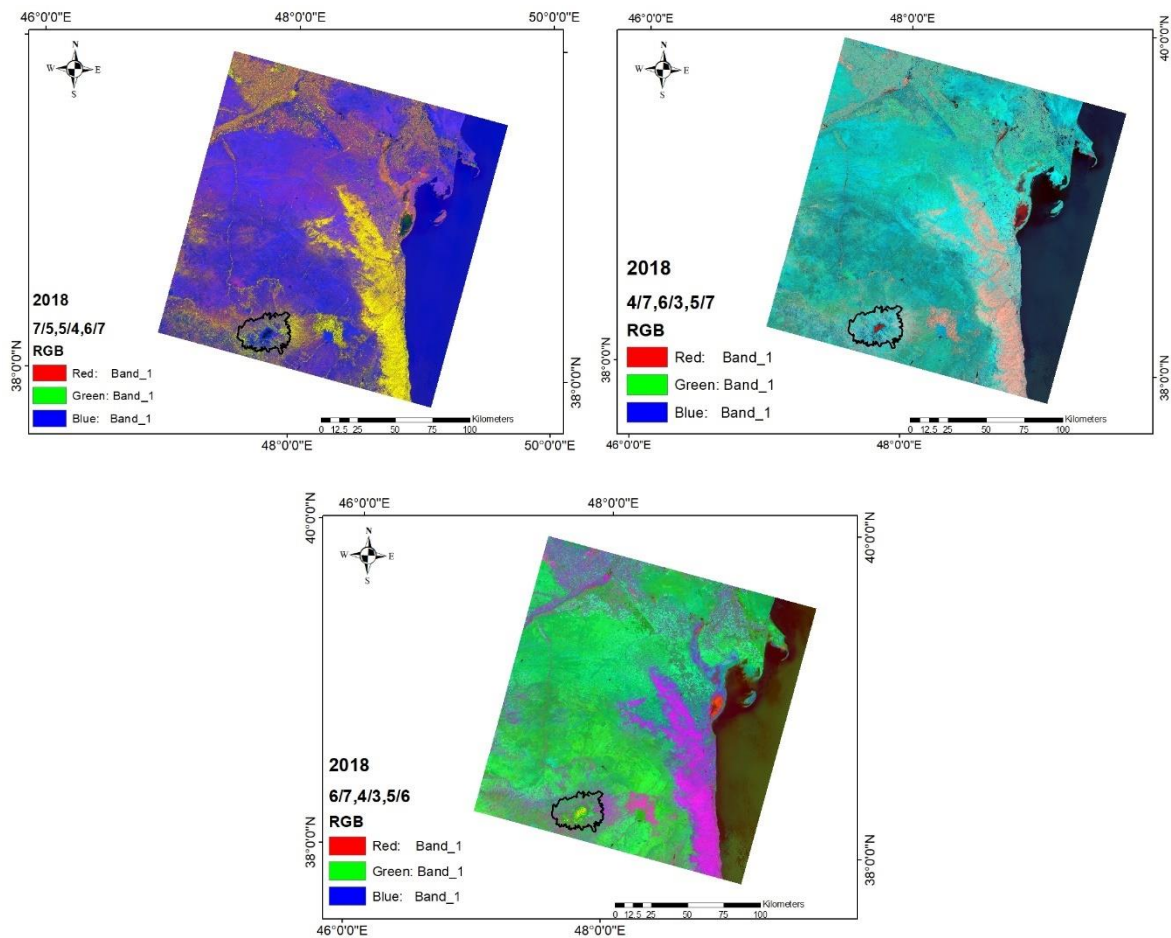
$$T_s = \frac{T_{\text{sensor}}}{1 + (\lambda T_{\text{sensor}})^P \ln E} \quad \text{معادله (۶)}$$

در این معادله  $\lambda$  نشان دهنده طول موج تابشی (۱۱/۵ میکرومتر)،  $P$  ضریب ثابت پلانک،  $C$  سرعت نور بر حسب متر بر مجذور ثانیه،  $T_{\text{sensor}}$  دمای روشنایی و  $E$  میزان انتشار بر اساس پوشش گیاهی می باشد. علاوه بر این، پردازش تصویر در سنجش از دور ممکن است کنتراست ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی را بسته به باند مورد استفاده بهبود بخشد. در این تحقیق چندین تکنیک ترکیبی و نسبت باندها برای نقشه برداری کانی های دگرسانی هیدروترمال در منطقه آتشفشان سبلان به کار گرفته شد. به این منظور نسبت باندهای ۷/۴، ۶/۳ و ۵/۷ برای بررسی دگرسانی ها و پوشش های گیاهی استفاده شد. برای تشخیص اکسیدهای آهن نیز از ترکیب باندی ۷/۵، ۵/۴ و ۶/۷ بهره گرفته شده و در آخرین مرحله برای بررسی توده های رسی از باندهای ۶/۷، ۳/۴ و ۵/۶ استفاده شد. بر اساس بازتاب های طیفی و رنگ های حاصله می توان به وضعیت کانی ها و شرایط هیدروترمالی پی برد.

