



شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی ژئوترمال با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه شوط - ماکو استان آذربایجان غربی

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، بهروز فرامرزی عوری^۲

۱- استاد، جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

* اردبیل، صندوق پستی ۵۶۱۹۹۱۱۳۶۷، s.asghari@uma.ac.ir

چکیده

مناطق داری پتانسیل زمین‌گرمایی به طور طبیعی دارای شواهدی در سطح زمین هستند که در پروژه‌های اکتشاف انرژی زمین‌گرمایی از این شواهد برای مکان‌یابی اولیه آن‌ها استفاده می‌شود. هدف این پژوهش شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با ترکیب دمای سطح و فلوهای انرژی حاصل از الگوریتم سبال با استفاده از داده‌های سنجنده حرارتی ماهواره لندست ۸ و ۹ در منطقه شوط-ماکو استان آذربایجان غربی واقع در شمال غرب کشور است. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست ۸ به تاریخ ۱۴ آگوست ۲۰۲۳ و داده‌های لندست ۹ به تاریخ ۷ سپتامبر ۲۰۲۳ استفاده شد. سپس با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا، نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین بازایی گردید. سپس با استفاده از تصویر سنجنده حرارتی ماهواره سنتینل ۳ دمای بازایی شده با استفاده از مدل تحلیل رگرسیون خطی اعتبارسنجی شد. در ادامه با توجه به اهمیت دمای سطح زمین در شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از منابع زمین‌گرمایی سعی شد با محاسبه و ترکیب فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال با دمای سطح بالای ۵۰ درجه سانتیگراد (به‌عنوان آنومالی‌های حرارتی) تأثیر عواملی غیر از منابع زمین‌گرمایی (اثر تشعشعات خورشیدی) از روی دمای سطح زمین در شناسایی پیکسل‌های مستعد انرژی زمین‌گرمایی به حداقل ممکن برسد. چشمه‌های آبگرم طبیعی به عنوان یکی از شواهد ظاهری انرژی ژئوترمال تأییدکننده پیکسل‌های مستعدی بودند که در نتایج حاصل از نقشه نهایی به دست آمدند. در مطالعات آتی در زمینه اکتشافات تفصیلی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی، نتیجه این پژوهش می‌تواند جهت محدودتر شدن مناطق مورد بررسی، مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژگان: انرژی زمین‌گرمایی، پنجره مجزا، دمای سطح زمین، لندست.

Identification of promising areas for geothermal energy using satellite data in shut-maku on azerbaijan province

Sayyad Asghari Saraskanroud^{1*}, Behrouz Faramarzi Ouri²

1- Professor, Department of Physical Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

2- Student in RS & GIS, Department of Physical Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

*P.O.B. 5619911367 Ardabil, Iran, s.asghari@uma.ac.ir

Received: 30 July 2024 Accepted: 8 December 2024

Abstract

Areas with geothermal potential naturally have evidence on the ground surface that is used in geothermal energy exploration projects to initially locate these areas. The purpose of this research is to identify areas with surface geothermal energy potential by combining the surface temperature and energy flow resulting from the sebal algorithm using the thermal sensor data of Landsat 8 and 9 satellites in Shut-Mako region of West Azarbaijan province located on the northwest of the country. For this purpose, Landsat 8 satellite images on August 14, 2023 and Landsat 9 data on September 7, 2023 were used. Then, using the split window algorithm, the temperature map of the land surface Temperature was estimated. Then, using the Sentinel 3 thermal sensor image, the estimated temperature was Validation using the linear regression analysis model. In the following, considering the importance of the land surface temperature in identifying thermal anomalies caused by geothermal sources, it was tried by calculating and combining the thermal flows resulting from the Sebal algorithm with a surface temperature above 50 degrees Celsius (as thermal anomalies) tried the influence of other factors than geothermal sources (effect of solar radiations) on the land surface temperature to be minimum.



Natural hot springs as one of the evidence of geothermal energy, the verifier were pixels that were obtained in the result of the final map. In future studies in the field of exploration of areas prone to geothermal energy, the result of this research can be used to narrow down the investigated areas.

Keywords: Geothermal Energy, Split Window, Land Surface Temperature, Landsat.

۱- مقدمه

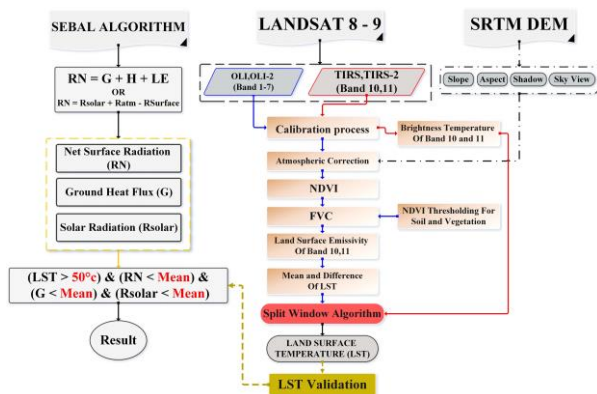
انرژی از موارد ضروری برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و ارتقای کیفیت زندگی است و وجود انرژی مستمر، پایدار و اقتصادی لازمه توسعه و رشد اقتصادی است [۱]. وابستگی شدید و تقاضای روزافزون جهان برای منابع انرژی از یک سو به عنوان عامل کلیدی رشد و فعالیت اقتصادی در نظر گرفته می‌شود و از سوی دیگر محدود بودن ذخیره‌های نفتی و دیگر سوخت‌های فسیلی دنیا را در این چند سال گذشته تحت تأثیر قرار داده است. از این رو، جهان در تکاپوی عبور از این تنگنای انرژی به منابع تجدید پذیر، به ویژه انرژی‌های نو بوده و گام‌های سریعی در جهت توسعه فناوری‌های بهره‌وری برمی‌دارد [۲]. در کشور ما به کارگیری انرژی‌های نو با موانعی همچون وجود نفت ارزان و منابع غنی هیدروکربنی، عدم شناخت کافی این انرژی‌ها و مجهول ماندن مزایای استفاده از آن‌ها توسط مردم و مسئولان و عدم توجه‌پذیری اقتصادی در سرمایه‌گذاری‌های اولیه روبه‌رو است. چراکه انرژی‌های تجدید پذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی از هزینه بهره‌برداری پایین‌تر و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتری برخوردارند [۳]. در این میان، انرژی زمین‌گرمایی یکی از منابع عمده انرژی‌های نو و سازگار با محیط‌زیست است که در صورت بهره‌برداری صحیح و مبتنی بر پارامترهای محیط زیستی، نقش مهمی را در موازنه انرژی کشور و اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کند [۴]. تحقیقات انجام‌شده بر روی این انرژی نشان می‌دهد که پتانسیل آن را دارد که بخش اعظم انرژی مورد نیاز بشر را به صورت پایدار و بدون آلودگی‌های زیست‌محیطی تأمین کند [۵]. ایران از جمله کشورهایی است که به علت قرار گرفتن در کمربند آتش‌فشان و زلزله‌داری منابع مهم و پتانسیل زمین‌گرمایی نسبتاً بالایی است [۶]. طبق چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران تا سال ۱۴۰۴ باید ۱۰ درصد برق مورد نیاز از انرژی‌های تجدید پذیر تأمین شود [۷]. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنجنش‌ازدور، به علت توانایی در شناسایی و اکتشاف پدیده‌ها نسبت به روش‌های سنتی همواره مورد توجه متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیران بوده است [۸]. در مطالعات مربوط به جستجوی منابع زمین‌گرمایی از فناوری سنجنش‌ازدور به منظور شناسایی آنومالی‌های حرارتی، گسل و شکستگی‌ها، نقاط آتش‌فشانی و نواحی دگرسانی استفاده می‌شود [۹]. این رویکرد، چندین سال است که به عنوان یک ابزار مفید و بارز برای شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی در مناطق مختلف استفاده می‌شود که امکان انتخاب مناسب‌ترین مناطق برای اکتشاف تفصیلی با استفاده از پیمایش‌های زمینی هزینه‌بر را فراهم آورده است [۱۰]. مطالب فوق اهمیت موضوع انتخاب‌شده برای پژوهش حاضر جهت شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با استفاده از فناوری سنجنش‌ازدور را بیشتر آشکار می‌سازد. در ایران از سال ۱۳۴۵ مطالعات گسترده‌ای به منظور شناسایی پتانسیل‌های منابع انرژی زمین‌گرمایی توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسین مشاور ایتالیایی در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده‌ای به وسعت ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع آغاز گردید. نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که

مناطق سیلان، دماوند، خوی، ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی مناسب هستند. در سال ۱۳۶۱ در منطقه سیلان: نواحی مشکین‌شهر، سرعین و بوشلی، در منطقه دماوند ناحیه: نونال، در منطقه ماکو-خوی نواحی: سیاه چشمه و قطور و در منطقه سهند پنج ناحیه کوچک‌تر جهت تمرکز فعالیت‌های فاز اکتشاف تکمیلی انتخاب شدند. در سال ۱۳۶۹ توسط کارشناسان برنامه پیشرفت و توسعه ملل متحد بازنگری شده و منطقه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر به عنوان اولین اولویت جهت ادامه مطالعات اکتشافی معرفی شد؛ و در سال ۱۳۸۱ عملیات حفر اولین چاه زمین‌گرمایی در منطقه مشکین‌شهر آغاز و در سال ۱۳۸۳ به اتمام رسید [۱۱].

