نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال نهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۰
Vol.9, No.3, Autemn 2021
۳۹ -۵۷
مقاله پژوهشی
DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5

شناسایی تغییرات مکانی - حرارتی و مناطق پرخطر در محدوده معدن زغال‌سنگ گانو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ (شمال‌غرب دامغان)

احمد رجبی[۱]، رضا شاه حسینی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷

چکیده

در معادن زغال‌سنگ، آتش‌سوزی و انفجار ناشی از افزایش دما و تراکم بالای زغال‌سنگ، محتمل‌ترین خطر است. با توجه به سست بودن لایه‌های زمینی حاوی زغال‌سنگ، خطرات ناشی از ریزش تونل‌های استخراجی نیز وجود دارد. بنابراین، جهت مدیریت خطر در معادن زغال‌سنگ، باید مدل خطر در این مناطق را بصورت دوره‌ای مطالعه نمود. هدف از این تحقیق بررسی جامع تغییرات منطقه به منظور معرفی بخش‌هایی از محدوده معدنی است که در اثر تغییرات حرارتی سطحی و ارتفاعی، در معرض خطر می‌باشند. در مطالعه حاضر شناسایی تغییرات حرارتی در معدن زغال‌سنگ گانو از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست و تغییرات ارتفاعی سطحی معدن بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ با استفاده از داده‌های راداری سنتینل۱ ، در شمال غرب دامغان انجام شده است. در این تحقیق ابتدا بخش‌هایی از محدوده مورد مطالعه که تراکم لایه‌های زغال‌سنگ در آنجا زیاد هست با استفاده از شاخص نرمال شده دو باند داده‌های لندست (باندهای *SWIR1* و *SWIR2*) و حدآستانه تجربی ۰٫۰۶ تعیین شد. همچنین دمای سطح زمین (*LST*) با استفاده از رابطه پلانک و داده‌های لندست برآورد شد. مقادیر حد آستانه *LST* برای هر دو سال جهت تشخیص پیکسل‌های دارای خطرآتش تخمین زده شد. با استفاده از تداخل‌سنجی راداری و تصاویر سال ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰ ماهواره سنتینل۱ منطقه، مدل ارتفاعی رقومی و تغییرات ارتفاعی محدوده معدن استخراج گردید. بیشترین فرونشست حدود ۹ سانتی متر بدست آمد که در بازدید میدانی این قسمت دچار ریزش و باعث ایجاد تلفات شده بود.

کلید واژه‌ها : زغال‌سنگ، خطر آتش، *LST*، لندست، سنتینل۱

* نویسنده مکاتبه کننده: گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
تلفن: ۰۲۱۶۱۱۱۴۵۲۷

Email: rshahosseini@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

۱- مقدمه

بررسی‌های زمین‌شناسی رسوبات زغال‌دار و معادن زغال‌سنگ ایران نشان می‌دهد که اکثر این ذخایر درسازندهای شمشک نای بند و آق دربند قرار دارند و از نظر زمانی مربوط به تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی هستند. حوزه‌های زغالی ایران بیشتر در دو واحد تکتونیکی رسوبی البرز و ایران مرکزی قرار دارند که این حوزه‌های زغالی اغلب در محیط‌های زمین ساختی فعال و عموما ناودیسی تشکیل شدند. سنگ‌های دربرگیرنده زغال بیشتر شامل کنگلومرا ماسه سنگ شیل سیلت و ماسه سنگ آهکی هستند. زغال‌های البرز عموما درسازند شمشک و زغال‌های ایران مرکزی بیشتر درسازند نای بند و آق دربند با سن تریاس فوقانی تا ژوراسیک زیرین قرارگرفته‌اند. رسوبات زغال دار حوزه البرز اغلب ازنوع تخریبی بودند ودرحوزه‌ایران مرکزی بیشتر تحت تاثیر رسوبات دریایی قرارگرفته‌اند. فرایند تشکیل زغال‌سنگ شامل دو مرحله رسوبی و دگرگونی است *[۱]*.

آتش‌سوزی زغال‌سنگ ممکن است هم در محل تراکم لایه‌های زغال‌سنگ و هم در محل انباشت باطله‌های زغال‌سنگ رخ دهد[۲، ۳، ۴ و ۵]. آتش‌سوزی لایه‌های متراکم زغال‌سنگ، بسته به خصوصیات کانسار، یا در سطح و یا در زیر سطح زمین رخ می‌دهد که بسیاری از شکاف‌های زیرزمینی تحت تأثیر آتش‌سوزی‌های زغال‌سنگ قرار می‌گیرند *[۶]*. آتش‌سوزی‌های در لایه‌های متراکم زغال‌سنگ تهدیدهای متعددی از جمله از دست دادن منابع طبیعی ، آلودگی هوا ، نشست سطح زمین ، آلودگی آب ، تغییرات آب و هوایی و همچنین تهدیداتی برای سلامتی انسان به دلیل انتشار گاز سمی آن دارد[۷، ۸، ۹ و ۱۰].

کشور ایران از نظر وجود زغال‌سنگ شرایط به نسبت خوبی دارد. استان‌هایی که بیشترین میزان زغال‌سنگ را در کشور دارا هستند عبارتند از: استان‌های خراسان‌جنوبی، کرمان و مازندران هستند. اما به میزان کمتر در استان‌هایی چون گلستان، گیلان، سمنان، خراسان‌شمالی و رضوی، آذربایجان‌غربی و شرقی، اصفهان، یزد و حتی در استان لرستان نیز زغال‌سنگ دیده شده است. درواقع هر استانی که از سازند زمین‌شناسی شمشک برخوردار باشد، این سازند آن استان را برخوردار از زغال‌سنگ کرده است. اما مشکلاتی که در کشور ما در حوزه زغال‌سنگ دیده می‌شود مربوط به لایه‌های نازک زغال‌سنگ است. زغال‌سنگ یک ماده اشتعالزا است و سخت‌ترین نوع استخراج را دارد. علاوه بر اینکه نوار کمری بالا و پایین زغال سنگ نیز سست است. بنابراین پایش تغییرات دمایی دوره‌ای در بخش‌های مربوط به میزان تراکم بالاتر لایه زغال سنگ و مطالعه میزان فرونشست در کل محدوده معدن لازم است.

۲- پیشینه تحقیق

بسیاری از محققان با استفاده از طیف گسترده‌ای از داده‌های ماهواره‌ای در کشورهایی که بیشتر در معرض آتش‌سوزی زغال‌سنگ هستند، روی تکنیک‌های تشخیص حریق زغال‌سنگ کار کرده‌اند[۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴]. نظارت بر خطر آتش‌سوزی زغال‌سنگ با استفاده از داده‌های هوایی و ماهواره‌ای برای چند دهه گذشته انجام شده است. در دهه ۱۹۹۰ ، برای اولین بار از تصاویر حرارتی موجود جهت شناسایی و نظارت بر آتش‌سوزی‌های زغال‌سنگ سطحی و زیرسطحی در هند استفاده شد *[۱۵]*. چاریا (۱۹۹۳) کاربرد داده‌های باندهای مادون قرمز طول موج کوتاه(*SWIR*)[۱] (باند ۴ ، ۵ و ۷) داده‌های لندست۵ را برای شناسایی و نظارت بر ویژگی‌های ژئو محیطی مانند آتش‌سوزی معدن زغال‌سنگ کشف کرد *[۱۶]*. دیجیک و همکاران (۲۰۰۵) برای استخراج دمای سطح زمین(*LST*)[۲] از باندهای مادون قرمز حرارتی(*TIR*)[۳] (باند ۱۰ ، ۱۱ ، ۱۲ ، ۱۳ و ۱۴) داده‌های رادیومتر بازتاب و تابش حرارتی

[۱] *Short Wave Infrared*
[۲] *Land Surface Temperature*
[۳] *Thermal Infrared*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

پیشرفته فضابرد (*ASTER*)[۱] در محدوده طول موج ۸,۱۲۵ تا ۱۱,۶۵۰ میکرومتر استفاده کردند. دمای *LST* مبتنی بر ماهواره در مکان‌های مختلف با داده‌های صحرایی ارتباط خوبی داشت. این مطالعه همچنین الگوریتم جداسازی دما / پراکندگی را برای جداسازی مناطق آتش زغال‌سنگ از مناطق دیگر پیشنهاد داده است[۱۷]. وسلینگ و همکاران (۲۰۰۸) یک مطالعه مبتنی بر مدل‌سازی عددی را برای تجزیه و تحلیل نقشه *LST* به دلیل آتش‌سوزی زیرزمینی انجام داد. این مطالعه رفتار انتشار فرآیندهای انتقال مکانیکی و انرژی را از طریق لایه‌های پوشاننده مناطق آتش‌سوزی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد[۱۸]. گیگلیو و همکاران (۲۰۰۸) یک الگوریتم خودکار تشخیص آتش‌سوزی زغال‌سنگ را با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک (*NIR*[۲]) و *SWIR* (باند ۳ *N* و ۸) سنجنده *ASTER* پیشنهاد کردند[۱۹]. این الگوریتم برای داده‌های روزانه و شبانه طراحی شده است. میشرا ، باهوگونا و سینگ (۲۰۱۱) از داده‌های باند *TIR* (باند ۶) لندست۷ (*ETM*[۳]+) برای شناسایی و نقشه‌برداری از آتش‌سوزی‌های زغال‌سنگ زیرسطحی در ایالت جاریا هند استفاده کردند. مدل پیشنهادی با استفاده از داده‌های میدانی برای اثربخشی آن اعتبارسنجی شده است[۲۰]. وو، یو و گیو (۲۰۱۴) از داده‌های باند *TIR* از لندست ۸ برای تخمین *LST* با استفاده از سه روش مختلف رابطه انتقال تابشی (*RTE*[۴]) ، الگوریتم تک پنجره (*SWA*[۵]) و الگوریتم تک کانال (*SCA*[۶]) استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد که *LST* حاصل از *RTE* بیشترین توافق را با مقادیر مشاهده شده دارد[۲۱].