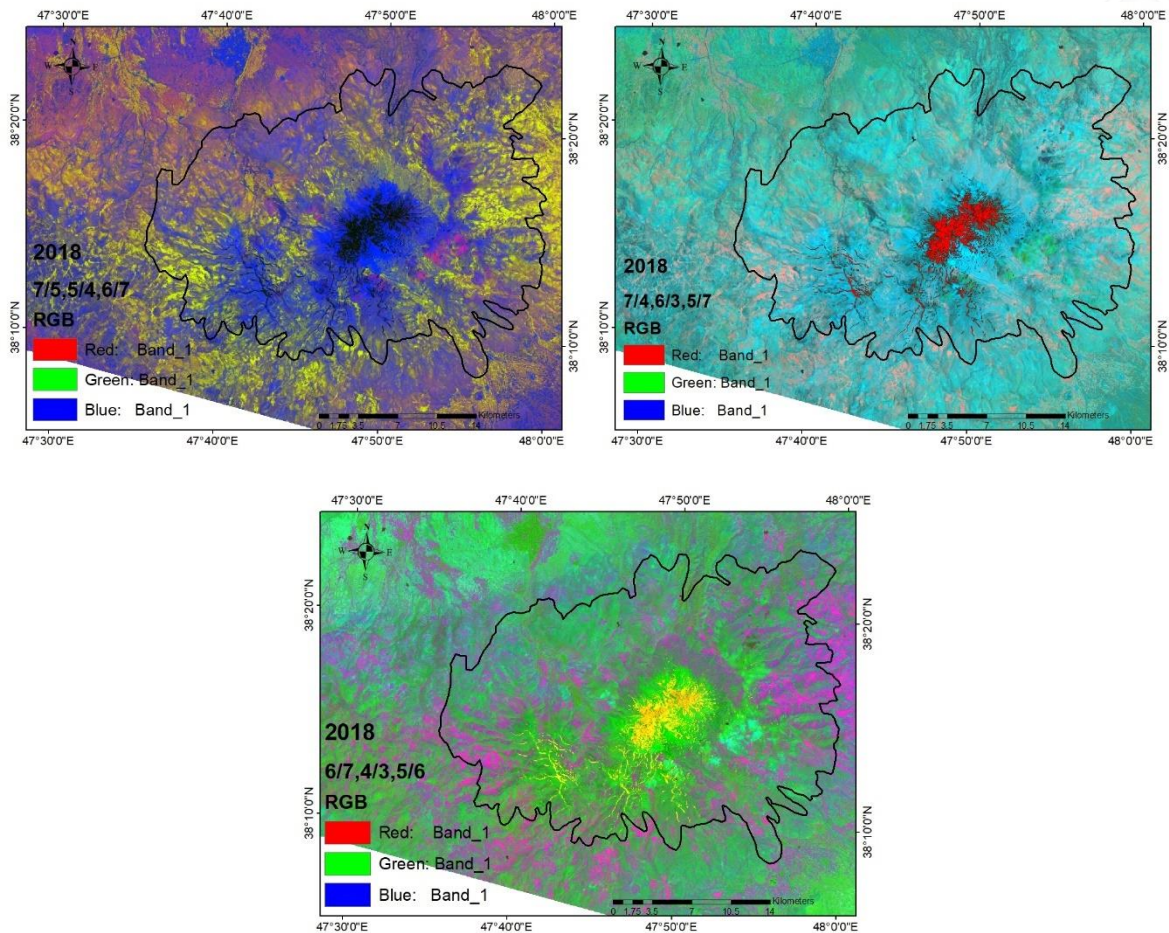
## بحث و نتایج

برای بررسی نسبت باندها از باندهای ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ ماهواره لندست ۸ استفاده شد. این باندها در محدوده طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه واقع شده اند. فرایند نسبت بین باندها با استفاده از نرم افزار Arc GIS محاسبه شدند. شکل ۲ ترکیبی از نسبت های باند را با پیکر بندی های مختلف نشان می دهد. به علت پوشش ابری کم، داده های لندست ۸ از روز ۱ جولای ۲۰۱۸ تا ۲۳ جولای ۲۰۲۳ مورد استفاده قرار گرفتند. در برخی از تحقیقات، نسبت باند بر اساس ترکیبی از باندهای ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده TM لندست ۵ برآورد شده بود (Sabins, 1999:162). این باندها با باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ لندست ۸ مطابقت داشته اند. نسبت باندهای ۷/۳، ۵/۲ و ۴/۷ معادل باندهای ۷/۴، ۶/۳ و ۵/۷ بوده است. رنگ سیاه نشان دهنده آب دریاچه دهانه آتشفشان است در حالی که رنگ صورتی، پوشش گیاهی را در منطقه نشان می دهد. این یافته ها را می توان از داده های باندهای ترکیبی واقعی نیز مشاهده کرد در حالی که در داده های رنگی کاذب منطقه پوشش گیاهی به رنگ قرمز نشان داده شده است. نواحی دگرسانی مربوط به ناهنجاری های زمین گرمایی به رنگ فیروزه ای خیلی روشن نمایش داده شده است. این دو ترکیب رنگی یک روش متداول برای تهیه نقشه توزیع پوشش گیاهی در نواحی آتشفشانی به شمار می آیند (Mia et al, 2013:24). علاوه بر این داده های نسبت باند ۵/۷، ۳/۲ و ۴/۵ در ماهواره لندست ۵ به ترتیب به نسبت باند ۶/۷، ۴/۳ و ۵/۶ در ماهواره لندست ۸ تغییر یافتند (Abrams et al, 1983:601). نتایج حاصله مناطقی را نشان می دهند که سرشار از اکسید آهن بوده و به رنگ فیروزه ای به نمایش در آمده است. پوشش های گیاهی در این مناطق به رنگ

بنفش دیده شده و پوشش برف به رنگ زرد دیده می شود. سنگ های آذرین آتشفشانی نیز با رنگ سبز روشن نمایش داده شده اند. در مناطقی نزدیک به قله و دهانه، داده های ترکیبی رنگ صحیح و کاذب قادر به نشان دادن کانی های آهن نیستند. در همین حال، در نتیجه تغییرات هیدروترمال، دهانه با رنگ نشان داده شده است. رنگ سبز نیز نشان دهنده وجود اکسید آهن فراوان است. قابلیت شناسایی مواد معدنی رسی حاوی آب، کربنات و هیدرات را می توان با استفاده از نسبت بانندی ۶/۷ بهبود بخشید. این در حالیست که نواحی آهن دار را می توان با استفاده از نسبت بانندی ۷/۵ با وضوح نشان داد (Kaufmann, 1988:1643). شکل ۲ نسبت های بانندی ۷/۵، ۶/۷ و ۵/۴ را نشان می دهد.