لی [۱۲] با استفاده از سنجنش‌ازدور حرارتی، ناهنجاری‌های حرارتی را در منطقه صحرائی بلک راک نوادا مشخص کرد. یاماگوچی و همکاران [۹] نقش سنجنش‌ازدور برای کاربردهای زمین‌گرمایی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که سنجنش‌ازدور می‌تواند در مطالعات و اکتشافات انرژی زمین‌گرمایی با شناسایی ناهنجاری حرارتی سطح زمین با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی، نقشه‌برداری خطواره‌هایی که مسیرهایی برای عبور سیالات زمین‌گرمایی هستند و مشخص کردن مناطق دگرسان شده‌ی گرمایی با استفاده از الگوهای طیفی در بخش‌های مادون قرمز با طول موج کوتاه، سهمی داشته باشد. انوا و همکاران [۱۳] با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی ماهواره استر در شرق کالیفرنیا به اکتشاف منابع زمین‌گرمایی در این منطقه پرداختند. این محققین دلیل استفاده از سنجنش‌ازدور را در اکتشاف منابع زمین‌گرمایی مقرون‌به‌صرفه بودن و قابلیت کاربرد آن در مقیاس وسیع عنوان نمودند. آن‌ها سعی نمودند اثرات ناشی از توپوگرافی و آلبدو را بر حرارت اصلاح نمایند و عنوان کردند که حذف این اثرات می‌تواند خطاها را کاهش داده و ناهنجاری‌های حرارتی را که ضعیف هستند و یا در تصاویر قابل تشخیص نیستند آشکار سازد. کولبو و همکاران [۱۴] با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی سنجنده استر در چشمه‌های آب گرم نوادا، به شناسایی ناهنجاری‌های دمای سطح زمین در ارتباط با منابع ژئوترمال پرداختند. آن‌ها تغییرات درجه حرارت سطحی را با توجه به آلبدو اصلاح‌شده با باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی نزدیک استر و همچنین استفاده از مدل ارتفاعی رقومی ۱۰ متر به منظور اعمال تأثیر توپوگرافی، به دست آوردند. لو و همکاران [۱۵] برای شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی وابسته به گسل‌ها در مقیاس خاصی از گسل جیانگشان-شاوژینگ در استان ژجیانگ چین، از تصاویر سنجنده حرارتی لندست ۷، استفاده کردند. آن‌ها مناطقی را که درجه حرارت بالاتری نسبت به محیط اطراف داشتند، به عنوان ناهنجاری‌های حرارتی معرفی کردند. در این تحقیق دمای بالاتر از ۴ تا ۱۰ کلوین نسبت به پس زمین به عنوان آنومالی حرارتی شناخته شد و نشان داده شد که محل این آنومالی‌ها منطبق بر فعالیت گسل‌ها بود. پنگ و همکاران [۱۶] نیز از روش مشابهی در منطقه‌ای در شمال شرقی

۲-۱- روند کلی تحقیق

در پژوهش حاضر همانند پژوهش امامی و جعفری [۶] در محاسبه مقدار انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم سبال استفاده شده است. روش پیشنهادی از شش مرحله اصلی تشکیل شده است: در مرحله اول تصحیحات رادیو متریک که از الزامات اولیه پردازش تصاویر ماهواره‌ای است بر روی داده‌های پژوهش در محیط نرم‌افزار انوی صورت گرفت سپس جهت انجام تصحیح توپوگرافی و اتمسفری از افزونه آنکور^۱ (پایاده‌سازی شده در نرم‌افزار اِرداس^۲ که از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابشی^۳ بهره می‌برد) که از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده اس آر تی ام^۴ و مشتقات لازم نظیر شیب^۵، جهت شیب^۶ سایه^۷ و نمای آسمان^۸ جهت تصحیحات ذکر شده بهره می‌گیرد استفاده گردید. در مرحله دوم نقشه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا^۹ برآورد گردید. در مرحله سوم با معرفی تصویر دمای سطح زمین حاصل از الگوریتم مذکور به‌عنوان متغیر وابسته و تصویر سنجنده حرارتی^{۱۰} ماهواره سنتینل ۳^{۱۱} (اخذ شده برای زمان گذر ماهواره‌های لندست از منطقه مورد مطالعه) به‌عنوان متغیر مستقل در محیط نرم‌افزار ترست^{۱۱} با استفاده از تحلیل مدل رگرسیون خطی اعتبار سنجی شد، سپس نقشه آنومالی حرارتی سطح زمین تعیین گردید. در مرحله چهارم با استفاده از الگوریتم سبال مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (Rn)، مقدار جریان گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک (G) و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح زمین (Rsolar) محاسبه گردید. در مرحله پنجم، با ارزیابی و ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی با نقشه‌های آنومالی حرارتی (با استفاده از رابطه (۱۹)) مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند و نهایتاً نتایج حاصل آنالیز و بررسی گردیدند. در شکل ۱ فلوجارت فرآیند کلی پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۱ فلوجارت فرآیند کلی پژوهش.

چین استفاده کردند با این تفاوت که از حد آستانه ۳۵ درجه سانتی‌گراد برای شناسایی آنومالی حرارتی استفاده کردند.

پرهیزکار و همکاران [۱۷] در پایان‌نامه خود با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره لندست ۸ با اشاره به کلیدی بودن نقش دمای سطح در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی، با مقایسه الگوریتم‌های مختلف بهترین روش برای برآورد دمای سطح را انتخاب و در حوزه شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین‌گرمایی در سطح شهرستان مشگین شهر استفاده کرد. نوری و محمدی [۱۸] در تحقیقی به شناسایی مناطق زمین‌گرمایی در منطقه سبلان، اردبیل پرداختند. آن‌ها هدف از این تحقیق را ارزیابی قابلیت تکنیک سنجنش‌ازدور و داده‌های استر در شناسایی ذخایر زمین‌گرمایی عنوان کرده و از روش نسبت گیری باندی برای شناسایی شش نوع کانی مرتبط با سیستم‌های زمین‌گرمایی استفاده کردند. کی نژاد [۱۹] با بیان این موضوع که استان آذربایجان شرقی به خاطر وجود قله آتشفشانی جوان و سایر شواهد اکتشافی، به‌عنوان یکی از مناطق دارای پتانسیل زمین‌گرمایی در کشور شناخته شده، به بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال در این منطقه پرداخته‌اند. احمدی زاده و همکاران [۲۰] با استفاده از سنجنش‌ازدور حرارتی در خراسان جنوبی جهت شناسایی دقیق مناطق مستعد زمین‌گرمایی، نقشه ناهنجاری‌های دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجنش‌ازدور تهیه نموده و به این نتیجه رسیدند که استان خراسان جنوبی از سطح مناسب و مستعدی برای تولید انرژی زمین‌گرمایی برخوردار است. امامی و جعفری [۶] در پژوهش خود جهت شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با استفاده از سنجنش‌ازدور در شمال غرب کشور، نقشه مشاهداتی دمای سطح حاصل از سنجنده حرارتی ماهواره لندست ۸ را با فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم سبال ترکیب کردند تا تأثیرات حرارتی ناشی از نور خورشید را در دمای مشاهداتی مدل‌سازی کرده و اثرات آن را به حداقل برسانند. بر این اساس مناطق نهایی که مستعد وجود منابع زمین‌گرمایی بود شناسایی و تعیین گردید.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده در زمینه شناسایی مناطق دارای پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی و لزوم توجه به انرژی‌های نو بجای انرژی‌های تجدیدناپذیر جهت تأمین و مدیریت پایدار منابع انرژی در سطوح مختلف برنامه‌ریزی بخصوص در کشور در حال توسعه خودمان، اهمیت مطالعاتی که از روش‌های نوین در شناسایی این نوع انرژی استفاده می‌کنند بیش‌ازپیش ضرورت پیدا می‌کند. لذا در پژوهش حاضر با تأکید بر این موضوع، از تکنیک‌های سنجنش‌ازدور حرارتی جهت شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با ترکیب دمای مشاهداتی سطح و فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) روش پیشنهادی امامی و جعفری [۶] استفاده شد.

۲- موارد و روش‌ها

۲-۲- منطقه مورد مطالعه

7. Shadow
8. Sky View
9. Split Window
10. SLSTR
11. TerrSet v19.0.7

1. ATCOR2/3 (Atmospheric/Topographic Correction)
2. ERDAS IMAGINE 2014
3. MODTRAN-5
4. Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model
5. Slope
6. Aspect

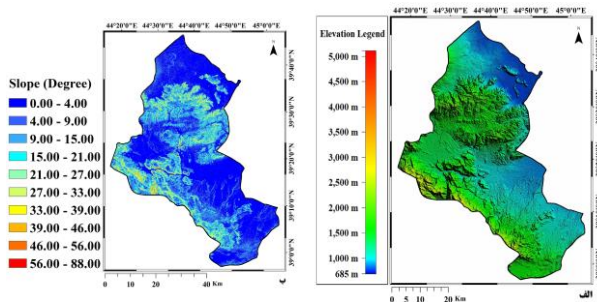
1000	LST Product (S8-S9)	۰۷:۲۰	2023/09/07	۱۰۶/۱۶ ۱۴۰۲	SLST R	SENTINEL-3A
1000	LST Product (S8-S9)	۰۷:۰۳:۵	2023/08/14	۰۵/۲۳ ۱۴۰۲/۱	SLST R	SENTINEL-3B

- داده‌های زمینی هم‌زمان با گذر ماهواره از منطقه مورد مطالعه شامل دمای هوا (درجه سلسیوس)، رطوبت نسبی (درصد) و فشار هوا (هکتوپاسکال)، از سایت داده‌های هواشناسی^۸ دریافت شد (جدول ۲).