شرودر و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از داده‌های باند *SWIR* (باند ۷) ، باندهای مرئی و *NIR* (باند ۱ تا باند ۵) داده‌های لندست ۸ الگوریتمی جدید برای تشخیص حریق فعال زغال‌سنگ ارائه دادند. این الگوریتم برای داده‌های روزانه و شبانه طراحی شده است[۲۲]. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) روشی را برای تخمین *LST* در شرایط آسمان ابری پیشنهاد داد. این روش اثر هندسه خورشیدی ابر ماهواره‌ای را در تعیین *LST* در نظر می‌گیرد[۲۳]. روش پیشنهادی برای دو نوع داده ماهواره‌ای مادیس(*MODIS*)[۷] و لندست مورد آزمایش قرار داد و پیشنهاد کرد که همین روش را می‌توان برای هر تصویر ماهواره‌ای برای تخمین *LST* اعمال کرد. یان و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های لندست ۸ و تجزیه و تحلیل سری زمانی با استفاده از داده‌های رادار دیافراگم مصنوعی سنتینل۱ (*SAR*[۸]) برای تشخیص آتش زغال‌سنگ در قسمت جنوبی منطقه فوکانگ از سین کیانگ ، چین ، از *SCA* کلی استفاده کرد[۲۴]. بیسوال و گورای (۲۰۲۰) با محاسبه *LST* در یک بازه ۱۰ ساله با داده‌های لندست ۵ و ۸ در یک محدوده معدنی در هند و اخذ اطلاعات دمایی میدانی با استفاده از دوربین حرارتی، یک پایش تغییرات دمای سطحی با اعتبار ۹۵درصد و جانمایی مناطق خطر آتش‌سوزی زغال‌سنگ ارائه دادند[۱۴]. فورکور و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنتینل۱ استخراج‌های غیر مجاز در محدوده‌های معدنی زغال‌سنگ که ممکن است در محدوده خطر آتش قرارگرفته باشند را شناسایی کرده و نقشه تغییرات آن را در یک بازه ۵ ساله ارائه دادند[۲۵].

مطالعاتی که برای پایش تغییرات در منطقه معدنی زغال‌سنگ انجام شده است، به منظور مدل‌سازی خطر آتش بوده و همچنین نقشه پیش‌بینی مناطق پیشرفت

[۱] *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection*
[۲] *Near Infrared*
[۳] *Enhanced Thematic Mapper Plus*
[۴] *Radiative Transfer Equation*
[۵] *SplitWindow Algorithm*
[۶] *Single Channel Algorithm*
[۷] *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
[۸] *Synthetic Aperture Radar*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

خطر آتش تنها از حدگذاری LST در یک بازه زمانی استخراج شده که یک مطالعه تک بعدی است. مطالعه پیشنهادی سعی در ایجاد یک استراتژی چند بعدی برای پیش‌بینی مدل خطر در یک منطقه معدنی زغال‌سنگ را دارد. بنابراین یک تجزیه و تحلیل و شناسایی تغییرات سطحی، ارتفاعی و حرارتی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ در منطقه مورد مطالعه انجام شد.

۳- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

معدن زغال‌سنگ گانو در استان سمنان و در شمال‌غرب شهر دامغان واقع است. این محدوده دارای ۸٫۶ کیلومتر مربع است. نزدیکترین روستا به‌این محدوده روستای فولادمحله در ۷ کیلومتری می‌باشد. آب و هوای محدوده بین دو شرایط خشک و بیابانی در جنوب و مرطوب در شمال قرار گرفته و از هردو متاثر است. لذا دارای تابستان خنک و زمستان سرد و پربارش است. محدوده معدن بصورت یک رشته کوه شرقی – غربی است که ارتفاع در شرق حدود ۲۰۳۵ متر و در غرب منطقه ۱۹۸۰ متر و در بخش‌های میانی ۲۲۰۰ متر هست. رسوبات زغال‌دار البرز در محدوده چینه شناسی سازند شمشک قرار دارند. به دلیل تعدد لایه‌های زغالی، سازند شمشک دارای تقسیم بندی‌های مختلفی در طول البرز است که لایه‌های زغالی بصورت کم وبیش در آن ها پراکنده هستند. یکی از مهمترین قسمت‌های سازند شمشک که معدن گانو در آن واقع است، قسمت کلاریز نام دارد که شامل ماسه سنگ ریز و متوسط خاکستری مایل به سبز و کوارتز و آلورولیت و آرژلیت همراه با لایه‌های زغالی می‌باشد. این رخنمون علاوه بر معادن زغال هند در محدوده گانو نیز مشاهده می‌شود که شامل ۲۹ لایه زغال‌دار است و ۵ لایه آن نیز اقتصادی هستند و استخراج می‌شوند. شکل(۱) نقشه اورتوفتو محدوده معدنی را ارائه می‌دهد که در آن محل ماسه سنگ‌های خاکستری سطحی در میانه از واریزه‌های آهکی در شمال و آبریزهای فراوان در جنوب منطقه قابل شناسایی است. شکل(۲) مربوط به تفکیک واحدهای سنگی منطقه با استفاده از ترکیب رنگی RGB =۳،۵،۷ سنجنده تصویربردار عملیاتی زمین (OLI[۱]) هست که در آن بخش‌های رسوبی از بخش‌های پوشش گیاهی و آهکی قابل جداسازی است. شکل(۳) نقشه زمین‌شناسی ساده‌سازی شده محدوده معدن را نمایش می‌دهد. همانطور که مشخص است دو بخش بنفش رنگ و قهوه‌ای رنگ واحدهای اصلی محدوده هستند که رنگ بنفش بیانگر وجود ماسه سنگ وشیل همراه با رگه‌های زغال‌سنگ و رنگ قهوه‌ای بیانگر وجود آبرفت‌های جوان همراه با مخروط‌های شنی هستند. با توجه به شکل‌های(۱) تا (۳) وجود لایه‌های متراکم زغال‌سنگ در منطقه قابل اثبات می‌باشد.

در این مطالعه از باندهای مختلف داده‌های ماهواره‌ای سری لندست ۷و۸ برای تهیه LST و مدل تراکم لایه‌های زغال‌سنگ در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. داده‌های لندست۷ در ۲۸ آگوست ۲۰۰۰ ولندست۸ در ۲۷ آگوست ۲۰۲۰ اخذ شده‌اند.

همچنین داده‌های راداری سنتینل۱ که از ۳ تاریخ ۲۸ دسامپر ۲۰۱۴ و ۱۴ آگوست ۲۰۲۰ و ۲۶ آگوست ۲۰۲۰ اخذ شدند. از تصاویر اول و دوم جهت استخراج تغییرات ارتفاعی و ساختاری منطقه و از تصاویر دوم و سوم جهت استخراج مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شد.

از داده توپوگرافی رادار شاتل ($SRTM$[۲]) ۳۰متری نیز جهت تصحیحات داده‌های راداری سنتینل۱ استفاده گردید.

از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی گوگل ارث[۳] نیز جهت پایش بصری منطقه و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و تصویر قائم[۴] منطقه استفاده شد.