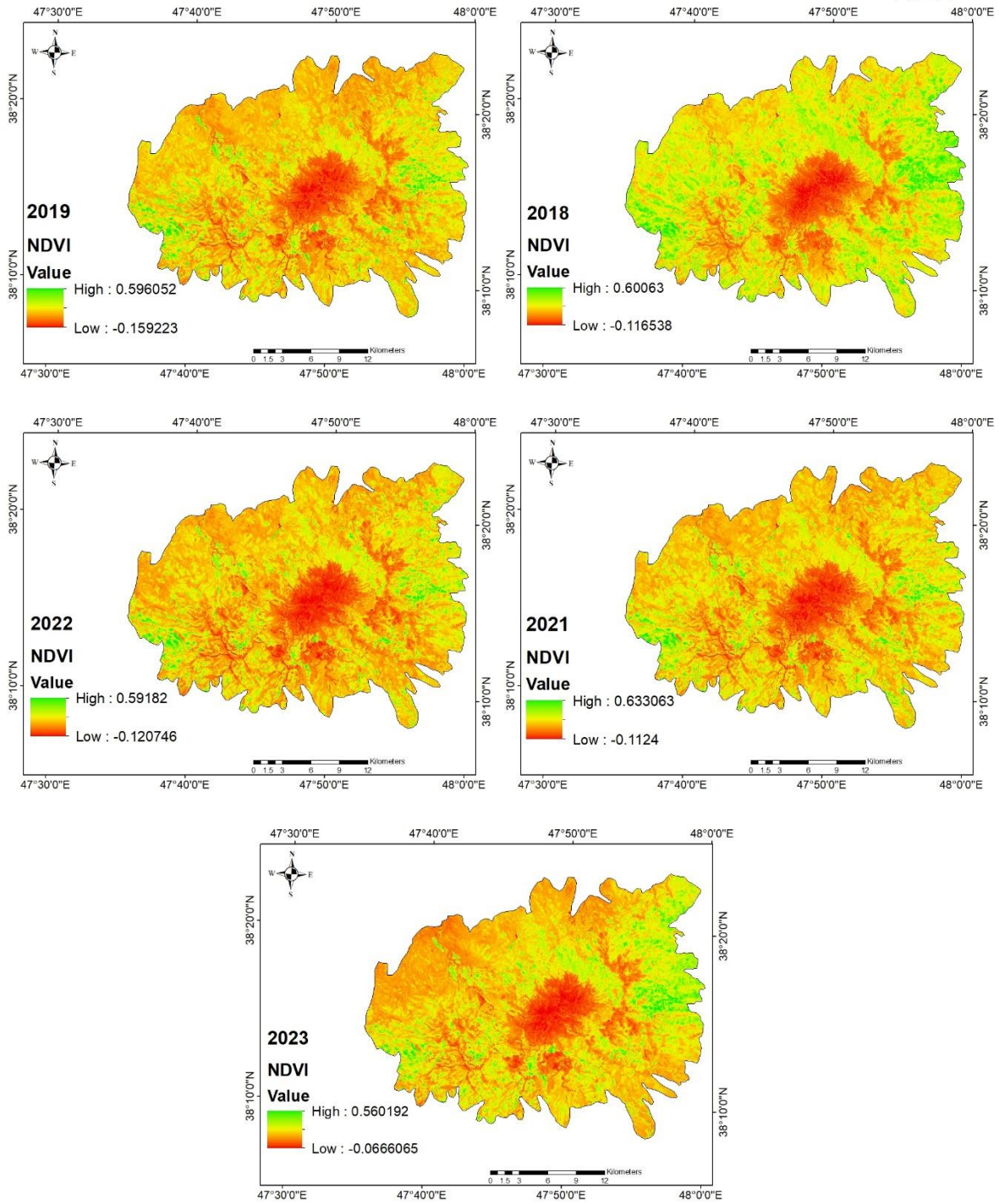


شکل ۲. تصویر ماهواره ای تمامی بلوک بر حسب باندهای ترکیبی

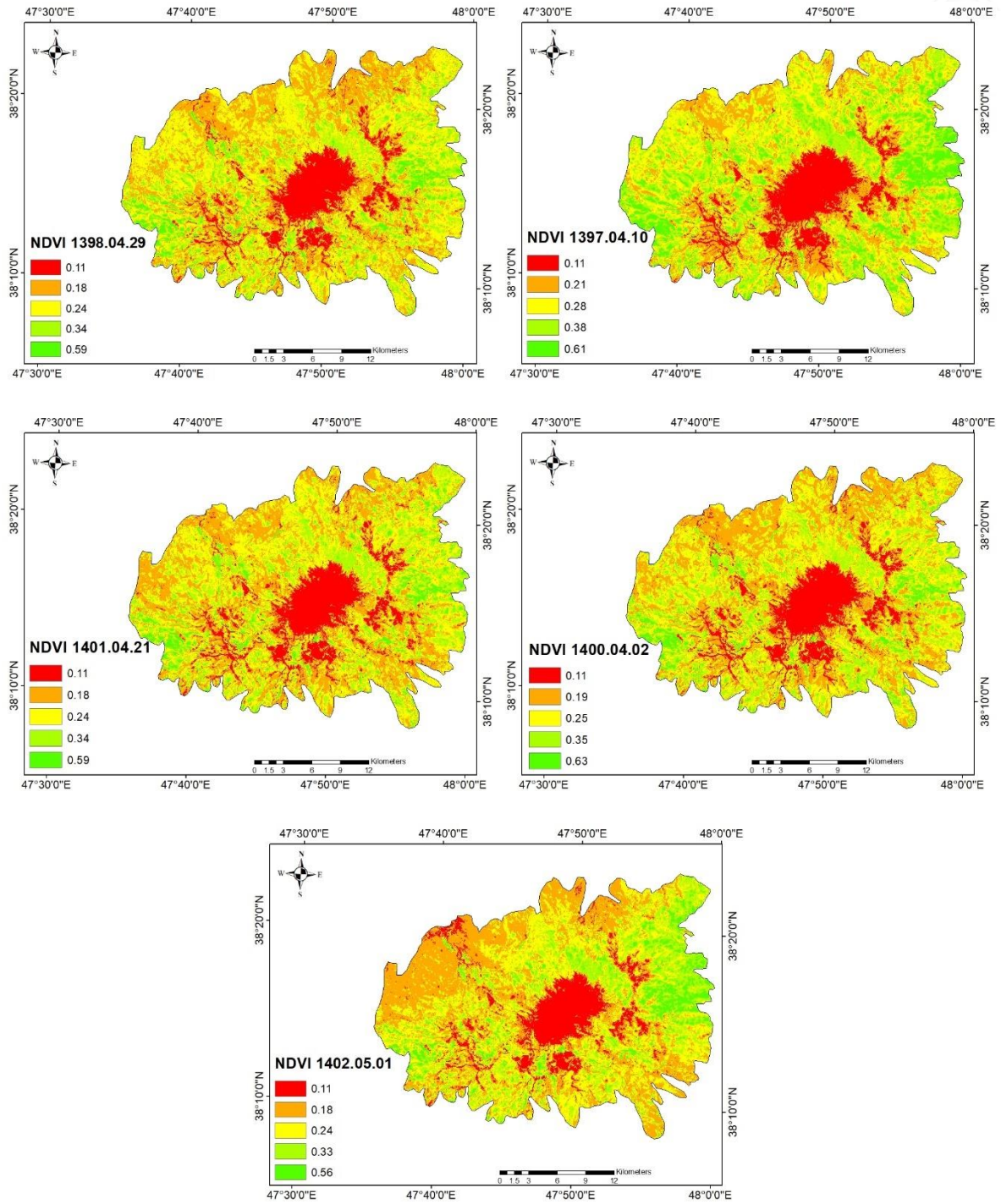


شکل ۳. تصاویر نسبت باندهای استفاده شده در منطقه مورد مطالعه

برای تحلیل تغییرات پوشش گیاهی در محدوده آتشفشان سبلان و در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ از باندهای ۴ و ۵ ماهواره لندست ۸ استفاده شده و شاخص NDVI تولید گردید. مقادیر NDVI به پنج دسته تقسیم شدند. داده های NDVI در سال ۲۰۱۸ بین ۰/۱۱ تا ۰/۶۱ متغیر بوده و در آن محدوده دهانه آتشفشان از پوشش گیاهی کمی برخوردار بوده است. بر اساس نتایج حاصله، مقادیر طیفی منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ در بین ۰/۱۱ تا ۰/۶۳ متغیر بوده که مقادیر بالا مناطقی با پوشش گیاهی متراکم را نشان داده و مقادیر پایین تر معرف خاک های لخت و سبک بوده اند.