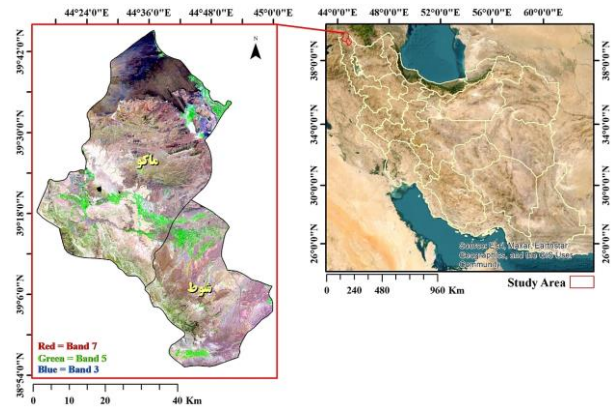
جدول ۲ داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه مورد مطالعه.

شهر	کد ایستگاه	تاریخ	ساعت (UTC)	دما (c)	رطوبت نسبی (%)	فشار (hpa)
ماکو	۴۰۷۰۱	2023/08/14	۰۶:۰۰	۲۹	۲۳/۸	۸۶۲/۹
		2023/09/07		۲۶/۶	۲۷	۸۵۹/۴

در پژوهش حاضر از نرم‌افزار انوی^۹ به‌عنوان نرم‌افزار اصلی پردازش تصاویر، از نرم‌افزار اسنپ^{۱۰} جهت پردازش‌های اولیه، تصحیح هندسی و آماده‌سازی تصاویر سنتینل ۳ برای استفاده در نرم‌افزارهای مکمل استفاده شد، از نرم‌افزار ترست جهت اعتبارسنجی دمای سطح مشاهداتی استفاده شد (توجه به این نکته ضروری است که جهت اعتبارسنجی داده‌های حرارتی لندست با استفاده از داده‌های حرارتی سنتینل ۳، تصاویر لندست باید از لحاظ اندازه پیکسل و تعداد سطر و ستون پیکسل‌ها با داده‌های حرارتی سنتینل ۳ برابر باشد) و از نرم‌افزار آرک جی آی اس^{۱۱} برای تهیه نقشه خروجی استفاده گردید. برای انجام تصحیح اتمسفری و توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده اس آر تی ام استفاده گردید و مشتقات آن نظیر شیب، جهت شیب، برجستگی‌های سایه‌ای و نمای آسمان با استفاده از افزونه آتکور پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار آرداس ۲۰۱۴ استخراج گردید. شکل ۳. Error! Reference source not found. مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن را نشان می‌دهد.



منطقه مورد مطالعه، قسمتی از شمال غرب ایران است با وسعتی حدود ۲۷۸۲ کیلومتر مربع که دربرگیرنده شهرهای ماکو و شوط از توابع استان آذربایجان غربی است (شکل ۲) که در بین طول‌های جغرافیایی ۴۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۰۳ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی واقع شده است. همچنین از لحاظ توپوگرافی یک منطقه کوهستانی محسوب می‌شود.



شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

۲-۳- داده‌های پژوهش و پیش‌پردازش آن‌ها

داده‌های مورد نیاز شامل:

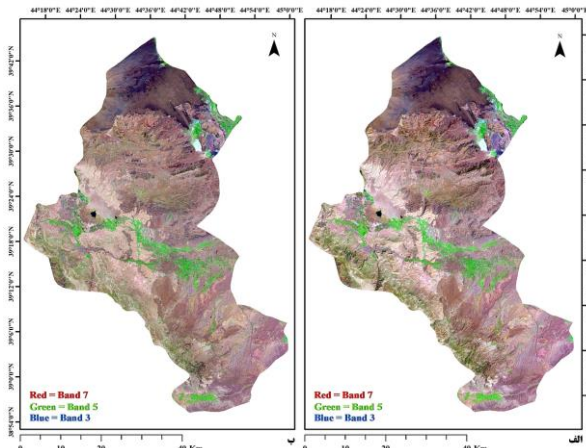
- داده‌های ماهواره‌ای تصاویر سنجنده ایتیکی و حرارتی ماهواره لندست ۸ و ۹ کالکشن دو سطح یک که شامل تصحیحات هندسی نیز هستند، داده سنجنده حرارتی ماهواره سنتینل ۳ سری (A، B) با سطح پردازشی ۲ و مدل رقومی ارتفاعی^{۱۲} سنجنده اس آر تی ام به شماره اندکس‌های^{۱۳} با دقت ۳۰ متر^{۱۴} (این داده‌ها جهت پوشش منطقه مورد مطالعه به صورت موزاییک پردازش شدند)، تصاویر لندست از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات‌متحده آمریکا^{۱۵} و داده‌های ماهواره سنتینل ۳ از سایت داده‌های فضایی کوپرنیک اتحادیه اروپا^{۱۶} به صورت رایگان دریافت شد. Error! Reference source not found.

جدول ۱ ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش.

نام ماهواره	نام سنجنده	تاریخ دریافت تصویر	ساعت	قدرت تفکیک مکانی (m)	باند	مکانی
نام ماهواره	نام سنجنده	تاریخ دریافت تصویر	ساعت	قدرت تفکیک مکانی (m)	باند	مکانی
لندست ۸	OLI	۰۵/۲۳	۰۷:۳۸	۳۰	۱-۷	۱۰۰
لندست ۹	TIRS-2	۱۴۰۲/۱۶	۰۷:۳۸	۳۰	۱-۷	۱۰۰
لندست ۸	TIRS	۱۴۰۲/۱۶	۰۷:۳۸	۳۰	۱-۷	۱۰۰
لندست ۹	TIRS-2	۱۴۰۲/۱۶	۰۷:۳۸	۳۰	۱-۷	۱۰۰

7. <https://dataspace.copernicus.eu>
8. www.ogimet.com
9. ENVI v5.6
10. SNAP v10.0
11. ArcGIS v10.8

1. A
2. B
3. Digital Elevation Model
4. N38E044V3, N38E045V3, N39E044V3, N39E045V3
5. 1 Arc
6. <https://earthexplorer.usgs.gov>

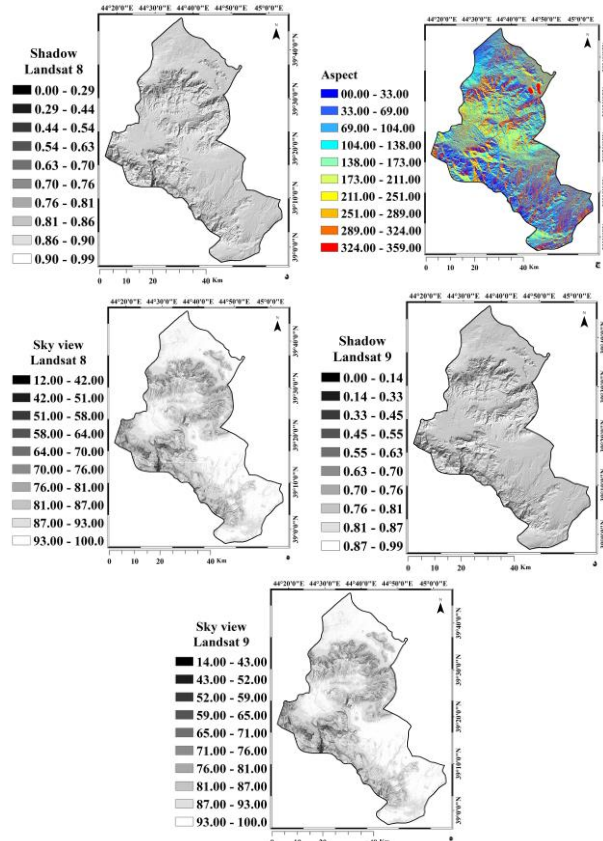


شکل ۴ الف) تصویر اولیه، ب) تصویر تصحیح توپوگرافی و اتمسفری شده.

۴-۲- فرآیند محاسبه دمای سطح زمین

دمای سطح زمین بر اثر تغییرات ساختار محیط، کاربری، مواد تشکیل دهنده سطح و غیره در طول زمان قابل تغییر است از این رو آگاهی از وضعیت دمای سطح زمین کمک زیادی به برنامه ریزی محیطی، شامل چگونگی مصرف انرژی، آسایش حرارتی شهروندان و غیره می کند [۲۲].

تهیه نقشه دمای سطح زمین، نکته‌ای کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرایی است [۲۰]. در چند دهه اخیر تخمین دمای سطح زمین از طریق داده‌های ماهواره‌ای پیشرفت چشمگیری داشته و الگوریتم‌های مختلف و متنوعی برای تخمین دما با سنجنده‌های مختلف ارائه گردیده است که اساس این الگوریتم‌ها بر پایه فرضیات و تقریب‌های متنوعی از معادله تشعشعی استوار است [۲۳]. یکی از پارامترهای بسیار مهم که اندازه‌گیری دقیق آن تأثیر زیادی روی نتایج روش‌های تخمین دمای سطح زمین دارد، محاسبه گسیلمندی است [۲۴]. در فرآیند محاسبه دمای سطح زمین نیاز به محاسبه گسیلمندی سطح زمین^۱ است که به صورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابش شده به وسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود [۲۵]. تغییرات گسیلمندی وابسته به پارامترهای سطح (نظیر بافت، توپوگرافی، رطوبت) و مشخصات سنجنده (نظیر قدرت تفکیک مکانی، تابع پاسخ طیفی و طول موج مؤثر باندها) است. برای تخمین دمای سطح، نیاز به ضریب گسیل اولیه عوارض سطح (بسته به روش تخمین گسیلمندی) و میزان گسیلمندی سطح زمین است. در این پژوهش تخمین گسیلمندی براساس شاخص کسر پوشش گیاهی^۲ انجام گرفت که در بسیاری از کاربردهای محیط زیستی و تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۶]. در این روش تعیین گسیلمندی براساس شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده^۳ است. این شاخص می‌تواند به عنوان شاخص پایه جهت تعیین سایر پارامترهای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد [۲۷]. همچنین با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای را در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و اثرات متفاوتی را بر دما ایجاد می‌کند، در نتیجه می‌توان آن را به عنوان یک شاخص



شکل ۳ الف) مدل رقومی ارتفاعی، ب) نقشه شیب، ج) نقشه جهت شیب، د) نقشه سایه، ه) نقشه نمای آسمان (دید به آسمان).