---

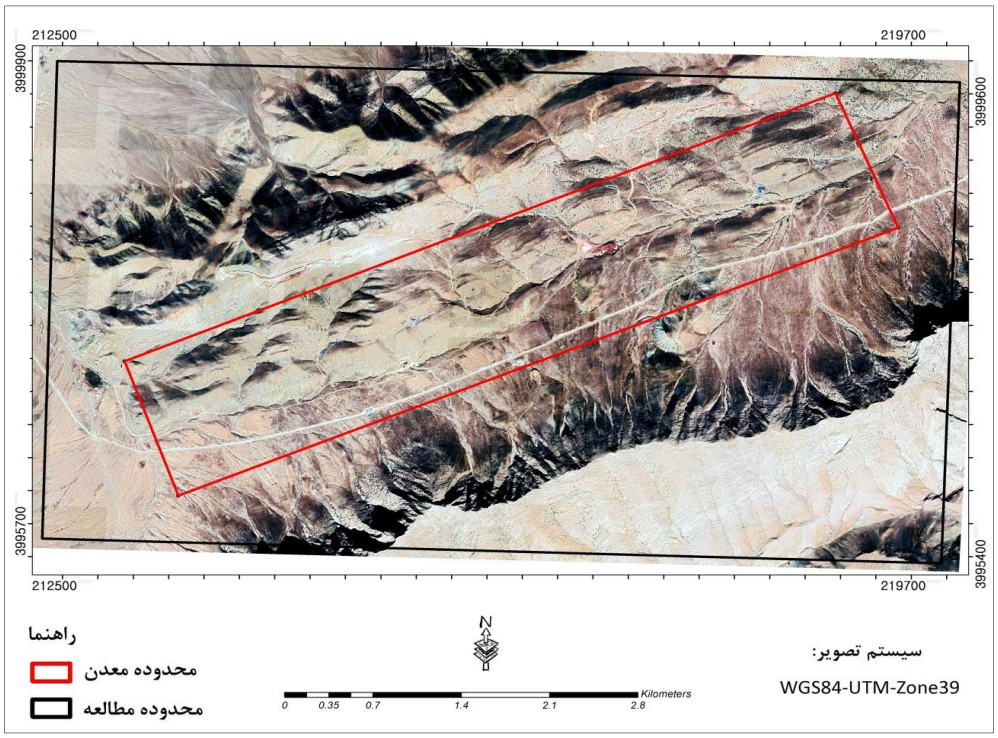
[۱] *Operational Land Imager*

[۲] *Shuttle Radar Topography Mission*

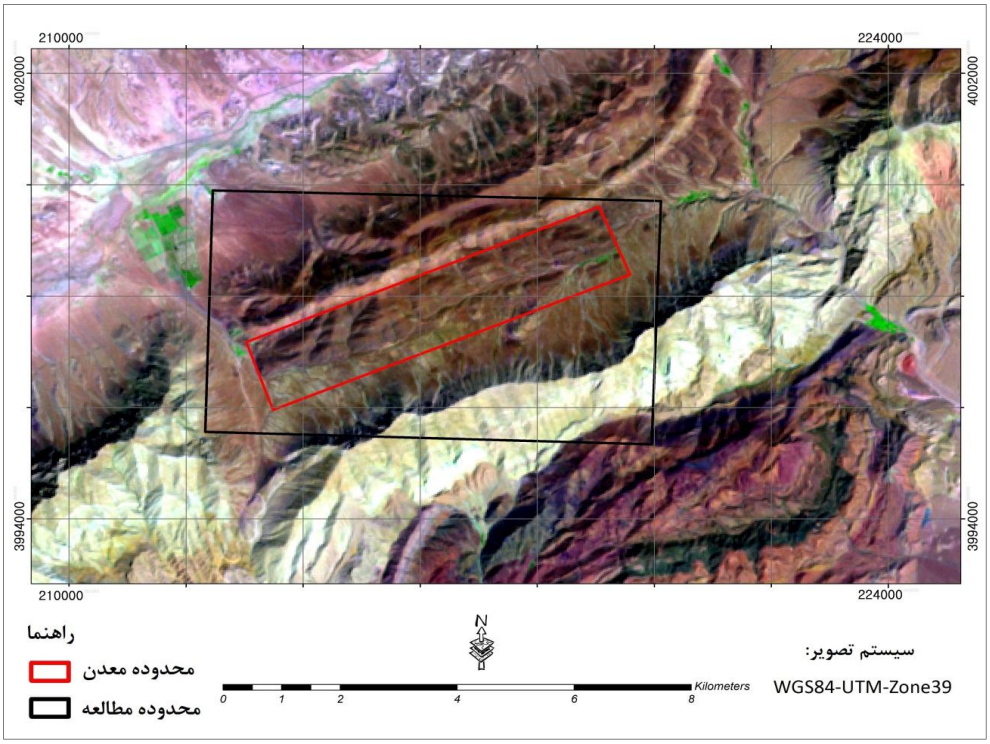
[۳] *GoogleEarth*

[۴] *OrthoPhoto*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

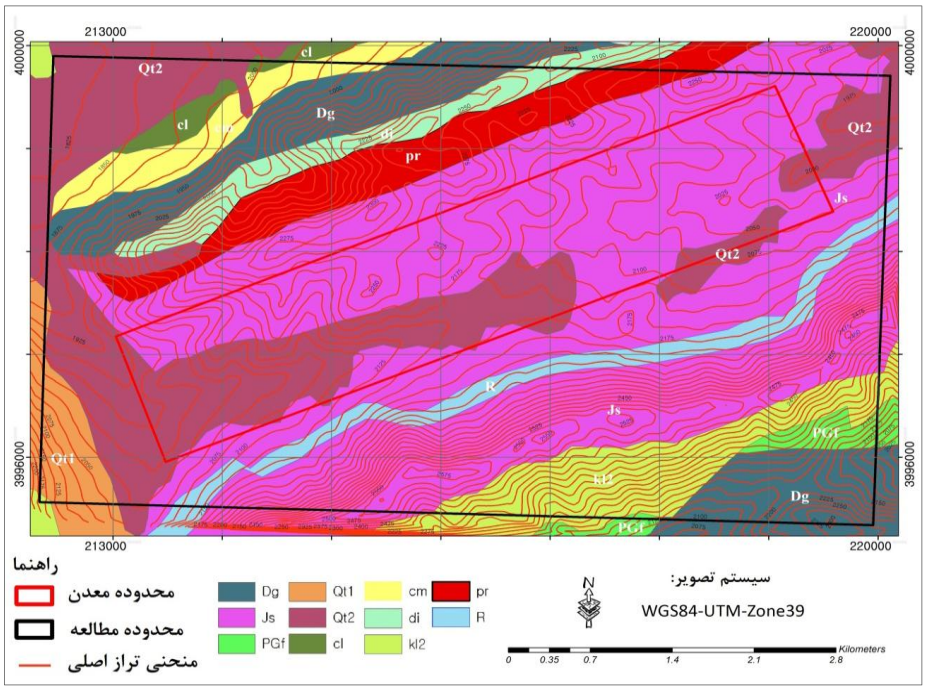


شکل۱: نقشه تصویر قائم از محدوده مورد مطالعه



شکل۲: ترکیب ۷،۵،۳ = *RGB* سنجنده *OLI* از محدوده معدن

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]



شکل۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده معدن(ساده‌سازی شده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساری)

۴- روش تحقیق

مطالعه حاضر در چند مرحله مانند جمع آوری داده‌ها، پیش پردازش تصاویر، شاخص‌سازی و تعیین حدآستانه برای شناسایی محل تراکم لایه‌های زغال‌سنگ در فاز اول، آماده‌سازی تصویر برای تخمین *LST* و برآورد حدآستانه درجه حرارت در فاز دوم، محاسبه میزان جابجایی ارتفاعی در محدوده معدن در فاز سوم، و نهایتا آشکارسازی تغییرات و بررسی آن انجام شده است. در شکل (۴) روندنمای روش تحقیق ارائه شده است.

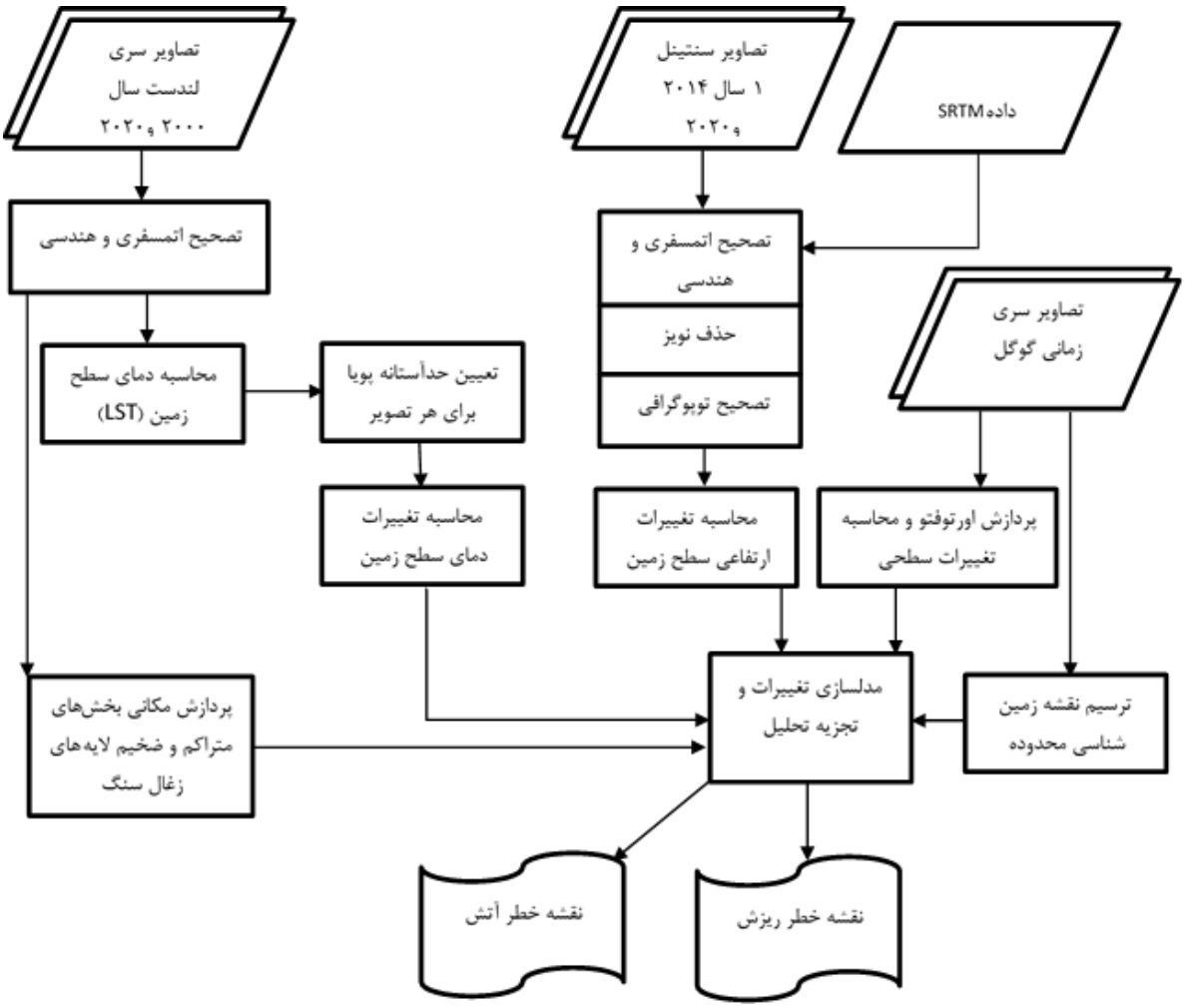
۴-۱- پیش پردازش داده‌ها

بهتر است قبل از پردازش اصلی، پیش پردازش مورد نیاز داده‌ها کنترل شود تا کیفیت تصویر افزایش یابد. در تصاویر سری لندست پیش پردازش تصاویر از نظر تصحیح اتمسفری، تصحیح هندسی و تصحیح رادیومتریکی قابل انجام است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این تحقیق از نظر هندسی اصلاح شده و هم مختصات بودند بنابراین هیچگونه اصلاح هندسی انجام نشد. با توجه به متادیتا تصاویر، در زمان تصویربرداری پوشش ابر کمتر از ۱٪ بوده است بنابراین نیازی به حذف ابر نیست. پیش پردازش اعمال شده بر روی تصاویر، تصحیح اتمسفری است که در نرم افزار اِنوی ۵٫۳[۱] انجام شد. در داده‌های راداری سنتینل۱ پیش پردازش و تصحیحات باید بصورت کامل توسط کاربر اعمال شود که به ترتیب عبارتند از: جداسازی منطقه مورد مطالعه از کل تصویر، تصحیحات مداری، هم مختصات کردن تصاویر، تصحیح هندسی، تصحیح رادیومتریکی، حذف نویز، عملیات چند وجهی و اعمال مدل زمین. همه‌این مراحل در نرم افزار اسنپ[۲] و با کمک داده‌های *SRTM* ۳۰ متری انجام شد.

[۱] *ENVI5.3*

[۲] *SNAP*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]



شکل۴: روند نمای روش تحقیق

۴-۲- استخراج لایه‌های متراکم زغال‌سنگ

یکی از عوامل مهم در ایجاد آتش، ماده سوختنی است. در معادن زغال‌سنگ وجود لایه‌های متراکم زغال‌سنگ از نظر اقتصادی بسیار مهم و ارزشمند است اما این مکان ها می‌توانند باعث انتشار گاز متان و ایجاد خطر آتش‌سوزی شوند.این موضوع از نظر بسیاری از محققین پنهان مانده که در این تحقیق به عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم به چگونگی استخراج آن پرداخته می‌شود. در اینجا، از داده‌های لندست ۸، استفاده شد.

ابتدا مقادیر درجه خاکستری تصاویر (*DN*[۱]) به مقادیر بازتاب[۲] تبدیل شده و پس از آن تصحیحات اعمال شد*[۲۶]* ، *[۱۲]*.