شکل ۴. وضعیت طیفی شاخص پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳



شکل ۵. نقشه طبقه بندی شده شاخص پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

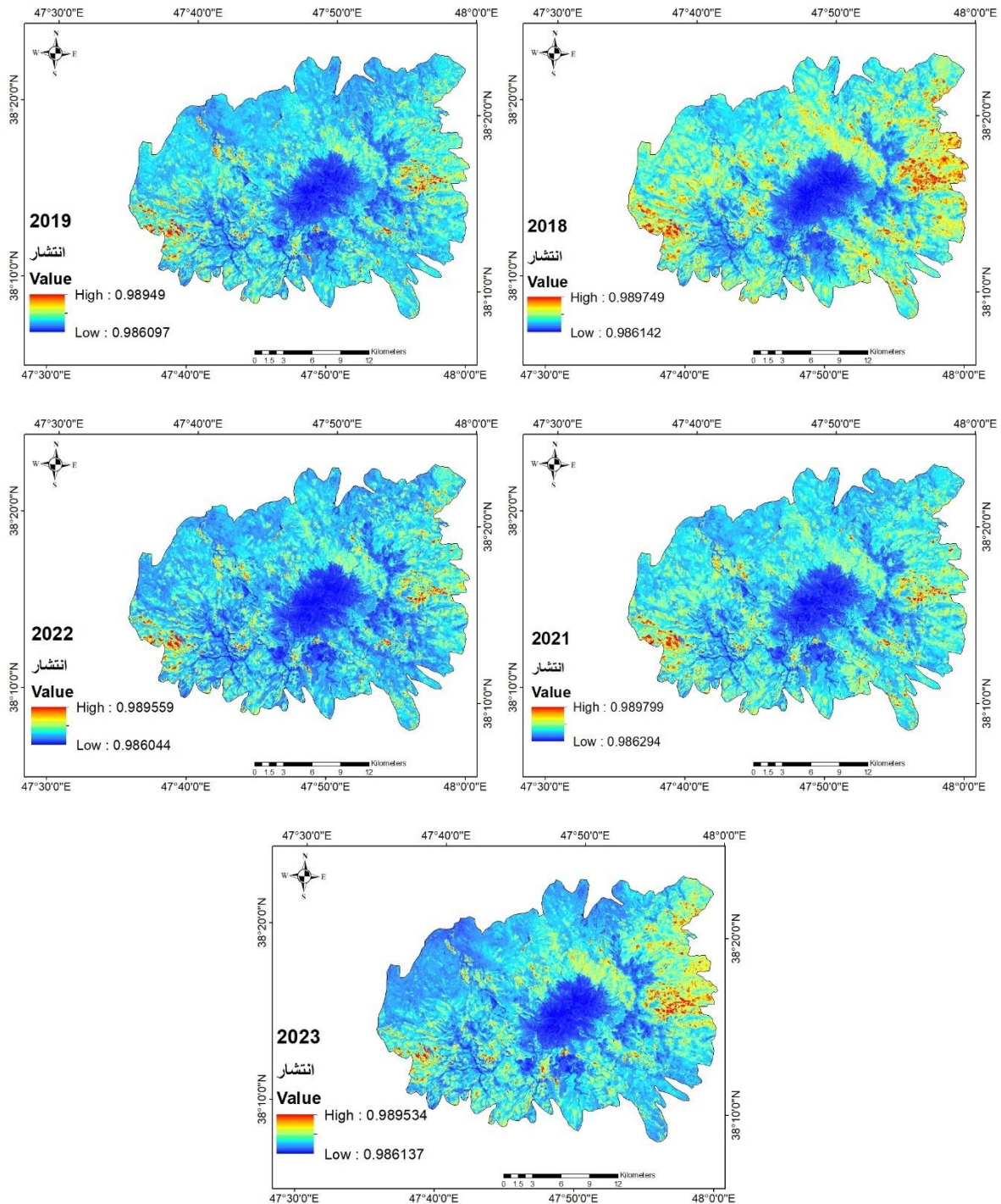
## جدول ۲. تغییرات مساحت پهنه های پوشش گیاهی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

تاریخ	آستانه	مساحت به کیلومتر مربع	درصد
۲۰۱۸/۷/۰۱	۰/۱۱	۸۰/۷	۱۱/۹
	۰/۲۱	۱۵۱/۵	۲۲/۳
	۰/۲۸	۲۲۲/۵	۳۲/۸
	۰/۳۸	۱۵۲/۶	۲۲/۵
	۰/۶۱	۷۰/۷	۱۰/۴
۲۰۱۹/۷/۲۰	۰/۱۱	۷۸/۲	۱۱/۵
	۰/۱۸	۲۱۶/۵	۳۱/۹
	۰/۲۴	۲۴۹/۲	۳۶/۷
	۰/۳۴	۱۰۳/۴	۱۵/۲
	۰/۵۹	۳۲/۶	۴/۸
۲۰۲۱/۰۶/۲۳	۰/۱۱	۸۵/۷	۱۲/۶
	۰/۱۹	۲۲۳/۶	۳۲/۹
	۰/۲۵	۲۲۵/۵	۳۳/۲
	۰/۳۵	۱۱۳/۶	۱۶/۷
	۰/۶۳	۲۹/۷	۴/۳۸
۲۰۲۲/۰۷/۱۲	۰/۱۱	۸۴	۱۲/۳
	۰/۱۸	۲۱۹/۹	۳۲/۴
	۰/۲۴	۲۲۹/۵	۳۳/۸
	۰/۳۴	۱۱۳/۶	۱۶/۷
	۰/۵۹	۳۱/۰۸	۴/۵
۲۰۲۳/۰۷/۲۳	۰/۱۱	۷۵/۲	۱۱/۱
	۰/۱۸	۲۳۲/۵	۳۴/۳
	۰/۲۴	۲۱۴/۱	۳۱/۵
	۰/۳۳	۱۱۵/۳	۱۷
	۰/۵۶	۴۱/۱	۶/۱

بررسی ها نشان می دهد که حداقل میزان شاخص از ۸۰/۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ به ۷۵/۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. مقادیر حداکثر پوشش گیاهی نیز با کاهش قابل توجه همراه بوده است به طوری که از ۷۰/۷ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۸ به ۴۱/۱ کیلومتر مربع رسیده است.