آتکور ورژن ۲ اشاره به تصحیح اتمسفری برای زمین‌های مسطح و آتکور ورژن ۳ بیانگر تصحیح اتمسفری توأم با تصحیح توپوگرافی است که با پذیرش مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن این کار را انجام می‌دهد [۲۱]. با تصحیح توپوگرافی و اتمسفری تصاویر منطقه مورد مطالعه، انعکاس در سطح زمین به دست آمد و تمامی محاسبات لازم براساس آن صورت گرفت (شکل ۴).

3. Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi)

1. Land Surface Emissivity (LSE)
2. Fractional Vegetation Cover (FVC)

Es گسیلمندی خاک، Ev گسیلمندی پوشش گیاهی، FVC شاخص کسر پوشش گیاهی. در نهایت گسیلمندی سطح زمین با استفاده از رابطه Error! Reference source not found. (۳) برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ و ۹ محاسبه گردید.

۲-۴-۱- روش‌های برآورد دمای سطح زمین

در این پژوهش برای تخمین دمای سطح زمین از الگوریتم پنجره مجزا^۳ بر روی باند ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ و ۹ استفاده شد. با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا قابل محاسبه و بازیابی است.

۲-۴-۱-۱ الگوریتم پنجره مجزا

یکی از الگوریتم‌های چند باندی است که دمای سطح زمین را با دقت بالایی محاسبه می‌کند [۳۳]. این الگوریتم ابتدا در پژوهش [۳۴] برای محاسبه دمای سطح اقیانوس‌ها با به‌کارگیری جذب اتمسفری مختلف در دو باند حرارتی سری لندست پیشنهاد شد که نیاز به هیچ‌گونه اطلاعات پروفایل اتمسفری در زمان گذر ماهواره نداشت. اواخر دهه ۱۹۸۰ این الگوریتم برای محاسبه دمای سطح زمین هم استفاده شد و یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های بود که براساس ساختار ریاضی پیشنهاد شد بود. در پژوهش [۳۵] و خیمنومونز و سوبرینو [۳۶] بر روی سنجنده‌های مختلف اعمال شد و در پژوهش‌های متعدد دیگری نیز استفاده شده است. برای این منظور از رابطه (۴) استفاده شد [۳۲].

$$LST = TB10 + C1(TB10 - TB11) + C2(TB10 - TB11) + C0 + (C3 + C4W) + (1 - m) + (C5 + C6W)\Delta m \quad (4)$$

در این رابطه LST بیانگر دمای سطح زمین برحسب کلونین، C0 تا C6 ضرایب ثابت الگوریتم پنجره مجزا هستند که با شبیه‌سازی اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح به دست آمدند جدول ۵، همچنین TB10 و TB11 بیانگر دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱ برحسب کلونین که با استفاده از رابطه (۵) به دست می‌آید. W بیانگر ظرفیت بخار آب اتمسفری است که از رابطه (۶) به دست می‌آید. m میانگین و Δm اختلاف در گسیلمندی سطحی باندهای ۱۰ و ۱۱ است که از طریق رابطه (۷) و (۸) قابل محاسبه هستند.

جدول ۵ ضرایب ثابت الگوریتم پنجره مجزا

Constant	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Value	2.268	1.378	0.183	54.300	2.238	129.200	16.400

گسیلمندی سطح زمین که از پارامترهای مهم در محاسبه دمای سطح زمین است به صورت جداگانه برای هر دو باند حرارتی سنجنده لندست ۸ و ۹ با استفاده از مقادیر ارائه شده گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی طبق جدول ۴ تعیین و براساس (۳) به دست آمد [۳۲].

تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به شمار آورد [۲۸]. این شاخص فرآیند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک است و بیشترین حساسیت را نسبت به پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه خاک، به جز مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد [۲۹]. برای محاسبه گسیلمندی براساس شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده از رابطه ۱ استفاده شده است.

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

در این رابطه NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز است. محدوده این شاخص بین ۱+ و ۱- است که برای پوشش گیاهی متراکم با مقادیر مثبت، درحالی‌که ابرها، برف و آب با مقادیر منفی مشخص می‌شوند. پس از اعمال شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده براساس مقدار آن، توان تشعشعی طبق جدول ۳ تعیین می‌شود [۳۰].

جدول ۳ مقادیر گسیلمندی براساس ارزش NDVI

NDVI	LSE
NDVI < -0.185	0.995
-0.185 ≤ NDVI < 0.157	0.985
0.157 ≤ NDVI ≤ 0.727	1.009 + 0.047 × ln (NDVI)
NDVI > 0.727	0.990

از شاخص کسر پوشش گیاهی به منظور کسر تأثیر پوشش گیاهی از تصویر استفاده می‌شود. پوشش گیاهی همواره از عواملی بوده است که باعث کاهش دمای سطحی می‌شود. یک رویکرد مشترک برای برآورد شاخص کسر پوشش گیاهی شامل ترکیبی غیرخطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجنده دور، شامل خاک لخت و پوشش گیاهی سبز است. خواص طیفی از این دو عنصر معمولاً به صورت‌های مختلفی برآورد می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی، برآورد از منابع داده‌های اضافی و یا استخراج مستقیم از تصاویر است [۳۱]. شاخص کسر پوشش گیاهی براساس رابطه (۲) تعیین شد [۲۶].

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{vegetation} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

NDVI شاخص پوشش گیاهی، NDVI_{soil} مناطقی که در کلاس خاک قرار می‌گیرند، NDVI_{vegetation} مناطقی که در کلاس پوشش گیاهی قرار می‌گیرند. در ادامه فرآیند محاسبه دمای سطح زمین، قابلیت انتشار سطح زمین که یکی از معیارهای مهم در محاسبه دمای سطح زمین است [۲۵]. به صورت جداگانه برای هر دو باند سنجنده حرارتی لندست ۸ و ۹ با استفاده از مقادیر ارائه شده گسیلمندی خاک^۱ و پوشش گیاهی^۲ طبق جدول ۴ تعیین و براساس رابطه (۳) به دست آمد [۳۲].

جدول ۴ مقادیر گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی برای باند ۱۰ و ۱۱

Emissivity	Band10	Band11
Es	0.971	0.977
Ev	0.987	0.989

$$LSE = \epsilon_s \times (1 - FVC) + \epsilon_v \times FVC \quad (3)$$

3. Split Windows Algorithm

1. (Es)
2. (Ev)

۲-۴-۱-۱- برآورد دمای روشنایی ۱

دمای به دست آمده از زمین در ارتفاع ماهواره، دمای روشنایی نامیده می‌شود [۳۷]. داده‌های باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ را می‌توان به صورت جداگانه و با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد که با استفاده از (۵) محاسبه می‌شود [۳۸].

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (5)$$

در این رابطه T_{sen} دمای تابشی به کلوین است که بر روی سطح سنجنده ثبت می‌گردد، K_1 و K_2 ثابت باندهای حرارتی (جدول ۶) که از فایل مرجع^۲ استخراج می‌گردد و $L_\lambda(L_{sen})$ تابش طیفی دریافتی سنجنده در واحد $(W/m^2/sr/\mu m)$ است.

جدول ۶ ضرایب ثابت باندهای حرارتی لندست ۸ و ۹.

Satellite	Constant	Band 10	Band 11
Landsat 8	K1	774.8853	480.8883
	K2	1321.0789	1201.1442
Landsat 9	K1	799.0284	475.6581
	K2	1329.2405	1198.3494

۲-۴-۱-۲- برآورد ستون بخار آب

ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند که با استفاده از رابطه (۶) قابل محاسبه است [۳۹].

$$W_i = 0.0981 \times \{10 \times 0.6108 \times \exp\left(\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)}\right) \times RH\} + 0.1679 \quad (6)$$

در این رابطه W_i بخار آب اتمسفر، T_0 دمای هوای نزدیک سطح زمین برحسب کلوین و RH رطوبت نسبی برحسب درصد است.

۲-۴-۱-۳- میانگین ۳ و اختلاف ۴ در گسیلمندی سطحی باندهای ۱۰ و ۱۱

بعد از محاسبه گسیلمندی سطح زمین برای هر یک از باندهای حرارتی محاسبه میانگین و اختلاف گسیلمندی باندهای حرارتی براساس رابطه (۷) و (۸) محاسبه گردید [۳۲].

$$m = \frac{\epsilon_{10} + \epsilon_{11}}{2} \quad (7)$$

$$\Delta m = \epsilon_{10} - \epsilon_{11} \quad (8)$$

با به دست آوردن پارامترهای موجود در رابطه (۴) برای الگوریتم پنجره مجزا دمای سطح زمین به دست می‌آید.