مکان مواد معدنی رسی با نسبت باندهای ۱ *SWIR* و ۲ *SWIR* تعیین می‌شود [۲۷]. این نسبت برای تشخیص تغییرات هیدروترمال مواد حاوی رس و آلونیت استفاده می‌شود [۲۷]. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، لایه‌های زغال‌سنگ در مناطق ماسه سنگی شکل

[۱] *Digital Number*

[۲] *Reflectance*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

می‌گیرد، پس وجود رس در آن مناطق کمینه است. با توجه به‌این نکته، در این تحقیق، از این نسبت باندی برای تعیین محدوده مناطق قابل استخراج سطحی استفاده شد. نسبت طیفی بین دو باند طیفی به صورت رابطه(۱) تعریف می‌شود[۲۸]:

$$R=(swir1-swir2)/(swir1+swir2) \quad \text{رابطه(۱)}$$

در رابطه (۱)، *swir1* و *swir2* به ترتیب مقادیر بازتاب باندهای ششم و هفتم سنجنده *OLI* هستند. شاخص *R* مقداری بین *[۱و۱-]* خواهد بود. بخش‌هایی از منطقه که دارای شاخص *R* نزدیک به صفر و منفی هستند، دارای لایه‌های متراکم زغال‌سنگ خواهند بود. تعیین حدآستانه مناسب برای شاخص *R*، با توجه به رابطه(۲)، اگر مقدار *f* برابر با ۱ باشد، به عنوان یک مکان بالقوه معدن زغال‌سنگ آزاد با لایه‌های متراکم زغال شناسایی می‌شود. *t* مقدار حدآستانه است که با اعمال آن، منطقه مورد مطالعه به دو قسمت "لایه زغال" و "غیره[۱]" تقسیم می‌شود. به صورت تجربی *t* مقداری برابر با ۰/۰۶ در منطقه مورد مطالعه بدست آمد.

$$F=\begin{cases}1 & R<t\\ 0 & \text{Other}\end{cases} \quad \text{رابطه(۲)}$$

پس از جداسازی مناطق مربوط به لایه‌های متراکم، تصویر خروجی با مقداری نویز و حفره همراه هست که نیاز به پس‌پردازش و اصلاح دارد. در این مرحله با اعمال فیلتر شکل شناسی گشایش[۲]، بدون کوچک شدن سایز تصویر نویز ها حذف شدند، سپس با اعمال فیلتر بستن[۳] بدون بزرگ شدن سایز تصویر حفره‌ها پر شدند. در نتیجه با استفاده از خروجی این دو فیلتر، مناطق مورد نظر بصورت نرم و بدون نویز و در فرمت برداری استخراج گردید.

۴-۳- استخراج *LST* و تعیین خطر آتش

باندهای حرارتی هر تصویر برای هر پیکسل یک عدد دیجیتال (*DN*) ذخیره می‌کند. تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای *LST* ها، حاصل از مقادیر *DN* تصاویر گرفته شده در بازه زمانی مختلف ، ممکن است به دلیل تغییر در مشخصات سنسور مناسب نباشد. بنابراین، بهتر است به جای بازتاب سطح، از درخشش (رادیانس *ToA*[۴]) استفاده شود[۱۲]. از مقادیر *DN* با استفاده از روابط(۳) و (۴) می‌توان درخشندگی *ToA* را تعیین نمود[۱۳].

$$L'_\lambda = M_p \times Q_c + A_p \quad \text{رابطه(۳)}$$

که در این رابطه L'_λ مقدار بازتاب، بدون تصحیح زاویه خورشیدی، *Mp* عامل رسوب زدایی ضربی مربوط به باند مورد استفاده که‌این را می‌توان از فراداده[۵] تهیه نمود، A_p عامل رسوب افزایشی مربوط به باند مورد استفاده که‌این مقدار را می‌توان از فراداده استخراج کرد. Q_c مقادیر پیکسل استاندارد (*DN*) می‌باشد.

بازتاب *ToA* با تصحیح زاویه خورشید با استفاده از رابطه (۴) بدست آمد[۱۴].

$$L_\lambda = \frac{L'_\lambda}{\cos(\theta_{sz})} = \frac{L'_\lambda}{sin(\theta_{se})} \quad \text{رابطه(۴)}$$

در رابطه (۴) L_λ درخشش *TOA*، θ_{se} زاویه ارتفاع محلی خورشید. این را می‌توان از فراداده بدست آورد. θ_{sz} زاویه اوج محلی خورشید $\theta_{sz}=90^\circ-\theta_{se}$ است.

پس از به دست آوردن درخشندگی *TOA* ، دمای روشنایی (*T*) با استفاده از رابطه (۵) تعیین شد که فرم ساده معکوس رابطه پلانک[۶] است[۱۴] .

$$T=\frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_\lambda}+1\right)}-273/15 \quad \text{رابطه(۵)}$$

در رابطه (۵)، *T* دمای روشنایی *ToA*، *K*۱ و *K*۲ ثابت تبدیل حرارتی مخصوص باند هست و از فراداده بدست

---

[۱] *Other*

[۲] *Opening*

[۳] *Closing*

[۴] *TOA Radiance*

[۵] *Metadata*

[۶] *Plank*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

می‌آید. مقادیر $K1$ و $K2$ برای تصاویر مختلف لندست متفاوت است (لندست۷و لندست۸). سرانجام ، میزان *LST* تصحیح شده در میزان انتشار از دمای روشنایی *ToA* با استفاده از رابطه (۶) تعیین شد [۱۴].

$$LST = \frac{T}{1 + w \times (\frac{T}{\frac{HC}{s}}) \times \ln(E)}$$ رابطه(۶)

در رابطه(۶)، *LST* دمای سطح زمین ($^{\circ}C$)، w طول موج درخشندگی ساطع شده ، که مقدار درخشش باند اصلاح شده است. h ثابت پلانک = $۶/۶۶\times۱۰^{-۳۴}$ (js)، s ثابت بولتزمن = $۱/۳۸\times۱۰^{-۲۳}$ (jk^{-1})، C سرعت نور = $۲/۹۹۸\times۱۰^{۸}$ (ms^{-1})، E قابلیت انتشار سطح زمین (LSE[۱]) می‌باشد.

LSE (ε) پارامتر مهمی برای اندازه گیری میزان تابش حرارتی دما و طول موج غیرمعمول است. مقدار ε برای یک جسم معمولی در سطح زمین با میانگین تابش جسم نشان داده می‌شود. نقشه *LSE* از مقادیر شاخص ($NDVI$[۲]) مطابق روش پیشنهادی سابرینو و همکاران (۲۰۰۸) و اسکوکویچ و همکاران (۲۰۱۴) برای داده‌های لندست۵،۴و۷(باند ۶) و لندست۸(باند ۱۰)، در جدول (۱) بدست آمد[۲۹و۳۰].

در جدول(۱) ، ρRed مقدار بازتاب سطح باند قرمز است ، Pv نسبت گیاهان است و $\Delta\varepsilon$ اثر حفره به دلیل زبری سطح است ($\Delta\varepsilon = ۰$ برای سطوح صاف). مقدار Pv و $\Delta\varepsilon$ به ترتیب با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه شد[۳۱].

$$P_V = (\frac{(NDVI) - (NDVI)_{min}}{(NDVI)_{max} - (NDVI)_{min}})^2$$ رابطه(۷)

$$\Delta E = (1 - E_S) \times (1 - P_V) \times F \times E_V$$ رابطه(۸)

در رابطه (۸)، F یک عامل شکل هندسی است و مقدار متوسط آن۰/۵۵ است [۳۲]. میزان انتشار پذیری خاک ($\varepsilon_s = ۰/۹۶۶$) و پوشش گیاهی ($\varepsilon_V = ۰/۹۸۶$) برای لندست۸ (باند ۱۰) در نظر گرفته شد.

نقشه *NDVI* با استفاده از روش استاندارد (رابطه (۹)) تولید شده است. در این رابطه از مقادیر بازتاب سطح سری لندست استفاده شد.

$$P_V = (\frac{\rho(NIR) - \rho(RED)}{\rho(NIR) + \rho(RED)})$$ رابطه(۹)

NDVI نمایانگر شاخص نرمال تفاضلی گیاه است ، $\rho(NIR)$ و $\rho(RED)$ به ترتیب مقادیر بازتاب سطح در *NIR* و باند قرمز هستند.

پس از تعیین مقادیر *LST* برای هر پیکسل ، یک مقدار حدآستانه بر اساس تجزیه و تحلیل آماری برای جداسازی پیکسل‌های خطرآتش از پیکسل‌های بی‌خطر تعیین شد. یک مقدار حدآستانه جداگانه برای دو صحنه استفاده شد. برای تخمین مقدار حدآستانه با استفاده از رابطه (۱۰) از دو پارامتر آماری میانگین (m_{LST}) و انحراف معیار (δ_{LST}) مقادیر *LST* استفاده شد [۱۴].

$$\sigma_{LST} = m_{LST} + 2\delta_{LST}$$ رابطه(۱۰)

این فرآیند به تعیین مرزهای مناطق واقعی در معرض خطر آتش کمک می‌کند. تمام پیکسل‌هایی که مقادیر *LST* بالاتر از مقدار آستانه (σ_{LST}) را نشان می‌دهند، به عنوان پیکسل‌های دارای پتانسیل خطر آتش تعیین شدند. سپس میزان تغییرات مکان‌های پتانسیل‌دار آتش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

[۱] *Land Surface Emissivity*

[۲] *Normalized Difference Vegetation Index*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

جدول ۱: محدوده‌های *NDVI* و مقادیر قابل انتشار *LSE*

NDVI	*LSE* لندست۷/۵/۴	*LSE* لندست۸
$NDVI< ۰/۲$	۰/۰۳۵ -۰/۹۷۹	۰/۰۴۶ -۰/۹۷۹
$۰/۲ <NDVI< ۰/۵$	$۰/۰۰۴ PV + ۰/۹۸۶$	$۰/۹۸۷ PV + ۰/۹۷۱ (۱-PV) + \Delta E$
$۰/۵ <NDVI$	۰/۹۹۰	$۰/۹۸۷ + \Delta E$

۴-۴- استخراج مدل و تغییرات ارتفاعی راداری

با استفاده از تصاویر راداری می‌توان مدل ارتفاعی رقومی و یا نقشه جابجایی سطح زمین را تهیه کرد. تکنیکی که برای استخراج این اطلاعات مکانی به کار می‌رود تحت عنوان تداخل‌سنجی شناخته می‌شود که در آن اختلاف فاز بین دو یا چند تصویر *SAR* محاسبه شده و این اختلاف فاز به توپوگرافی و یا جابجایی‌های سطحی نسبت داده می‌شود.