در سال ۲۰۱۸، بیشترین مقادیر انتشار متعلق به بخش های شرقی و غربی بوده و بخش مرکزی که محدوده کوه سبلان را شامل می شود از مقادیر انتشار کمتری برخوردار بوده اند. در سال ۲۰۱۹ مقدار انتشار در تمامی بخش ها با کاهش مواجه گردید. در حالیکه در بخش مرکزی واکنش نسبتا مشابهی نسبت به سال های گذشته به دست آمد. طبق داده

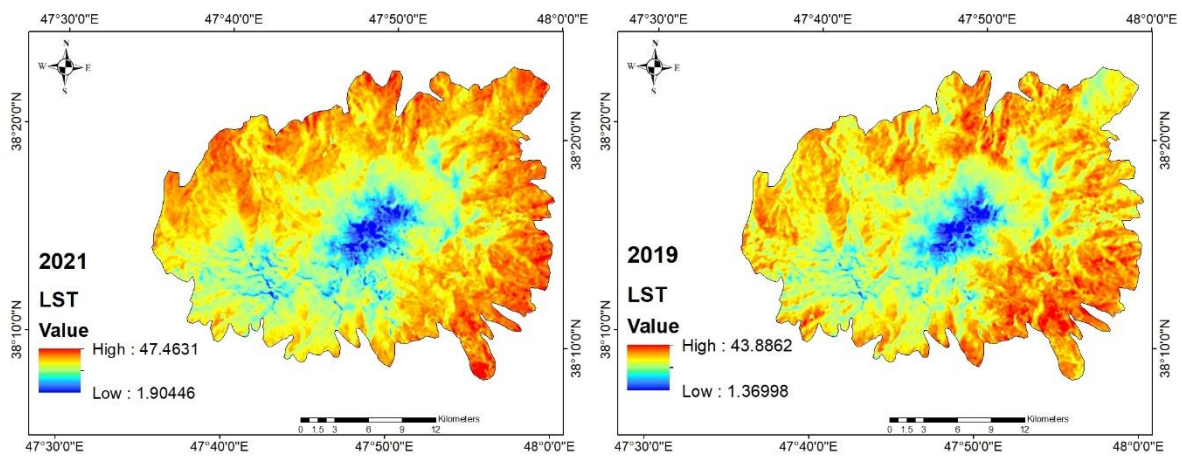
های سال ۲۰۲۱ مقدار انتشار عموماً پایین بوده و فقط در برخی از مناطق مقادیر بالاتری به دست آمد. در سال ۲۰۲۳ مقادیر انتشار در بخش شرقی به شکل قابل توجهی افزایش یافته است.

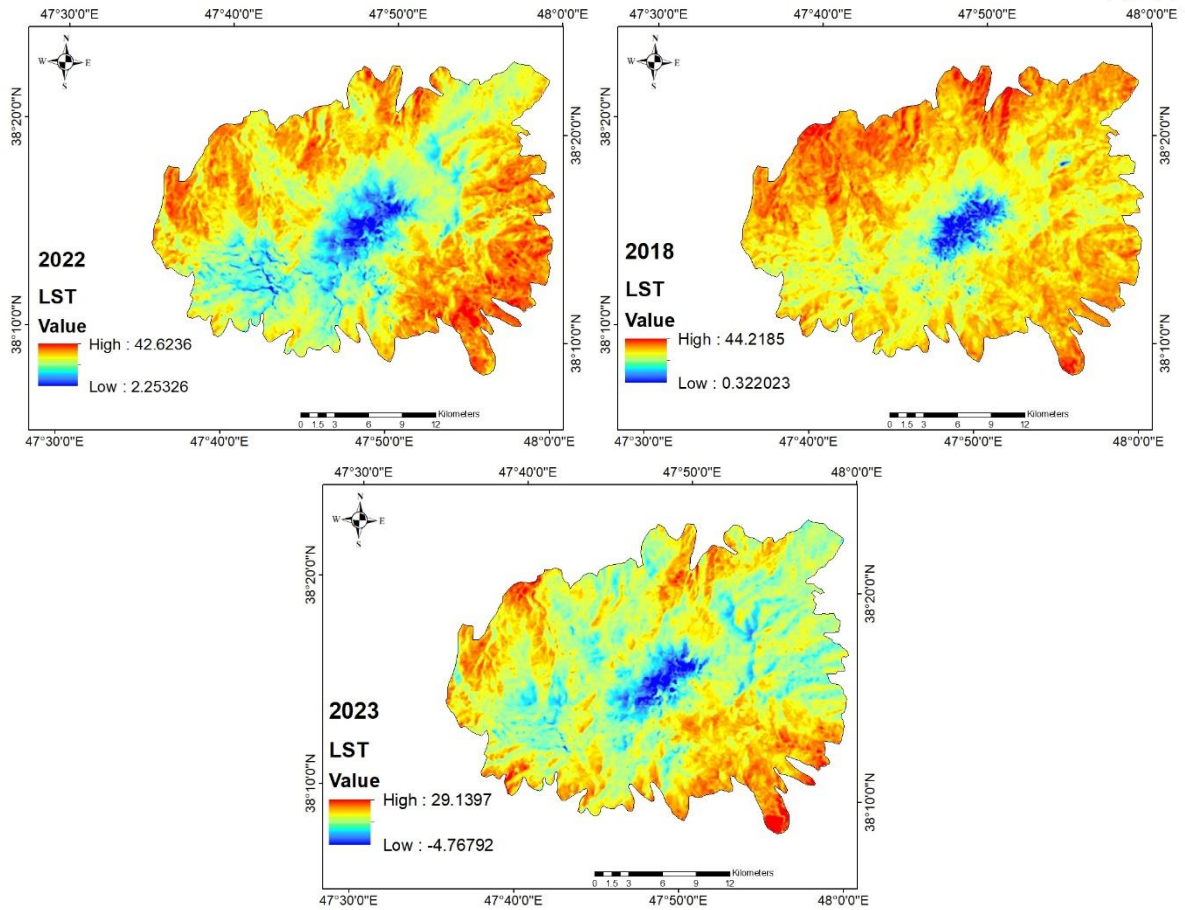


شکل ۶. میزان انتشار در پهنه کوه سبلان در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