۲-۴-۲- اعتبارسنجی دمای سطح زمین

ارزیابی دقت و اعتبارسنجی دمای حاصل از داده‌های ماهواره‌ای به‌رغم چالش‌هایی که دارد اما لازمه به‌کارگیری هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است [۱۷]؛ بنابراین اعتبارسنجی دمای سطح زمین

به خاطر لزوم دقت آن در کاربردهای مختلف ضروری به نظر می‌رسد [۴۰]. در پژوهش حاضر برای اعتبارسنجی دمای بازیابی شده ابتدا اندازه پیکسل و تعداد سطر و ستون‌های تصاویر لندست ۸ و ۹ با تصاویر دمای سطح زمین ماهواره سنتینل ۳ با استفاده از نرم‌افزار انوی نسبت به هم منطبق شدند سپس با استفاده از تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی در نرم‌افزار ترست اعتبارسنجی شدند.

۲-۵- آشکارسازی آنومالی حرارتی سطح زمین

برای آشکارسازی آنومالی‌های حرارتی ابتدا تصویر دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا تولید، سپس اعتبارسنجی گردید. بدیهی است این دما ترکیبی از تشعشعات خورشیدی دریافتی، مقدار تابش خورشیدی جذب‌شده و گرمای داخلی زمین است و در مناطقی که دمای داخلی سطح زمین بیشتر است باعث تغییرات غیرعادی دمای سطح زمین نیز می‌شود. لذا بایستی اثر جذب و تشعشعات خورشیدی را از دمای مشاهداتی حذف و یا به حداقل رساند و به آنومالی حرارتی واقعی سطح زمین رسید. در ادامه برای به حداقل رساندن اثر تشعشعات خورشیدی دریافتی و جذب‌شده در هر پیکسل از تصویر دمای سطح زمین جهت آشکارسازی آنومالی حرارتی سطح زمین از الگوریتم سبال^۵ استفاده شد (رابطه ۹).

۲-۶- محاسبه فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)

الگوریتم سبال یکی از مدل‌های کاربردی است که از ۲۵ زیر مدل مختلف تشکیل شده است و قادر است متغیرها و فلوهای انرژی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند [۴۱]. رابطه (۹) شکل عمومی این الگوریتم را نشان می‌دهد.

$$R_n = H + G + \lambda ET \quad (9)$$

در رابطه فوق R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین برحسب وات بر مترمربع، H جریان گرمای محسوس میان سطح زمین و لایه پایین اتمسفر برحسب وات بر مترمربع، λET مقدار جریان گرمای نهان ما بین سطح و اتمسفر به علت عمل تبخیر برحسب وات بر مترمربع و G بیانگر جریان گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک یا به عبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین برحسب وات بر مترمربع است. برای مناطق با ویژگی‌های آب و هوایی مشابه می‌توان λET ، H را بدون تغییر در نظر گرفت؛ بنابراین G پارامتر مؤثر در تعیین دمای سطح و ناهنجاری‌های دمایی است زیرا پدیده‌های داخل زمین به‌صورت رسانای حرارتی عمل می‌کنند و انرژی هسته مرکزی را به لایه‌های نزدیک سطح زمین انتقال می‌دهند. از رابطه (۱۰) برای توصیف آن می‌توان استفاده نمود.

$$\nabla(K \nabla T) = -A \quad (10)$$

در این رابطه T دما برحسب کلوین و K ضریب رسانش حرارتی داخل زمین برحسب وات بر متر کلوین و A مقدار گرمای انتقال یافته برحسب وات

4. Delta Mean (Δm)

5. Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land)

1. Brightness Temperature (BT)

2. Header File

3. Mean (M)

گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک یا به عبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین که در رابطه (۱۷) قابل محاسبه است به دست می‌آید [۲۱].

$$G = 0.4 \times R_n \left(\frac{SAVI_m - SAVI}{SAVI_m} \right) \quad (17)$$

که در آن SAVI شاخص پوشش گیاهی و $SAVI_m$ نشان دهنده حداکثر مقدار پوشش گیاهی متراکم است. این شاخص گیاهی از رابطه (۱۸) قابل محاسبه است.

$$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{650}) \times 1.5}{(\rho_{850} + \rho_{650} + 0.5)} \quad (18)$$

ρ_{850} و ρ_{650} به ترتیب انعکاس در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است. با استفاده از روابط مذکور در الگوریتم سبال، مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، انرژی خالص هدایت شده به زمین و مقدار تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح محاسبه گردید.

۲-۷- تولید مدل حرارتی تعدیل شده با استفاده از دمای مشاهداتی و الگوریتم سبال

جهت محاسبه مدل حرارتی تعدیل شده، با ترکیب فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از روش سبال با نقشه‌های حرارتی سطح، نقشه حرارتی تعدیل شده به‌عنوان یک مدل حرارتی تعریف گردید (رابطه ۱۹)، این مدل حرارتی عوامل تغییر حرارت از پیکسلی به پیکسل دیگر را مدل کرده و از یک طرف در محاسبه آن مقدار انعکاس، تصحیح توپوگرافی و اتمسفری سطح در نظر گرفته شده که اثرات شبیب، جهت شبیب و غیره در آن دیده شده است و از طرف دیگر با محاسبه المان‌های الگوریتم سبال مدل حرارتی حاصل در اثر این عوامل تعدیل گردید. روند کار به این صورت بود که در ترکیب این لایه‌ها، فصل مشترک بین حداکثر مقدار دمای مشاهداتی سطح (در این پژوهش دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد) و حداقل مقدار فلوهای گرمایی و جذبی حاصل از الگوریتم سبال (پیکسل‌های دارای مقادیر کمتر از میانگین تصویر) در نظر گرفته شد. چون هدف تعیین مناطق مستعد برای انرژی زمین گرمایی است سعی بر این شد که اثر فلوهای گرمایی و جذبی ناشی از نور خورشید در تعیین این مناطق در رابطه (۱۹) حداقل مقدار بوده تا آنومالی حرارتی سطحی تنها ناشی از فعل‌وانفعالات گرمای درون زمین باشد.

$$(LST > 50c) \& (RN < Mean) \& (G < Mean) \& (R_{solar} < Mean) \quad (19)$$

۳- بحث و یافته‌ها

۳-۱- بررسی دمای سطح منطقه

برای این منظور با توجه به روابط ریاضی مربوطه به الگوریتم پنجره مجزا نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین استخراج و در شناسایی مناطق مستعد منابع زمین گرمایی به کار گرفته شد. شکل ۵ نقشه نهایی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا را نشان می‌دهد.

است. ضریب رسانش حرارتی داخل زمین وابسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد و سنگ‌های تشکیل دهنده آن است. به عنوان مثال ضریب تخلخل سنگ‌ها و جریان همرفت مواد مایع داخل زمین در تعیین ضریب رسانش حرارتی تأثیرگذار هستند [۴۲]. بنابراین به طور کلی می‌توان گفت انتقال حرارت داخل زمین به سطح زمین وابسته به میزان رسانش حرارتی مواد و سنگ‌ها و جریان همرفتی مواد مایع (مانند آب) داخل زمین است. همچنین، الگوریتم سبال قادر است فلوهای انرژی‌های گرمایی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند. به عبارتی رابطه عمومی (۹) را می‌توان به عنوان مجموع سه جزء تابش دیگر به صورت رابطه (۱۱) بیان کرد [۲۱].

$$R_n = R_{Solar} + R_{atm} - R_{Surface} \quad (11)$$

که در آن R_{Solar} تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح در طول موج کوتاه (۰.۳ - ۳ میکرومتر)، R_{atm} تابش طول موج بلند (۳ - ۱۴ میکرومتر) ساطع شده از جو نسبت به سطح و $R_{Surface}$ تابش ساطع شده از سطح به جو زمین است. در ادامه جزئیات بیشتری از نحوه محاسبه رابطه (۱۱) به همراه پارامترهای آن بیان شده است.

تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح زمین می‌تواند به صورت رابطه (۱۲) محاسبه گردد [۲۱].

$$R_{Solar} = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} \{1 - \rho(\lambda)\} E_g(\lambda) d\lambda \quad (12)$$

که در آن $\rho(\lambda)$ انعکاس سطح زمین، $\{1 - \rho(\lambda)\}$ کسری از تابش جذب شده و $E_g(\lambda)$ تشعشع کلی بر روی سطح زمین برحسب وات بر متر مربع که از روی آلبدو سطح به صورت رابطه (۱۳) قابل محاسبه است [۲۱].

$$E_g = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} E_g(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

همچنین تابش ساطع شده از سطح به جو زمین به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد [۲۱].

$$R_{Surface} = \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (14)$$

که ε_s گسیلمندی سطح، σ ثابت استفان-بولتزمن (67×10^{-8} W/m²/K⁴) و T_s دمای سطح برحسب کلون است. همچنین تابش اتمسفری ساطع شده از جو به سمت زمین (R_{atm}) می‌تواند به صورت رابطه (۱۵) نوشته شود [۲۱].

$$R_{atm} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (15)$$

که ε_a گسیلمندی هوا، T_a دمای هوای نزدیک سطح زمین (۲ متر بالاتر از سطح زمین) برحسب کلون و σ ثابت استفان-بولتزمن است. گسیلمندی هوا از روی دمای متوسط هوا و از طریق رابطه (۱۶) قابل محاسبه است [۲۱].