در روش‌های تداخل‌سنجی از اطلاعات فاز بین دو موج متفاوت برای استخراج اطلاعات مربوط به انتشار مکانی یا زمانی این امواج استفاده می‌شود. تداخل‌سنجی رادار دریچه مصنوعی[۱] (*InSAR*) یک تکنیک سنجش از دور است که به منظور مطالعه حرکات سطح زمین در زمین لرزه ۱۹۹۲ لندرز کالیفرنیا ابداع شد. در تکنیک *InSAR*، دو یا چند تصویر *SAR* برای تولید مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*[۲]) یا تهیه نقشه جابجایی سطح زمین[۳] به کار می‌روند. در این تکنیک، اختلاف فاز بین دو موج متفاوت اندازه گیری شده و این اختلاف فاز به تغییر فاصله بین سنجنده و تارگت یا جابجایی سطح زمین نسبت داده می‌شود. تصاویر *SAR* جابجایی سطح زمین را در راستای خط دید ماهواره به دست می‌دهند؛ اما با استفاده از تصاویر *SAR* که در دو حالت صعودی[۴] و نزولی[۵] تهیه شده‌اند، امکان اندازه گیری جابجایی‌های سطح زمین در سه راستای قائم، شمالی و شرقی فراهم می‌شود.

در تکنیک *InSAR*، دو یا چند تصویر *SAR* برای تولید مدل ارتفاعی رقومی (*DEM*) یا تهیه نقشه جابجایی سطح زمین به کار می‌روند. در این تکنیک، اختلاف فاز بین دو موج متفاوت اندازه گیری شده و این اختلاف فاز به تغییر فاصله بین سنجنده و تارگت یا جابجایی سطح زمین نسبت داده می‌شود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنتینل۱ سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۲۰، مدل ارتفاعی محدوده و مدل جابجایی ارتفاعی سطح زمین منطقه مورد مطالعه در نرم افزار اسنپ استخراج شد.

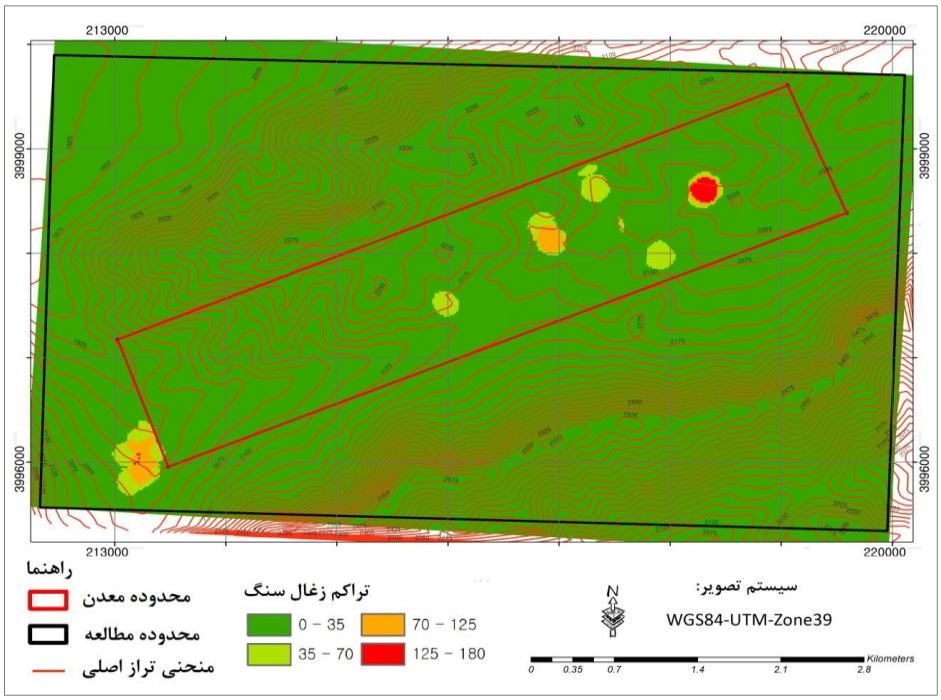
۵- نتایج و اعتبارسنجی

پس از جمع آوری و پیش پردازش، پردازش اصلی داده‌های ماهواره‌ای طبق روش تحقیق ارائه شده انجام شد که نتایج آن در شکل(۵) ارائه می‌گردد.

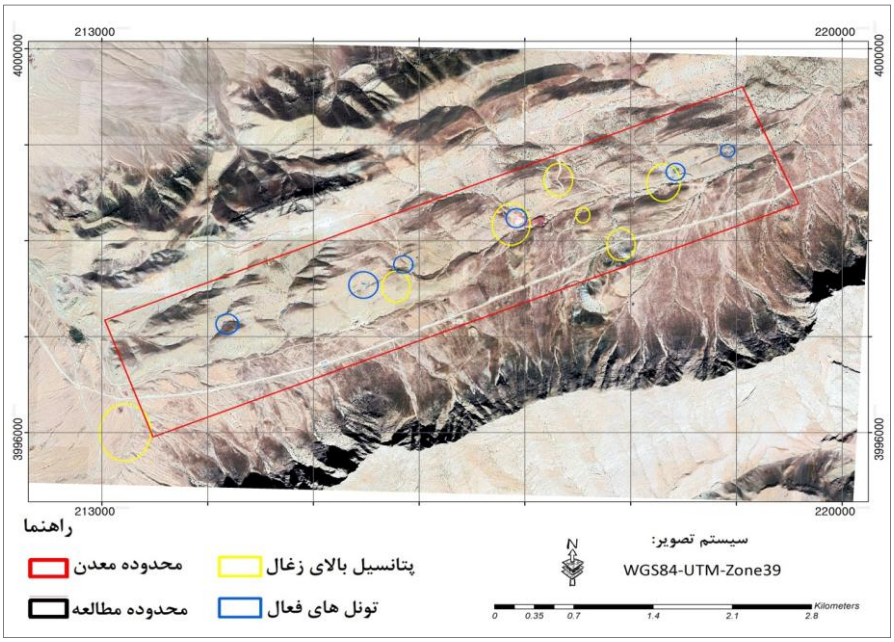
پس از پیاده‌سازی شاخص شناسایی لایه‌های زغال‌سنگ و اعمال حدآستانه بهینه ۰/۰۶ ، قسمت‌هایی از منطقه که دارای لایه‌های زغال‌سنگ متراکم و اقتصادی هستند شناسایی شده و بر اساس اولویت خلوص زغال‌سنگ، طبقه‌بندی شده و نقشه آن در شکل(۶) ارائه می‌گردد.

[۱] *Interferometric Synthetic Aperture Radar*
[۲] *Digital Elevation Model*
[۳] *Surface Deformation Map*
[۴] *Ascending*
[۵] *Descending*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]



شکل ۵: نقشه مکان لایه‌های متراکم زغال‌سنگ

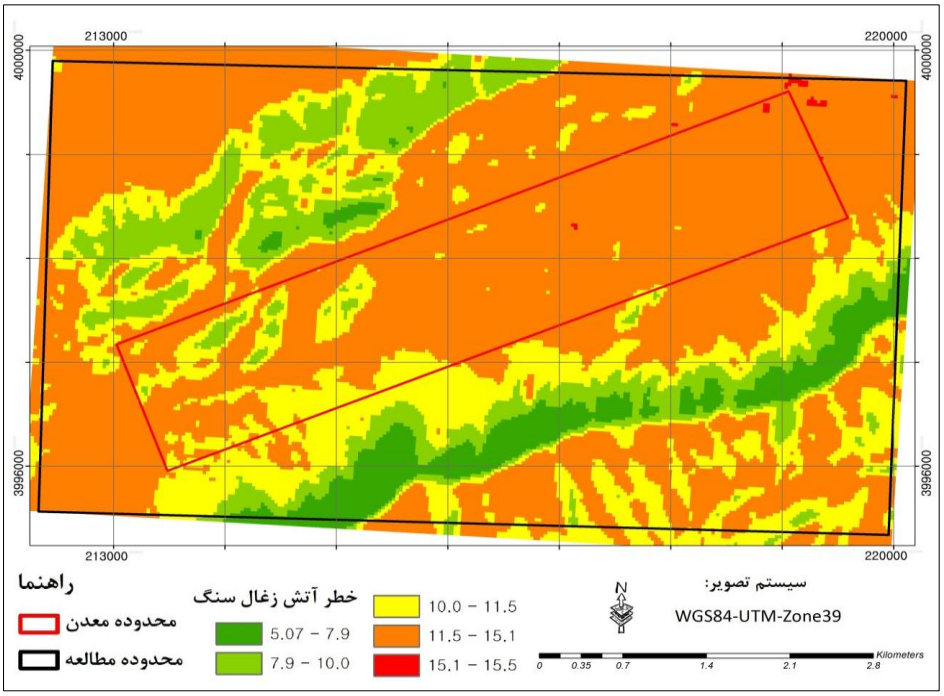


شکل ۶: جانمایی مکان لایه‌های متراکم زغال‌سنگ (رنگ زرد) و دهانه اکتشافی معدن (رنگ آبی)

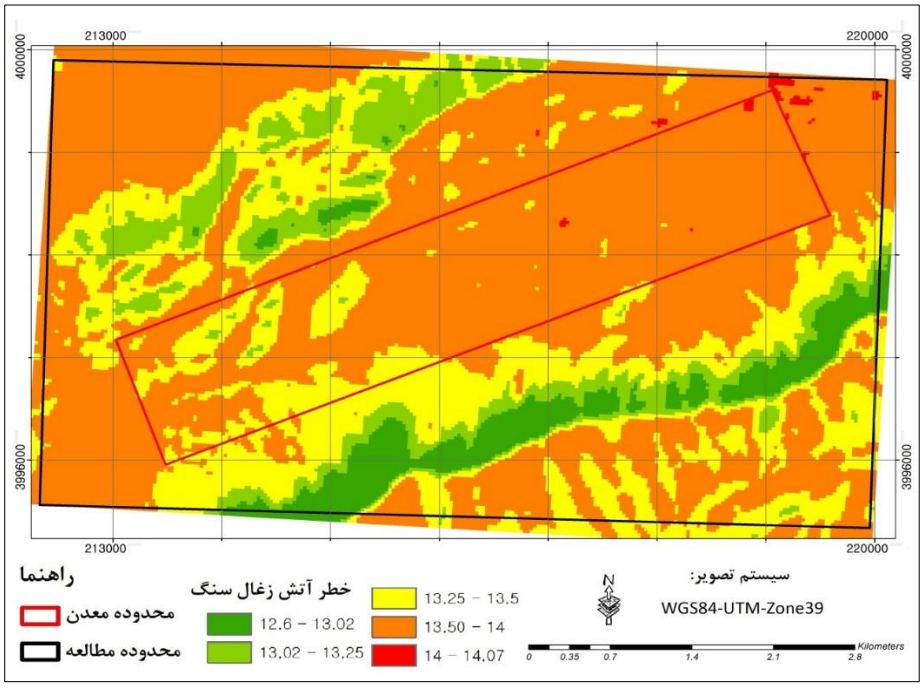
همانطور که مشخص است در ۶ بخش آنومـالی تـراکم لایه زغال‌سنگ شناسایی شده کـه بـرای اعتبارسـنجی آن، محل آنومالی تراکم زغال‌سنگ روی نقشـه اجرایـی معدن جانمایی شد. مشاهده شد کـه در نزدیکـی چهـار بخش از مناطق آنومالی شناسایی شده، دهانه اکتشافی احداث شده و استخراج زغال‌سنگ انجـام مـی‌شـود. بـا