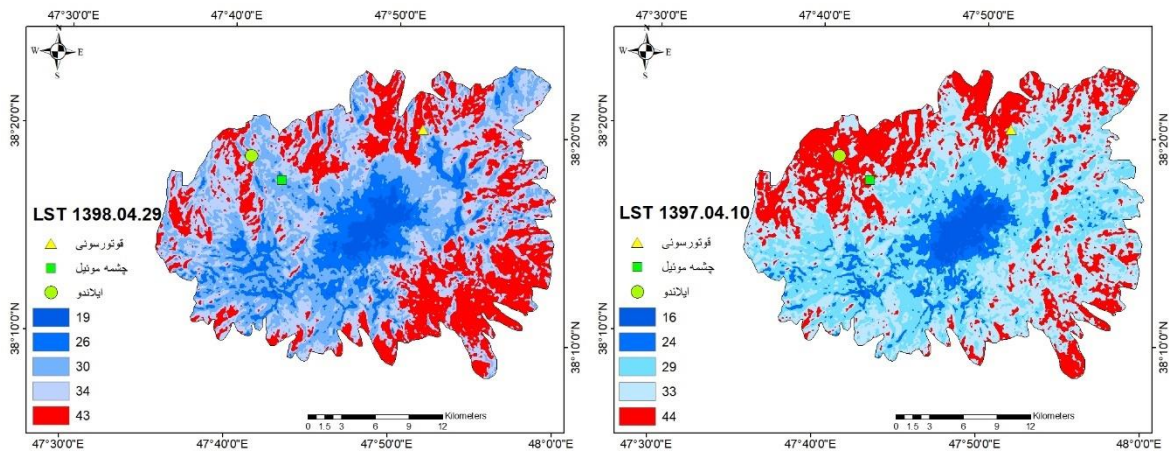
در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل وضعیت دمای سطح زمین در آتشفشان سبلان از باند TIRS ماهواره لندست ۸ بهره گرفته شد. مقادیر دمای سطح زمین به ۵ دسته طبقه بندی می شوند که در آن موقعیت چشمه های آبگرم

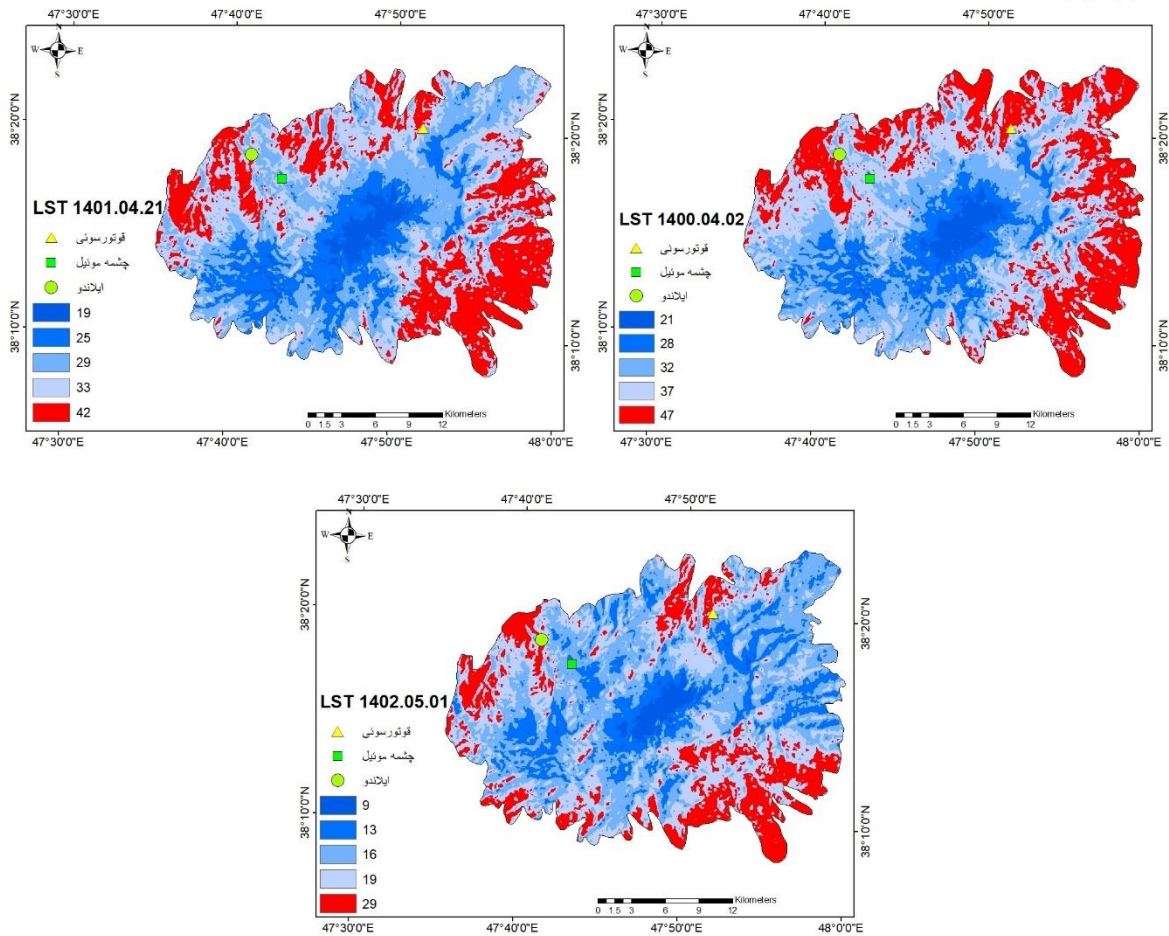
قوتورسوئی، موئیل و ایلاندو نشان داده شده است. مقادیر LST سال ۲۰۱۸ بین ۱۶ تا ۴۴ درجه سانتیگراد متغیر می باشد. قله آتشفشان در بخش مرکزی از کمترین دما به میزان ۱۶ درجه سانتیگراد برخوردار بوده است. این بخش در سال ۲۰۱۹ با افزایش ۳ درجه ای همراه بوده و به ۱۹ درجه سانتیگراد رسیده است. این بخش در سال ۲۰۲۱ مجدداً با افزایش مواجه شده و به ۲۱ درجه سانتیگراد رسیده است. در سال ۲۰۲۳ این بخش با کاهش قابل توجه دما مواجه شده و به ۹ درجه سانتیگراد رسیده که در این سالها در ماه های ژوئن و جولای این دما تجربه نشده بود. مقادیر حداکثر دمایی نیز در این سال به ۲۹ درجه سانتیگراد رسیده است که کاهش محسوسی را در دمای این بخش در مقایسه با سال های پیش داشته است.