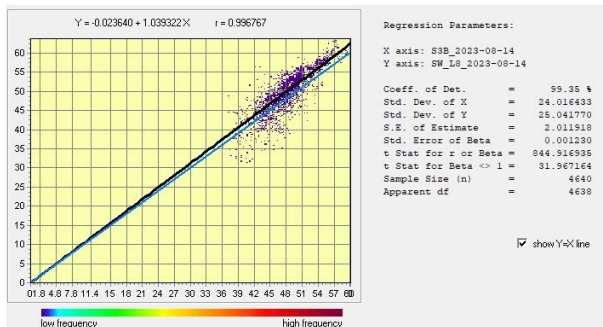
$$\varepsilon_a = 1 - 0.261 \exp\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\} \quad (16)$$

با محاسبه کمیت‌های تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح^۱، تابش ساطع شده از جو نسبت به سطح^۲ و تابش ساطع شده از سطح به جو زمین^۳، تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین^۴ و پارامتر جی^۵ توصیفگر جریان

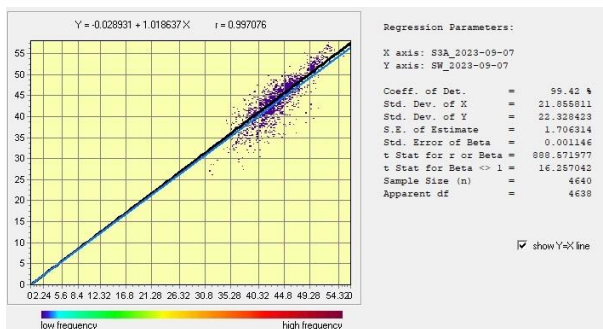
4. Net Surface radiation (R_n)
5. Soil heat flux (G)

1. Absorbed solar radiation flux (R Solar)
2. Atmospheric radiation emitted to the earth (R_{atm})
3. Surface reflectance (R surface)

منطقه مورد مطالعه می‌توان اصلی‌ترین عامل این اختلاف دمایی را مورفولوژی و ویژگی‌های متفاوت منطقه دانست [۱۷]. همان‌طور که قبلاً ذکر شد جهت ارزیابی دقت الگوریتم برآورد دمای سطح زمین از تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی بین دمای سطح بازبایی شده و دمای سطح سنتینل ۳ استفاده شد. در این تحلیل دمای سطح ماهواره سنتینل ۳ به‌عنوان متغیر مستقل و دمای سطح بازبایی شده با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا برای تصاویر ماهواره لندست ۸ و ۹ به‌عنوان متغیر وابسته در نرم‌افزار ترست معرفی شدند. نتایج حاصل از این تحلیل (شکل ۶)، مقادیر ضریب تبیین^۱ و ضریب همبستگی بین هر دو دمای سطح را برای تاریخ‌های ذکر شده مقدار ۰/۹۹ و ۱ برآورد کرده است که نشان‌دهنده رابطه مثبت و انطباق نزدیک بین این داده‌ها است.



(الف)

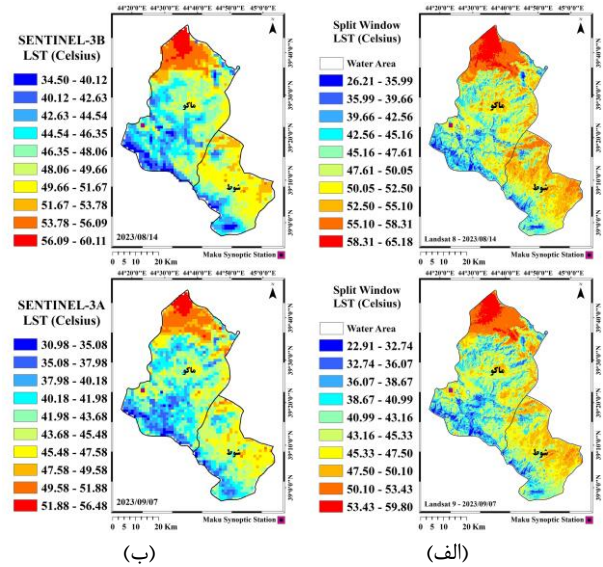


(ب)

شکل ۶ رگرسیون و ضریب همبستگی بین تصاویر دمای سطح بازبایی شده و تصاویر دمای سطح سنتینل ۳؛ (الف) لندست ۸، (ب) لندست ۹

۲-۲- آشکارسازی آنومالی حرارتی

جهت شناسایی آنومالی حرارتی ناشی از منابع گرمایی بر روی نقشه دمای مشاهداتی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم سبال استفاده گردید. سپس همان‌طور که قبلاً ذکر شد با ترکیب فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال با نقشه دمای مشاهداتی سطح مدل حرارتی تعدیل شده بدست آمد. شکل ۷ فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



(ب)

(الف)

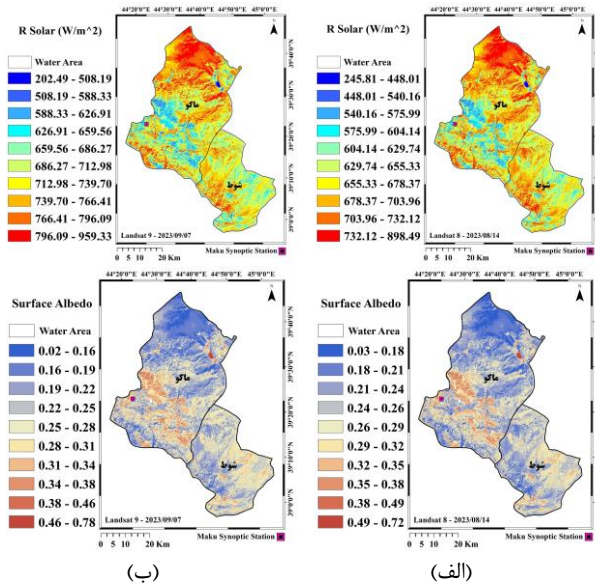
شکل ۵ نقشه دمای سطح زمین (الف) دمای بازبایی شده توسط الگوریتم پنجره مجزا، (ب) دمای حاصل از ماهواره سنتینل ۳.

با توجه به جدول ۷، در نقشه‌های نهایی حاصل از الگوریتم پنجره مجزا و دمای سطح حاصل از ماهواره سنتینل ۳ (شکل ۵) برای مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر دمای سطح زمین بین دمای بازبایی شده ماهواره لندست ۸ و ۹ و دمای سطح مناظر ماهواره سنتینل ۳ اختلاف دما برای تاریخ ۲۰۲۳/۰۸/۱۴ به ترتیب ۲/۲۹، ۸/۱۷۶، ۵/۰۶ و برای تاریخ ۲۰۲۳/۰۹/۰۷ به ترتیب ۸/۰۶، ۰/۹۰، ۳/۳۱ درجه سلسیوس اختلاف مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده بیشترین اختلاف دمایی در مقادیر حداقل دما برای هر دو تاریخ ذکر شده است. همچنین بررسی بصری دمای سطح زمین در هر دو نقشه نشان‌دهنده انطباق دما با توپوگرافی منطقه است (Error! Reference source not found.)، بطوریکه سردترین پیکسل‌ها مربوط به ارتفاعات بالا، مناطق دارای پوشش گیاهی و برخی مناطق انسان ساخت است. همچنین گرم‌ترین پیکسل‌ها مربوط به ارتفاعات پایین و مناطق عاری از پوشش گیاهی است.

جدول ۷ مقایسه حداقل و حداکثر دما بین مقادیر بازبایی شده توسط الگوریتم پنجره مجزا و دمای سطح ماهواره سنتینل ۳

شهر	لندست ۸	لندست ۹	
	۲۰۲۳/۰۸/۱۴	۲۰۲۳/۰۹/۰۷	
حداقل	میانگین	حداکثر	
دما (C°)	دما (C°)	دما (C°)	
ماکو	۲۶/۲۱	۴۹/۹۰	۶۵/۱۸
	SENTINEL-3A	SENTINEL-3B	
	۴۳/۶۹	۳۰/۹۸	۶۰/۱۱
	۴۸/۱۴	۳۴/۵۰	۵۶/۴۸

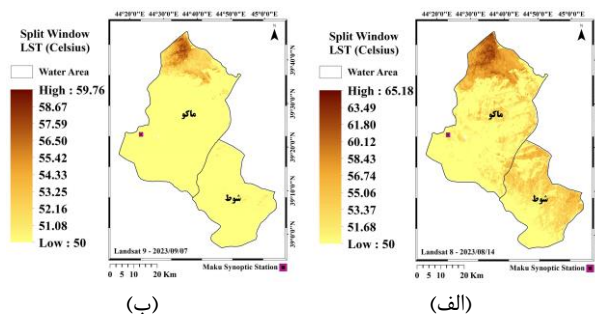
بر همین اساس با توجه به تأثیر ارتفاعات در دمای سطح زمین، وجود عوارض و پدیده‌های طبیعی و انسان‌ساخت با ویژگی‌های حرارتی متفاوت در



شکل ۷ فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال و آلبودی سطح: الف) تصویر لندست ۸ (ب) تصویر لندست ۹

۳-۳- شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی

روش پیشنهادی در این پژوهش در دو مرحله کلی صورت گرفت. در مرحله اول، برای محاسبه آنومالی حرارتی ابتدا از باند حرارتی لندست ۸ و ۹ استفاده شده و تصویر دمای سطح با توجه به روابط ارائه شده با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا تولید گردید. از لحاظ تئوری، مناطقی که دمای بالاتر و حداکثری داشتند (در این پژوهش دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد) به عنوان مناطقی که احتمال شناسایی منابع گرمایی در آن نواحی وجود دارد در نظر گرفته شدند (شکل ۸). ولی این حرارت سطح زمین زمانی متعلق به حرارت زمین‌گرمایی خواهد بود که تأثیر عوامل دیگر دخیل در این حرارت نظیر تشعشعات خورشیدی، مقدار انرژی خورشیدی جذب شده و اثرات توپوگرافی سطح که باعث جذب متفاوت نور خورشید در قسمت‌های مختلف سطح زمین می‌گردد از روی آن برداشته شود. برای این منظور در مرحله دوم، با استفاده از الگوریتم سبال مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، انرژی خالص هدایت شده به زمین و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح محاسبه گردید.