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

استفاده از نقشه تصویرقائم منطقه که از تصاویر گوگل ارث تهیه شده بود (شکل (۶))، جانمایی لایه‌های تراکم با دوایر زرد رنگ و لایه‌های مربوط به دهانه اکتشافی با دوایر آبی رنگ نمایش داده می‌شود.



شکل ۷: نقشه *LST* در تاریخ ۲۰۰۰/۸/۲۷ (*ETM+*)

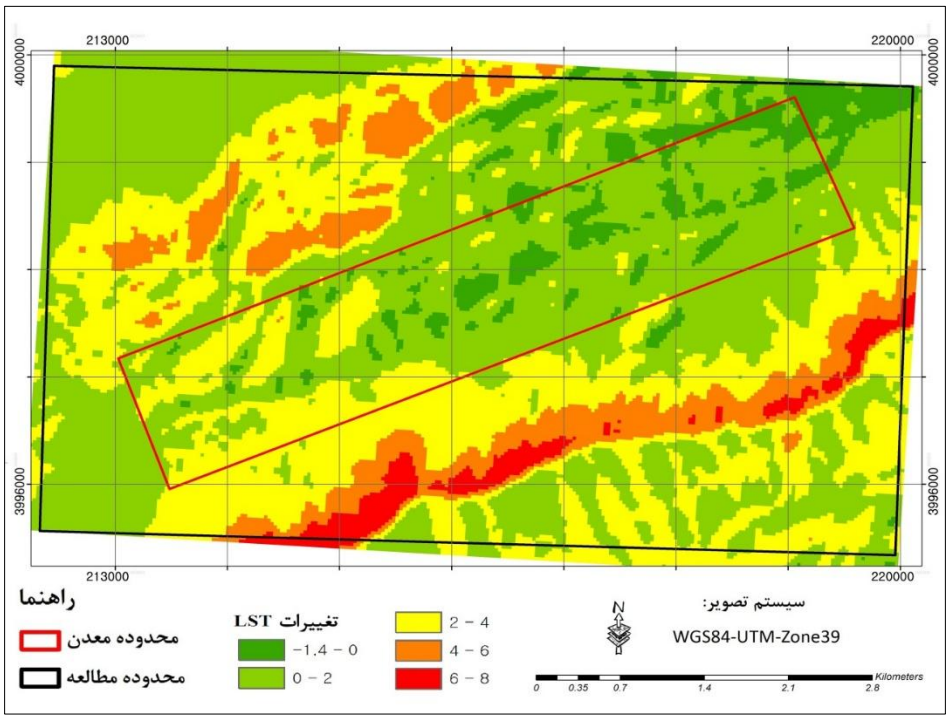


شکل ۸: نقشه *LST* در تاریخ ۲۰۲۰/۸/۲۸ (*OLI*)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

دمای سطح زمین (*LST*) با استفاده از رابطه پلانک و داده‌های لندست برآورد شده و حدآستانه برای *LST* حاصل از تصویر *ETM+* برابر با ۱۵٫۱۴ درجه سانتیگراد و برای *LST* حاصل از تصویر *OLI* برابر با ۱۴٫۰۲ درجه سانتیگراد حاصل شد که نتایج آن در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه می‌شود. مقادیر حد آستانه *LST* ، با استفاده از مجموع میانگین به اضافه دوبرابر انحراف معیار *LST* (رابطه (۱۰))، برای هر دو سال جهت تشخیص و ترسیم پیکسل‌های پتانسیل‌دار خطرآتش تخمین زده شد.

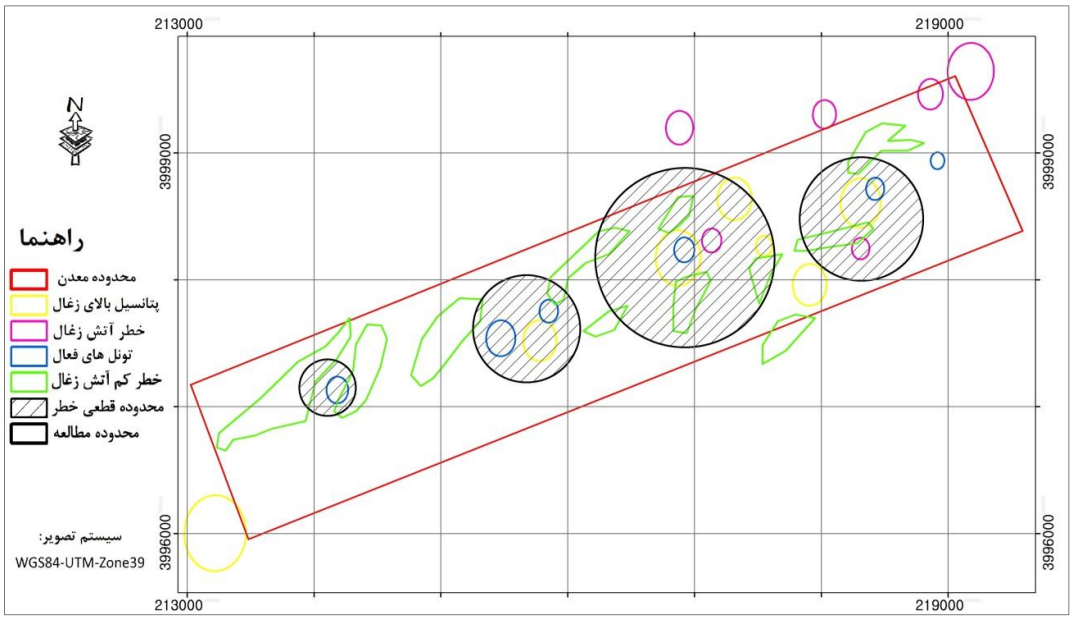
به دلیل محدودیت‌های ایاب و ذهاب، شرایط آب و هوایی و توپوگرافی منطقه، امکان برداشت میدانی دمای سطحی منطقه مقایسه وجود نداشت. جهت اعتبارسنجی نتایج این بخش، از روش ارائه شده توسط بیسوال و همکاران (۲۰۲۰) استفاده شد[۱۴]. در این بررسی بیشترین *LST* برآورد شده در منطقه مورد مطالعه در حدود ۲۰ درجه سانتیگراد بود که از اشباع شدگی (حدود ۵۰ درجه سانتیگراد) دور است و نتایج قابل اعتماد هستند.



شکل ۹- نقشه تغییرات *LST* بین دو تاریخ مورد مطالعه

با توجه به شکل‌های (۷) و (۸) ، قسمت‌های قرمز رنگ از منظر دمای سطحی زمین و حدآستانه اعمال شده، دارای خطر آتش شناسایی شده‌اند و مناطق با سایر رنگ ها دارای پتانسیل خطر نیستند. اما با بررسی تغییرات دمایی مابین دو تاریخ مورد نظر، مشخص شد که بخش قابل توجهی از محدوده معدن دچار افزایش دمای ۲-۴ درجه‌ای شده (رنگ زرد) و بخش‌های کوچکی با افزایش دمای ۴-۶ درجه‌ای مواجه شده و به پتانسیل خطر نزدیک می‌شوند. قسمت‌هایی که دارای رنگ قرمز هستند، افزایش دمای ۶-۸ درجه‌ای داشته و می‌توانند خطرناک باشند، از محدوده معدن خارج هستند و روی ارتفاعات قرار می‌گیرند و از طرف دیگر از لایه‌های متراکم زغال‌سنگ دور هستند، در نتیجه پتانسیل خطر آتش را ندارند که در شکل (۹) نمایش داده می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]



شکل ۱۰- نقشه اولویت بندی خطر آتش‌سوزی بر اساس وجود لایه متراکم، وجود خطر از منظر *LST* و نزدیکی دمای سطح پیرامونی به حدآستانه خطر(دایره مشکی بزرگتر دارای خطر بیشتر است).