شکل ۷. دمای سطح زمین برای منطقه آتشفشان سبلان در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳





شکل ۸. وضعیت طبقه بندی شده دمای سطح زمین در محدوده آتشفشان سبلان و در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

جدول ۳. تغییرات پهنه های دمای سطح زمین در بازه زمانی سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳

تاریخ	دما (سانتیگراد)	مساحت به کیلومتر مربع	درصد
۲۰۱۸/۷/۰۱	۱۶	۲۰/۴	۳
	۲۴	۵۳/۶	۷/۹
	۲۹	۱۹۸/۶	۲۹/۳
	۳۳	۲۵۲/۴	۳۷/۲
۲۰۱۹/۷/۲۰	۴۴	۱۵۳/۱	۲۲/۵
	۱۹	۱۸/۱	۲/۶
	۲۶	۷۸/۶	۱۱/۵
	۳۰	۱۸۵/۸	۲۷/۴
۲۰۲۱/۰۶/۲۳	۳۴	۲۲۰/۳	۳۲/۵
	۴۳	۱۷۵/۳	۲۵/۸
	۲۱	۲۴/۹	۳/۶
	۲۸	۸۷/۶	۱۲/۹
۱۴۰۰/۰۴/۰۲	۳۲	۱۶۹/۹	۲۵/۱
	۳۷	۲۱۷/۶	۳۲/۱

۲۶/۲	۱۷۸/۱	۴۷	
۳/۷	۲۵/۳	۱۹	۲۰۲۲/۰۷/۱۲
۱۴/۵	۹۸/۹	۲۵	۱۴۰۱/۰۴/۲۱
۲۷/۳	۱۸۵/۵	۲۹	
۳۰/۱	۲۰۳/۷	۳۳	
۲۴/۲	۱۶۴/۵	۴۲	
۲/۴	۱۶/۳	۹	۲۰۲۳/۰۷/۲۳
۱۶/۱	۱۰۹/۶	۱۳	۱۴۰۲/۰۵/۰۱
۳۴/۶	۲۳۵/۱	۱۶	
۲۹/۶	۲۰۱/۱	۱۹	
۱۷/۱	۱۱۶/۲	۲۹	

### نتیجه گیری

به طور کلی، سیستم زمین گرمایی به دلیل انتقال حرارت از منابع اطراف آن تشکیل می شود. مخازنی که نفوذپذیری بالایی دارند می توانند محلی برای تجمع سیال داغ در زیر سطح آن باشند. بررسی موقعیت گسل ها در شناخت میدان های هیدروترمال حائز اهمیت می باشد. با این حال در زمینه آتشفشان سبلان به دلیل دسترسی بسیار دشوار به منطقه، روش سنجش از دور نسبت به بررسی های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی مقرون به صرفه بوده و به روشی جایگزین برای انجام مطالعات اولیه ویژگی های هیدروترمال تبدیل شده است. در این تحقیق سه باند سنجنده های OLI و TIRS با نام های مادون قرمز نزدیک (NIR باند ۵)، مادون قرمز موج کوتاه (باند ۶) و باند قرمز (باند ۴) استفاده شده تا با استفاده از تکنیک ترکیب باندها، تابش های طیفی را نشان دهند. برخی از تضادهای رنگی، منعکس کننده خواص فیزیکی یا سنگ شناسی هستند. داده های ژئومورفولوژیکی نشان می دهد که آتشفشان سبلان به طور کلی توسط سنگ های آتشفشانی با بافت زبر که با رنگ تیره مشخص شده احاطه شده است. داده های NDVI در سال ۲۰۲۳ نشان می دهد که منطقه از پوشش گیاهی کمی برخوردار بوده و تحت تاثیر توده های آتشفشانی قرار گرفته است. بررسی های LST نشان می دهد که قله آتشفشان در مقایسه با محیط پیرامون، دمای پایینی داشته است در حالی که دامنه ها در بخش شمالی و غربی از دمای بالاتری برخوردار بوده است. در سال ۲۰۱۸ حدود ۲۵۲/۴ کیلومتر مربع از مساحت کلی منطقه که معادل ۶۷۸ کیلومتر مربع بوده از دمای ۳۳ درجه سانتیگراد برخوردار بوده است. در سالهای ۲۰۱۹، ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ نیز بیشترین وسعت اختصاص به این پهنه دمایی داشته است. چشمه های آبگرم قوتورسوئی، موئیل و ایلانودو در محدوده های بالایی دمایی در بخش های شمالی واقع شده اند. تجزیه و تحلیل نسبت باندی تصاویر OLI نشان می دهد که کوه آتشفشان از مواد معدنی دگرسانی هیدروترمال مختلف مانند خاک رس، کربناتها و کانی های اکسید آهن تشکیل شده که ویژگی های هیدروترمالی آتشفشان را تأیید می کند. داده های ۵ ساله سنجنده

های OLI و TIRS تغییرات دمایی را نشان می دهد که با افزایش دما از ۱۶ تا ۴۴ درجه سانتیگراد در سال ۲۰۱۸ به ۱۹ تا ۴۲ درجه سانتیگراد در سال ۲۰۲۲ همراه بوده است. با این حال در سال های ۲۰۲۳، کاهش در دما مشاهده شده و دما در قله به ۹ درجه سانتیگراد رسید. بر اساس نتایج حاصله می توان چنین استدلال کرد که داده های سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ از پتانسیل خوبی در شناسایی وضعیت تغییرات دمایی کوه های آتشفشانی برخوردار بوده و در مناطق صعب العبور می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