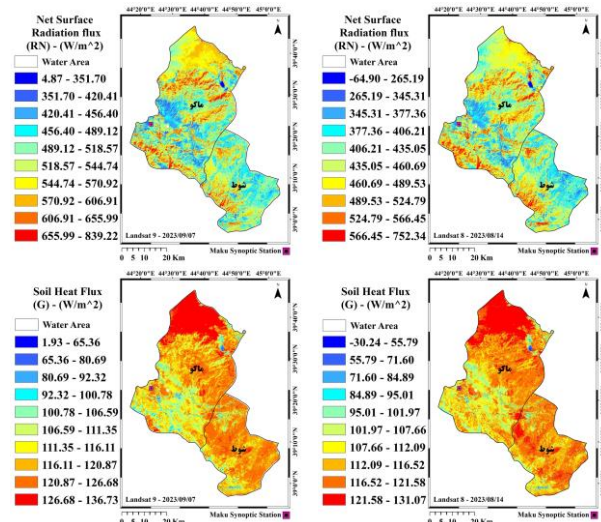


شکل ۸ نقشه دمای بالای ۵۰ درجه سانتی‌گراد حاصل از الگوریتم پنجره مجزا: الف) تصویر لندست ۸ (ب) تصویر لندست ۹

بررسی شار تابش خالص نشان داد، افزایش ارتفاع و پوشش گیاهی تا حد زیادی باعث افزایش در میزان جریان تابش خالص شده به طوری که وابستگی جریان تابش خالص به تغییرات ارتفاع بیشتر از تغییرات پوشش گیاهی است. دمای سطح نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در جریان تابش خالص است. سطوحی که دمای کمتری داشتند پتانسیل بالای در جذب تابش خورشیدی از خود نشان دادند، بر همین اساس رابطه بین جریان تابش خالص با دما رابطه معکوس بوده و با افزایش دما میزان جریان تابش خالص نیز کم شده است.

با توجه به اینکه تمام قسمت‌های زمین به یک اندازه تابش خورشیدی دریافت نمی‌کنند بنابراین بررسی تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح زمین نشان داد سطوح مختلف تابش خورشید را به میزان متفاوتی جذب کرده و هرچه یک سطح نور خورشید بیشتری جذب کند گرم‌تر شده و انرژی بیشتری به عنوان گرما بازتاب خواهد کرد؛ بنابراین نسبت تابش خورشیدی ورودی که توسط زمین منعکس می‌شود به عنوان آلبودی آن شناخته می‌شود. با توجه به توضیحات ذکر شده کمترین میزان تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح زمین در منطقه مورد مطالعه مربوط به مناطق با پوشش برف و یخ، نواحی عاری از پوشش گیاهی، خاک لخت و برخی از نواحی انسان ساخت که دارای آلبودی بالایی هستند، است. در شکل ۷ آلبودی محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

همانطور که قبلاً ذکر شد شار گرمایی خاک جریان گرمایی ما بین لایه‌های مختلف خاک یا به عبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین است. در ضمن شار گرما به داخل و خارج از سیستم خاک یک فرآیند انتقال انرژی است و نرخ انتقال انرژی توسط هدایت به ظرفیت مواد برای هدایت انرژی (هدایت حرارتی) و گرادیان دما نسبت به فاصله در داخل مواد بستگی دارد [۴۳]. پدیده‌های داخل زمین به‌صورت رسانای حرارتی عمل می‌کند و انرژی هسته مرکزی را به لایه‌های نزدیک سطح زمین انتقال می‌دهند بنابراین شار گرمای خاک پارامتر مؤثر در تعیین دمای سطح و ناهنجاری‌های دمای است.



سطح با فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم سیال استفاده نمود که منجر به شناسایی پیکسل‌های مستعد منابع زمین‌گرمایی شد. با توجه به نقشه‌های نهایی به دست آمده (شکل ۱۰) می‌توان گفت که لحاظ کردن حداقل مقدار فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سیال در محاسبه مدل حرارتی تعدیل شده باعث کاهش تأثیر عواملی غیر از منابع زمین‌گرمایی در شناسایی پیکسل‌های مستعد منابع زمین‌گرمایی گردید. بر همین اساس با توجه به اهمیت دمای سطح زمین در شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از منابع زمین‌گرمایی، در تصویر لندست ۹ پیکسل‌هایی که در نقشه نهایی شناسایی شده‌اند مربوط به قسمت‌های شرقی منطقه مورد مطالعه هستند در حالی که در تصویر مربوط به لندست ۸ پیکسل‌ها به‌صورت پراکنده در نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شوند و پیکسل منطبق با شواهد ظاهری انرژی زمین‌گرمایی (چشمه آبگرم) نیز در این تصویر مشاهده می‌شود. در شکل ۱۰ موقعیت آبگرم طبیعی واقع شده در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. پژوهش حاضر که همسو با نتایج پژوهش‌های [۶]، [۱۷] و [۲۰] است، به این نتیجه رسید که مطالعات سنجش‌ازدوری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ابزاری مناسب و کم هزینه نسبت به روش‌های تجربی و تحلیل‌های زمان‌بر از کارایی بالایی جهت شناسایی و تهیه نقشه منابع زمین‌گرمایی برخوردار است. به طوری که با استفاده از این داده‌ها و روش استفاده شده پیکسل‌هایی در منطقه مورد مطالعه با توجه به همبستگی مکانی مناسبی که با شواهد ظاهری داشتند، شناسایی شدند.

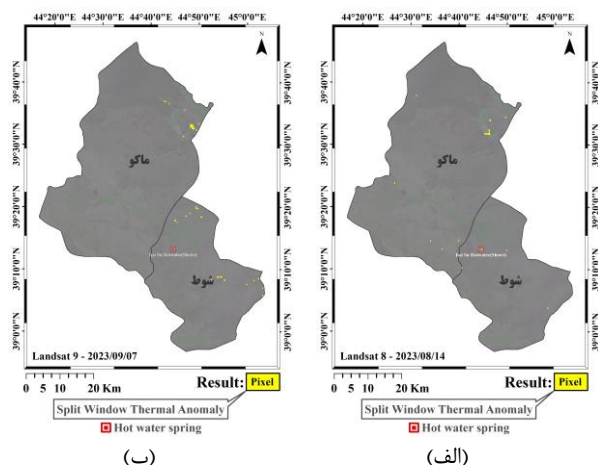
این پژوهش مرحله‌ی اول اکتشاف منابع زمین‌گرمایی در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود، بنابراین جهت رسیدن به هدف نهایی و بهره‌برداری از پتانسیل انرژی ژئوترمال، می‌تواند آغازگر مطالعات بیشتری بر روی نواحی پر پتانسیل حاصله باشد. برای بالا بردن ضریب اطمینان در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی، لازم است نتایج این پژوهش با لایه‌های اطلاعاتی دیگر مانند ژئوفیزیک، زمین‌شناسی و ژئوشیمی نیز تلفیق و در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد. در زمینه اکتشافات تفضیلی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی، نتیجه این پژوهش می‌تواند جهت محدودتر شدن مناطق مورد بررسی، مورد استفاده قرار گیرد.

۵- مراجع

- [1] A. Soleimani & P. Abroumand Azar, Review of renewable energies and their environmental effects in iran, *International Conference On Research In Science and Technology*, Vol. 3, December 2015. (in Persian)
- [2] M. Kaviani, Wind turbines and the study of wind energy potential in iran. *Geographical Research Quarterly*, Vol. 10, pp. 31-44, 1995. (in Persian)
- [3] H. Shenavaei, Renewable energies (with a special look at hydroelectric energy), *Journal Of Energy Economics Reviews*, Vol. 7, pp. 75-92, 2006. (in Persian)
- [4] S. Mojarad, H. Aghajani & A. Nejadi, Thermal remote sensing studies and comparison with aeromagnetic studies in the northern sabalan to sarab area in order to potential geothermal energy promising areas, *Journal Of Analytical and Numerical Methods In Mining Engineering*, Vol. 9, No. 20, pp. 67-80, 2019. (in Persian)
- [5] S. K. Sanyal, Sustainability and renewability of geothermal power capacity, *In Proceedings World Geothermal Congress*, pp. 24-29, 2005.
- [6] H. Emami & A. Jafari, Shadow geothermal energy detection using integrating of temperature anomalies and sebal algorithm, *Journal*

سپس، با ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی با نقشه‌های حرارتی سطح، نقشه حرارتی تعدیل شده به عنوان یک مدل حرارتی تعریف گردید. این مدل حرارتی عوامل تغییر حرارت از پیکسلی به پیکسل دیگر را مدل کرده و از یک طرف، در محاسبه آن تصحیح توپوگرافی و اتمسفری سطح در نظر گرفته شده که اثرات شیب، جهت شیب و غیره در آن دیده شده است و از طرف دیگر با محاسبه المان‌های الگوریتم سیال، مدل حرارتی حاصل در اثر این عوامل تعدیل گردید. مثلاً اگر در پیکسلی دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده دمای حداکثری را نشان دهد و المان‌های مؤثر الگوریتم سیال هم مقادیر حداکثری در آن پیکسل داشته باشند، یعنی دمای حداکثری آن پیکسل ناشی از تشعشعات خورشیدی و مقدار حرارت جذب شده از خورشید تلقی می‌گردد نه حرارت ناشی از زمین‌گرمایی و برعکس، اگر پیکسلی دمای مشاهداتی حداکثری داشته باشد ولی المان‌های مؤثر الگوریتم سیال مقادیر حداقلی در آن پیکسل داشتند، آن پیکسل به عنوان پیکسل مستعد انرژی زمین‌گرمایی شناسایی می‌شود.