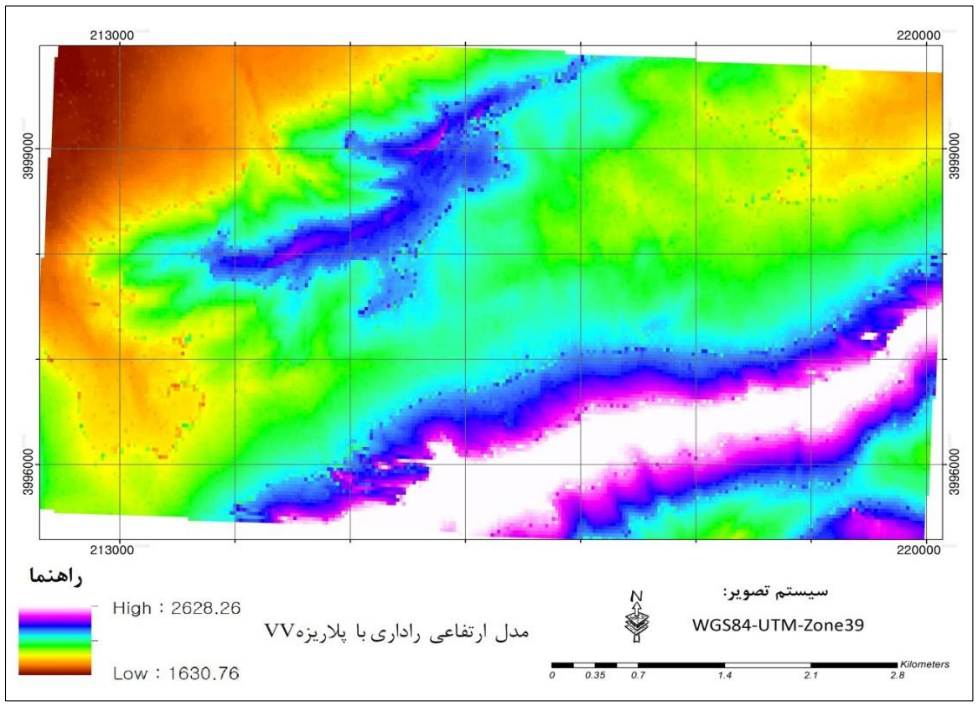
برای بررسی بیشتر خطر ناشی از افزایش دما، لایه‌های برداری مناطق خطر موجود، مناطق خطر آینده و لایه‌های متراکم زغال‌سنگ در یک نقشه مورد مطالعه قرار گرفت (شکل (۱۰)). بر اساس تئوری ارائه شده در روش تحقیق، وجود لایه‌های با تراکم بالای زغال‌سنگ (دوایر زرد رنگ)، پتانسیل خطر آتش از نقشه *LST* (دوایر بنفش رنگ)و همچنین مناطق دارای پتانسیل افزایش دما که در شکل (۹) ارائه شد (منحنی‌های سبز رنگ)، مناطق دارای خطر آتش‌سوزی اولویت بندی شد که در شکل (۱۰) ارائه شد. در این شکل دایره‌های مشکی رنگ بنابر بزرگی شعاع میزان خطر آتش زغال‌سنگ را نمایش می‌دهند.

همانطور که بیان گردید، جهت مطالعه تغییرات ساختاری و ارتفاعی محدوده معدنی مورد مطالعه از تصاویر راداری سنتینل۱ در ۳ تاریخ استفاده شد و با اعمال روش تداخلسنجی راداری در نرم افزار اسنپ مدل ارتفاعی و میزان تغییرات ارتفاعی سطح (فرونشست) با پلاریزه*VV*[1] تصاویر استخراج گردید که به ترتیب در شکل (۱۱) و (۱۳) ارائه می‌گردد. جهت اعتبارسنجی مدل ارتفاعی راداری، این محصول با مدل ارتفاعی بدست آمده از تصاویر هوایی (شکل (۱۲)) منطقه مقایسه شد.

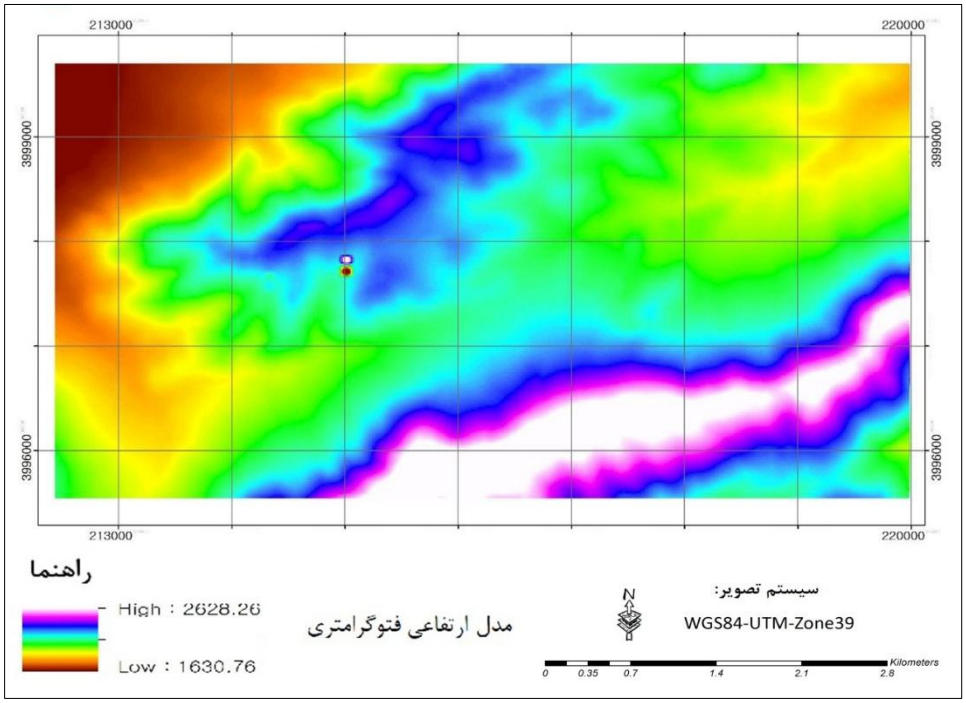
این دو مدل در حالت کلی بسیار به یکدیگر شبیه هستند، اما مدل ارتفاعی راداری نسبت به مدل فتوگرامتری یک جابجایی ارتفاعی ۱۵ متری دارد که ناشی از تفاوت در اعداد ارتفاعی مطلق محدوده است. با اعمال جابجایی و ایجاد بازه ارتفاعی مشترک، هر دو مدل بر هم منطبق شدند و تغییرات ارتفاعی در هر دو مدل ارتفاعی تقریبا یکسان هستند. در بخش‌هایی از محدوده نیز عدم انطباق اعداد ارتفاعی وجود داشت که‌این اختلاف در بیشترین حالت برابر ۵/۸۷ متر بدست آمد.

[1] *VV-POLARIZED*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]



شکل ۱۱: نقشه مدل ارتفاعی محدوده معدن (حاصل از تداخل‌سنجی راداری سنتینل۱*VV-polarized*)

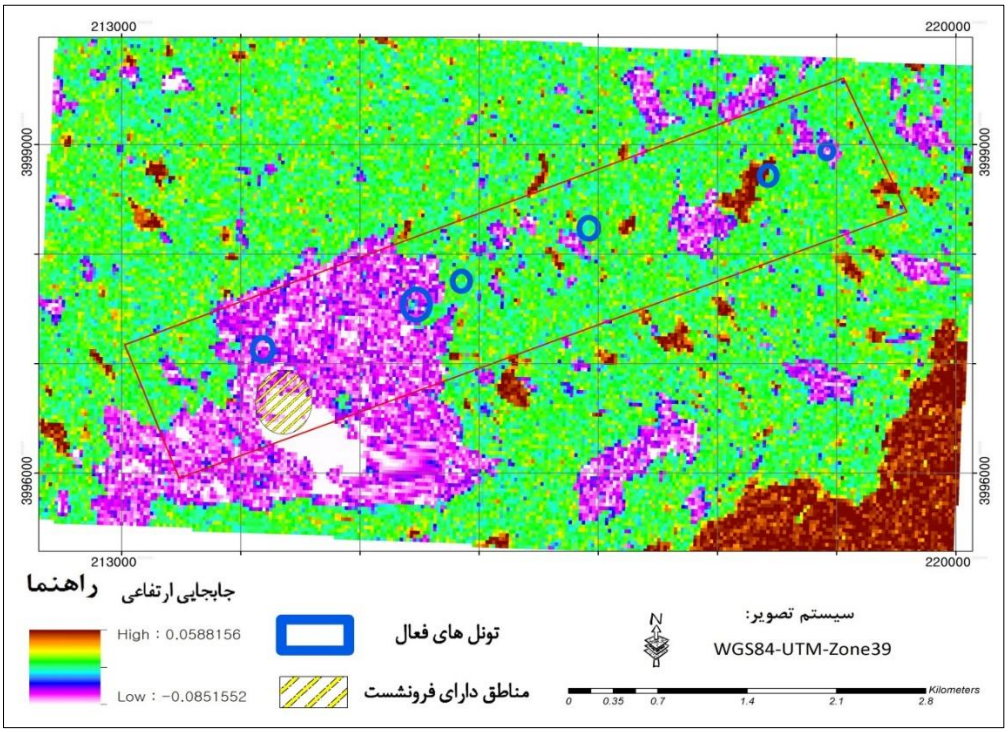


شکل ۱۲: نقشه مدل ارتفاعی محدوده معدن (حاصل از روش فتوگرامتری هوایی)

با توجه به شکل (۱۳)، بخش سفید رنگ از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ تا حدود ۹ سانتیمتر فرونشست داشته است. همچنین در قسمت قهوه‌ای رنگ نیز تا حدود ۵ سانتیمتر افزایش ارتفاع داشته است. بنابر نقشه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

زمین‌شناسی در شکل (۳)، قسمت‌های دارای فرونشست دارای جنس ماسه سنگی بوده و از استحکام ضعیفی در حفظ اسکلت خود برخوردار هستند. جهت اعتبارسنجی نتیجه‌این بخش، با بررسی‌های میدانی مشخص شد که محدوده مورد مطالعه در قسمت دایره زرد رنگ چندین بار در سال گذشته دچار ریزش شده است که‌این قسمت انطباق کامل با نقشه جابجایی ارتفاعی (فرونشست) ارائه شده در شکل(۱۳) دارد. در نتیجه قسمت‌های سفید رنگ دارای پتانسیل خطر ریزش هستند. دهانه‌های اکتشافی نیز با دوایر آبی رنگ جانمایی شده‌اند که ۳ دهانه در معرض خطر ریزش هستند.



شکل ۱۳: نقشه مدل تغییرات ارتفاعی در سطح محدوده معدن (حاصل از تداخلسنجی راداری سنتینل۱*VV-polarized*-)

۶- نتیجه گیری

در مطالعه حاضر تلاش شد تا روشی برای شناسایی کامل خطرات اصلی موجود در معادن زغال‌سنگ یعنی تشخیص خطر آتش و خطر ریزش در معادن زغال‌سنگ با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دوری و آشکارسازی تغییرات این خطرات در محدوده معدنی گانو در غرب دامغان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ ارائه شود.