## منابع

- Abbasnejad, A., Khayatzadeh, A., Ranjbar, H., Ahmadipour, H. and Abbasnejad, B. 2023. Assessment and zoning of hazards related to likely eruption of Sabalan volcano, Iranian Journal of Geology, 66(17): 68-80.
- Abdel Zaher, M., Elbarbary, S. and Sultan, S.A. 2018. Crustal thermal structure of the Farafra oasis, Egypt, based on airborne potential field data. *Geothermics* 75, 220–234.
- Abrams, M. and Yamaguchi, Y., 2019. Twenty Years of ASTER Contributions to Lithologic Mapping and Mineral Exploration. *Remote Sens.* 2019, Vol. 11, Page 1394: 1-28.
- Abrams, M.J., Brown, D., Lepley, L. and Sadowski, R., 1983. Remote sensing for porphyry copper deposits in southern Arizona. *Econ. Geol.* 78, 591–604.
- Alavi, S., Naseri, H., Jamadi, M. and Porkhial, S. 2019. Hydrochemistry of hydrothermal fluids geothermal reservoirs of west Sabalan north west of Iran, *Hydrogeology*, 1(4): 80-96.
- Aufaristama, M., Hoskuldsson, A. and Ulfarsson, M.O., 2019. The 2014-2015 lava flow field at Holuhraun, Iceland: using airborne hyperspectral remote sensing for discriminating the lava surface. *Remote Sens.* 11(5): 476.
- Bahrami, S., Akbari, E., Doran, A. and Ebrahimi, M. 2017. The effect of some geographical parameters on the land surface temperature by using SEBAL and decision Tree methods in Taftan volcanic cone, *Journal of Geographic space*, 17(57): 105-126.
- Carlson, T.N. and Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sens. Environ.* 62, 241–252.
- Coolbaugh, M.F., Kratt, C., Fallacaro, A. 2007. Detection of geothermal anomalies using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys hot springs, Nevada, USA. *Remote Sens. Environ.* 106(3): 350-359.
- Dipippo R. 2015. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact: Fourth Edition.*
- DomraKana, J., Djongyang, N. and Raïdandi, D. 2015. A review of geophysical methods for geothermal exploration. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 44, 87–95.
- Eskandari, A., Amini, S. and Masoudi, F. 2018. Monitoring thermal changes of Damavand volcano using landsat images, *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28(109): 43-54.
- Erfurt-Cooper, P., 2011. Geotourism in volcanic and geothermal environments: playing with fire? *Geoheritage*. 3: 187-193.

- Haselwimmer, C. and Prakash, A., 2013. Thermal infrared remote sensing of geothermal systems. *Remote Sens. Digital Image Proces.* 453–473.
- Hewson, R., Mshiu, E. and Hecker, C. 2020. The application of day and night time ASTER satellite imagery for geothermal and mineral mapping in East Africa. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 85: 101991.
- Kaufmann, H., 1988. Concepts, processing and results. *Int. J. Remote Sens.* 9, 1639–1658.
- Marwan, Y.M. and Muzakir, N.G.S., 2020. Application of QR codes as a new communication technology and interactive tourist guide in Jaboi, Sabang. In: *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* Institute of Physics Publishing. 012025: 1-8.
- Mia, M.B., Fujimitsu, Y. and Nishijima, J., 2019. Exploration of hydrothermal alteration and monitoring of thermal activity using multi-source satellite images: A case study of the recently active Kirishima volcano complex on Kyushu Island, Japan. *Geothermics.* 79: 26-45.
- Mia, M.B., Nishijima, J. and Fujimitsu, Y., 2014. Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+images. A case study at Aso volcanic area in Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 275: 14-21.
- Mia, M.B., Bromley, C.J. and Fujimitsu, Y., 2013. Monitoring heat losses using Landsat ETM + thermal infrared data: a case study in Unzen geothermal field, Kyushu, Japan. *Pure Appl. Geophys.* 170: 2263-2271.
- Oskooi, B., Takalu, M. and Porkhial, S. 2015. Determination of the boundaries of Sabalan geothermal reservoirs using 1D and 2D inversion of the magnetotelluric data, *Iranian Journal of Geophysics*, 9(3): 104-117.
- Pal, M., Rasmussen, T. and Porwal, A., 2020. Optimized lithological mapping from multispectral and hyperspectral remote sensing images using fused multi-classifiers. *Remote Sens.* 12, 177: 1-30.
- Partabian, A., Fattahi, Moghadam, M., Moridi farimani, A. and Biabangard, H. 2020. Role of tectonics in the evolution of Taftan volcano, SE Iran, *Journal of Natural Environmental Hazard*, 9(23): 173-186
- Qin, Q., Zhang, N., Nan, P. and Chai, L., 2011. Geothermal area detection using Landsat ETM + thermal infrared data and its mechanistic analysis-a case study in Tengchong, China. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 13(4): 552-559.
- Reeves, R. and Rae, L., 2016. Changes in aerial thermal infrared signature over the Rotorua geothermal field, New Zealand: 1990–2014. *Geothermics* 64, 262–270.
- Rodriguez-Gomez, C., Kereszturi, G. and Reeves, R., 2021. Lithological mapping of Waiotapu geothermal field (New Zealand) using hyperspectral and thermal remote sensing and ground exploration techniques. *Geothermics* 96, 102195.
- Rouse, J.W., Hass, R.H. and Schell, J.A. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. Final Report, RSC 1978-4. Texas A M Univ Coll Station Texas, pp. 1–120.
- Sabins, F.F., 1999. Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geol. Rev.* 14, 157–183.
- Saepuloh, A., Saputro, R.H., Heriawan, M.N. and Malik, D., 2020. Integration of thermal infrared and synthetic aperture radar images to identify geothermal steam spots under thick vegetation cover. *Nat. Resour. Res.* 301 (30), 245–258.
- Seward, A., Ashraf, S., Reeves, R. and Bromley, C., 2018. Improved environmental monitoring of surface geothermal features through comparisons of thermal infrared, satellite remote sensing and terrestrial calorimetry. *Geothermics.* 73: 60-73.

- Siahaan, M.N., Soebandrio, A. and Wikantika, K., 2011. Geothermal potential exploration using remote sensing technique (Case Study: Patuha Area, West Java). In: Proceedings of the 10th Annu Asian Conf Exhib Geoespatial Information, Technol Appl 13.
- Silvestri, M., Romaniello, V. and Hook, S. 2020. First comparisons of surface temperature estimations between ECOSTRESS, ASTER and Landsat 8 over Italian volcanic and geothermal areas. *Remote Sens.* 12: 1-11.
- Sobrino, J.A., Jim´enez-Muñoz, J.C. and Paolini, L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sens. Environ.* 90(4): 434-440.
- USGS (2015) Landsat 8 (L8) data users handbook.
- Van der Meer, F., Hecker, C. and van Ruitenbeek, F. 2014. Geologic remote sensing for geothermal exploration: a review. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 33: 255-269.
- Van der Meer, F. 2018. Near-infrared laboratory spectroscopy of mineral chemistry: a review. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 65: 71-78.
- Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J. 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sens. Environ.* 89, 467–483.
- Yanis, M. and Marwan, M. 2019. The potential use of satellite gravity data for oil prospecting in Tanimbar Basin, Eastern Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 364, 012032
- Yanis, Marwan, M. and Ismail, N. 2019. Efficient use of satellite gravity anomalies for mapping the great Sumatran fault in Aceh province. *Infonesian J. Appl. Phys.* 9, 61-68.
- Zaini, N., Irwandi, I., Abdullah, F. and Meer, F. 2019. Infrared spectroscopy characteristics of mount Sinabung volcanic materials, North Sumatra, Indonesia. In: Proceedings of the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 364: 012018