نتایج مطالعه نشان داد که روش‌های پیشنهادی برای داده‌های سنجش از دور اپتیکی استفاده شده می‌تواند با استخراج صحیح لایه‌های تراکم زغال‌سنگ و نقشه *LST* در مناطق معدنی زغال‌سنگ، خطر آتش‌سوزی زیرسطحی یا سطحی را پیش‌بینی کند و همچنین انتشار یا روند خطر آتش‌سوزی را که در یک دوره مشخص اتفاق می‌افتد، مطالعه کند. مناطق آتش‌سوزی زغال سنگ بر اساس مقدار حد آستانه پویای *LST* برای داده‌های چند زمانی لندست شناسایی شد. نتایج مطالعه نشان داد که پوشش محدوده خطر آتش از سال ۲۰۰۰ (۳۸۷۰۰ مترمربع) به سال ۲۰۲۰ (۹۱۸۰۰ مترمربع) افزایش یافته است. در همین دوره زمانی، مناطق جدید دارای خطر آتش‌سوزی برابر (۵۳۱۰۰ مترمربع) اضافه شده است. علاوه بر این حدود ۱٫۱۶

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

کیلومترمربع با پتانسیل کم خطر آتش‌سوزی درحال نزدیکی به مرز پرخطر می‌باشد. همچنین با استفاده از تصاویر راداری در زمان‌های مختلف، خطر فرونشست و ریزش این معادن را با دقت سانتیمتری برآورد شد. بخشی با وسعت ۰٫۴۸کیلومترمربع دارای فرونشست پله‌ای شده و از نظر ریزش بسیار خطرناک است که ریزش‌های متعدد معدن در سال گذشته در این منطقه صحت نتایج را تایید کرد. این نشان می‌دهد که در حال حاضر قبل از آنکه وضعیت وخیم تر شود وضعیت هشدار دهنده‌ای برای انجام اقدام لازم، ایجاد شده است.

مراجع

[1] H. Heidari, "Iranian Coal Tectonics", First Coal National Congress, Shahroud, 2012.

[2] K. Brooks, and D. Glasser, "A Simplified Model of Spontaneous Combustion in Coal Stockpiles", Fuel 65: 1035–1041, 1986.

[3] K. Brooks, V. Balakotaiah, and D. Luss, " Effect of Natural Convection on Spontaneous Combustion of Coal Stockpiles", AIChE Journal 34 (3): 353 – 365, 1988.

[4] J. N. Carras, S. J. Day, A. Saghafi, and D. J. Williams, " Greenhouse Gas Emissions from Low-Temperature Oxidation and Spontaneous Combustion at Open-Cut Coal Mines in Australia", International Journal of Coal Geology 78 (2): 161 – 168, 2009.

[5] R. V. K. Singh, "Spontaneous Heating and Fire in Coal Mines", Procardia Engineering 62: 78 – 90, 2013.

[6] C. Kuenzer, and G. B. Stracher, " Geomorphology of Coal Seam Fires", Geomorphology 138 (1): 209 – 222, 2012.

[7] P. K. Gangopadhyay, " Coal Fire Detection and Monitoring in Wuda North China – A Multi- Spectral and Multi-Sensor TIR Approach", MSc Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands, 19p, 2003.

[8] E. A. Wrigley, "Energy and the English Industrial Revolution", Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

[9] C. Kuenzer, and G. B. Stracher, " Geomorphology of Coal Seam Fires", Geomorphology 138 (1): 209 – 222,2012.

[10] R. Kumar, S. Sharma, and S. Muniyan. " Environmental Issues of Coal Mines and Its Allied Industries : Volume - I", In International Conference and Exhibition on Energy & Environment : Challenges & Opportunities: 332 – 339. Vol. 1. New Delhi,2019.

[11] C. Kuenzer, C. Hecker, J. Zhang, S. Wessling, and W. Wagner, "The Potential of Multidiurnal MODIS Thermal Band Data for Coal Fire Detection", International Journal of Remote Sensing 29 (3): 923 – 944, 2008.

[12] E. Vermote, C. Justice, M. Claverie, and B. Franch, " Preliminary Analysis of the Performance of the Landsat 8/OLI Land Surface Reflectance Product", Remote Sensing of Environment 185: 46 – 56, 2016.

[13] B. Praveen, and D. Gupta, " Multispectral-TIR Data Analysis by Split Window Algorithm for Coal Fire Detection and Monitoring", International Journal of Humanities and Social Science Invention 6 (5): 7 – 19, 2017.

[14] S. Biswal, S. Gorai, "Change detection analysis in coverage area of coal fire from 2009 to 2019 in Jharia Coalfield using remote sensing data", International Journal of Remote Sensing 41(24):9545-9564, 2020.

[15] A. Bhattacharya, and S. Reddy, " Underground and Surface Coal Mine Fire Detection in India' s Jharia Coal Field

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

Using Airborne Thermal Infrared Data" , Asian Pacific Remote Sensing Journal 7: 59 - 73, 1994.

[16] C. S. S. Reddy, S. K. Srivastav, and A. Bhattacharya, "Application of Thematic Mapper Short Wavelength Infrared Data for the Detection and Monitoring of High Temperature Related Geoenvironmental Features" , International Journal of Remote Sensing 14 (17): 3125 - 3132, 1993.

[17] P. K. Gangopadhyay, B. Maathuis, and P. V. Dijk, "ASTER-Derived Emissivity and Coal-Fire Related Surface Temperature Anomaly: A Case Study in Wuda, North China" , International Journal of Remote Sensing 26 (24): 5555 - 5571, 2005.

[18] S. Wessling, C. Kuenzer, W. Kessels, and M. W. Wuttke, "Numerical Modeling for Analyzing Thermal Surface Anomalies Induced by Underground Coal Fires" , International Journal of Coal Geology 74 (3 - 4): 175 - 184, 2008.

[19] L. Giglio, I. Csiszar, A. Restas, J. T. Morisette, W. Schroeder, D. Morton, and C. O. Justice, "Active Fire Detection and Characterization with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)" , Remote Sensing of Environment 112 (6): 3055 - 3063, 2008.

[20] R. K. Mishra, P. P. Bahuguna, and V. K. Singh, "Detection of Coal Mine Fire in Jharia Coal Field Using Landsat-7 ETM+ Data" , International Journal of Coal Geology 86 (1): 73 - 78, 2011.

[21] X. Yu, X. Guo, and Z. Wu, "Land Surface Temperature Retrieval from Landsat-8 TIRS Comparison between Radiative Transfer Equation-Based Method, Split Window Algorithm and Single Channel Method" , Remote Sensing 6 (10): 9829 - 9852, 2014.

[22] W. Schroeder, P. Oliva, L. Giglio, B. Quayle, E. Lorenz, and F. Morelli, "Active Fire Detection Using Landsat −8/OLI Data" , Remote Sensing of Environment 185: 210 - 220, 2016.

[23] T. Wang, J. Shi, Y. Ma, L. Husi, E. Comyn-Platt, D. Ji, T. Zhao, and C. Xiong, " Recovering Land Surface Temperature under Cloudy Skies considering the Solar-Cloud-Satellite Geometry: Application to MODIS and Landsat-8 Data" , Journal of Geophysical Research: Atmospheres 124 (6): 3401 - 3416, 2019.

[24] S. Yan, K. Shi, Y. Li, J. Liu, "Integration of Satellite Remote Sensing Data in Underground Coal Fire Detection: A Case Study of the Fukang Region, Xinjiang, China" , Frontiers of Earth Science 14 (1): 1 - 12, 2019.

[25] G. Forkuor, T. Ullmann, M. Griesbeck, "Mapping andMonitoring Small-ScaleMining Activities in Ghana using Sentinel-1 Time Series (2015–2019)", Remote Sens, 12, 911,2020.

[26] "Using the USGS Landsat 8 product." Accessed: Mar. 29, 2017. [Online].

[27] S. A. Drury, "Image Interpretation in Geology" , London, U.K.: Chapman & Hall, 1993.

[28] J. Mukherjee, J. Mukherjee, D. Chakravarty, S. Aikat, "A Novel Index to Detect Opencast Coal Mine Areas From Landsat 8 OLI/TIRS", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing PP(99):1-7, 2019.

[29] J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, G. Soria, M. Romaguera, L. Guanter, J. Moreno, A. Plaza, and P. Martinez, "Land Surface Emissivity Retrieval from Different VNIR and TIR Sensors. " IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 46 (2): 316 - 327, 2008.

[30] D. Skoković, J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, G. Soria, Y. Julien, C. Mattar, and

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

J. Cristobal, " Calibration and Validation of Land Surface Temperature for Landsat 8-TIRS Sensor TIRS Landsat -8 Characteristics. " LPVE (Land Product Validation and Evolution): ESA/ESRIN 27, 2014.

[31] T. N. Carlson, and D. A. Ripley, "On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover,and Leaf Area Index." Remote Sensing of Environment 62 (3): 241–252, 1997.

[32] J. A. Sobrino, J. C. Jimenez-Munoz, and L. Paolini, " Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM 5." Remote Sensing of Environment 90 (4): 434 - 440, 2004.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]
[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.9 No.3, Autumn 2021

Research Paper

Spatial-thermal changes and high risk areas detection in Gano coal mine area using satellite images from 2000 to 2020 (Northwest of Damghan)

Ahmad Rajabi [1], Reza shahhosseini [2]*

1- Phd Student of Remote Sensing in School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran
2- Assistant Professor in School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran

Abstract

In coal mines, fires and explosions due to temperature rising and high coal density are the most likely hazards. Due to the looseness of the coal-bearing terrestrial layers, there are also risks of collapsing extraction tunnels. Therefore, in order to manage the risk in coal mines, the risk model in these areas should be studied periodically. The purpose of this study is to comprehensively study the changes in the region in order to introduce those parts of the mine zone that are in danger due to the surface and altitude thermal changes. In the present study, the identification of thermal changes in Gano coal mine from 2000 to 2020 using Landsat satellite data and surface elevation changes of the mine from 2014 to 2020 using Sentinel1 radar data in the northwest of Damghan is done. In this study, first, the parts of the study area where the density of coal seams is high, is determined using the normalized index of two Landsat data bands (SWIR1 and SWIR2 bands) and the experimental threshold of 0.06. The surface temperature (LST) was also estimated by using the Planck relationship and Landsat data. LST threshold values were estimated for both years in order to detect fire-hazardous pixels. By using radar interferometry and the images of 2014 and 2020 Sentinel1 satellite of the region, the digital elevation model and altitude changes of the mine area were extracted. The maximum subsidence was about 9 cm, which had fallen and caused casualties during the field visit.

Key words: *Coal, Fire Hazard, LST, Landsat, Sentinel1.*

Correspondence Address: *Photogrammetry & Remote Sensing Group, School of Surveying & Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.*
Tel : *+98 21 61114527*
Email*: rshahosseini@ut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-10-07]

[DOR: 20.1001.1.20089635.1400.9.3.4.5]
[DOI: 10.52547/jgit.9.3.39]