به این ترتیب مناطق دارای آنومالی حرارتی ناشی از فعل‌وانفعال‌های درون زمین تعیین گردید و با شناسایی همه پیکسل‌های مستعد زمین‌گرمایی، نقشه آنومالی حرارتی منطقه مورد مطالعه تولید گردید (شکل ۹). پیکسل‌ها در شکل ۹ جهت نمایش بصری بهتر نسبت به حالت واقعی بزرگنمایی شده‌اند.



شکل ۹ نقشه مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی؛ الف) ترکیب دمای مشاهداتی تصویر لندست ۸ با فلوهای گرمایی الگوریتم سیال، ب) ترکیب دمای مشاهداتی تصویر لندست ۹ با فلوهای گرمایی الگوریتم سیال.

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به رشد روزافزون جمعیت، توسعه‌ی پایدار شهری و نیاز روزافزون به انرژی‌های نو در مقابل انرژی‌های فسیلی، به علت تجدید پذیری، پاک بودن و ارزانی این نوع انرژی، فکر به‌کارگیری انرژی‌های نو و تجدید پذیر از جمله انرژی زمین‌گرمایی را می‌توان تحولی اساسی در حفظ ذخایر نفتی، پایداری اقتصادی و موازین و معیارهای زیست‌محیطی دانست. در نتیجه پژوهش حاضر نیز با هدف شناسایی پتانسیل‌های انرژی پاک با استفاده از روش سنجش از دور حرارتی در منطقه شوط-ماکو استان آذربایجان غربی از ترکیب دمای مشاهداتی

- [25] S. Jahanbakhsh & M. Rajabi, *Basics of natural geography*, first edition, Tabriz University Press, p. 534, 2009. (in Persian)
- [26] B. Johnson, R. Tateishi & T. Kobayashi, Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers, *Remote Sensing*, Vol. 4, No. 9, pp. 2619–2634, 2012.
- [27] P. Lale, Kh. Majid, Kh. Valizadeh, Sh. Araghi Nejhah, P. Iran Nejhah, Evaluating the efficiency of the normalized difference vegetation index through vegetation condition monitoring, nec of iran, *Geomatics Conference*, Tehran, 2010. (in Persian)
- [28] J. Sobrino, A comparative study of land surface emissivity retrieval from noaa data, *Remote Sensing Of Environment*, Vol. 75, No. 2, pp. 256–266, 2001.
- [29] B. Feizizadeh, Kh. Didehban & Kh. Gholamnia, Extraction of land surface temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm study area: mahabad catchment, *Journal Of Geographical Data (SEPEHR)*, Vol. 25, No. 98, pp. 171-181, 2016. (in Persian)
- [30] J. Zhang, Y. Wang, & Y. Li, A c++ program for retrieving land surface temperature from the data of landsat tm/etm+ band6, *Computers & Geosciences*, Vol. 32, No. 10, pp. 1796–1805, 2006.
- [31] B. Zenali, S. Asghari Saraskanrood, M. Mohamadzadeh Shishegaran & E. Ghale, Monitoring the land surface temperature and examining the relationship between land use and surface temperature using oli and etm+ sensor images (Case Study: Cities Of Parsabad And Aslanduz). *Journal Of Climate Research*, Vol. 12, No. 46, pp. 101-114, 2021. (in Persian)
- [32] G. Rongali, A. K. Keshari, A. K. Gosain & R. Khosa, Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using landsat 8 thermal infrared data, *Journal Of Geovisualization and Spatial Analysis*, Vol. 2, No. 2, 2018.
- [33] B. Ebrahimi Heravi, K. Rangzan, H. R. Riahi Bakhtiari & A. Taghi Zadeh, Introducing the most appropriate method to extract land surface temperature using landsat 8 satellite images in karaj metropolitan, *Iranian Journal Of Remote Sensing & Gis*, Vol. 8, No. 3, pp. 59-76, 2016. (in Persian)
- [34] L. M. Mcmillin, Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 80, No. 36, pp. 5113–5117, 1975.
- [35] J. A. Sobrino, L. Z-L, M. P. Stoll & F. Becker, Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with atsr data, *Oceanographic Literature Review*, Vol. 2, No. 44, pp. 162–163, 1997.
- [36] J.C. Jimenez-Munoz & J. A. Sobrino, Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors, *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 5, No. 4, pp. 806–809, 2008.
- [37] Z. Qin & A. Karnieli, Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using noaa-avhrr data, *International Journal Of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 12, pp. 2367–2393, 1999.
- [38] M. Abedin, E. Ghale, N. Aghazadeh & M. Mohamadzadeh Sheshegaran, Monitoring the surface temperature and studying the land use relationship with surface temperature using oli and tm image sensors (Case Study: Meshginshahr City), *Journal Of Applied Researches In Geographical Sciences*, Vol. 22, No. 67, pp. 375-393, 2021. (in Persian)
- [39] M. Isaya Ndossi & U. Avdan, Application of open-source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from landsat: a pyqgis plugin, *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 5, p. 413, 2016.
- [40] Sh. Darvishi, M. Rashidpour & K. Solaimani, *Impact of urban surface characteristics on spatiotemporal patterns of surface temperature (case study: sanandaj city)*, MSc Thesis, Faculty Of Environmental Sciences, Haraz, Amol, 2018. (in Persian)
- [41] W.G.M. Bastiaanssen, M. Menenti, R.A. Feddes & A.A.M. Holtslag, A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL), *Journal Of Hydrology*, Vol. 212–213, pp. 213–229, 1998.
- [42] X. Ou, Z. Jin, L. Wang, H. Xu & S. Jin, Thermal conductivity and its anisotropy of rocks from the depth of 100 similar to 2000m *Of Geomatics Science and Technology*, Vol. 7, No. 4, pp. 25-44, 2018. (in Persian)
- [7] S. Motahar & A.A. Rajabi, Renewable energy education in iran, *Iranian Journal Of Engineering Education Issn 1607-2316*, Vol. 18, No. 69, pp. 77-90, 2016.
- [8] S.K. Alavipanah, S.Goodarzi Mehr & B. Khakba, Thermal remote sensing technology and its application to phenomena identification, *Science Cultivation Journal*, Vol. 2, No. 1, p. 25, 2012. (in Persian)
- [9] Y. Yamaguchi, H. Hase, & K. Ogawa, Remote sensing for geothermal applications, episodes, *Journal Of International Geoscience*, Vol. 15, No. 1, pp. 62–67, 1992.
- [10] Haselwimmer & A. Prakash, Thermal infrared remote sensing of geothermal systems, *Thermal Infrared Remote Sensing*, Vol. 17, pp. 453–473, 2013.
- [11] S. Sheikhzadeh & H. Jafari, Using geothermal energy to reach a sustainable city, *International Research Conference On Science and Technology*, Vol. 3, pp. 1-15, 2016. (in Persian)
- [12] K. Lee, Analysis of thermal infrared imagery of the black rock desert geothermal area, *International Conference On Multimedia Information Networking and Security*, Vol. 4, No. 2, pp. 31-44, 1978.
- [13] M. Eneva, M. Coolbaugh & J. Combs, Application of satellite thermal infrared imagery to geothermal exploration in east central california, *Grc Transactions*, Vol. 30, pp. 407-411, 2006.
- [14] M. F. Coolbaugh, C. Kratt, A. Fallacaro, W. M. Calvin & J. V. Taranik, Detection of geothermal anomalies using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) thermal infrared images at bradys hot springs, nevada, usa, *Remote Sensing Of Environment*, Vol. 106, No. 3, pp. 350–359, 2007.
- [15] S.L. Lu, X.H. Shen, L.J. Zou, G.F. Zhang, W.Y. Wu, C.J. Li & Y.J. Mao, Remote sensing image enhancement method of the fault thermal information based on scale analysis: a case study of jiangshan-shaoxing fault between jinhu and quzhou of zhejiang province, china, *Chinese Journal Of Geophysics*, Vol. 51, No. 5, pp. 1048–1058, 2008.
- [16] F. Peng, Y. Z. Xiong, Y. X. Cheng, Q. C. Fan & S. P. Huang, Towards application of remote sensing technology in geothermal prospecting in xilingol in eastern inner mongolia, ne china, *Advanced Materials Research*, Vol. 610, pp. 3628–3631, 2012.
- [17] R. Parhizcar Isalu, Kh.Valizadeh Kamran & B. Faizizadeh, Determining the best algorithm to calculate land surface temperature with the aim of identifying geothermal areas - case study: meshkinshahr county, *Journal Of Geographical Data (SEPEHR)*, Vol. 29, No. 114, pp. 79-98, 2020. (in Persian)
- [18] T. Nouri Jekharkandi & M. Mohammadi Oskouei, Using band ratios to detect geothermal resources using aster data in sablan region, ardebil, *High Technology & Environmental Sciences*, Kerman, Vol. 1, pp. 1-12, 2011. (in Persian)
- [19] S. Keynejhad, N. Fathianpour & M.R. Irannejhad, *Investigating the potential of geothermal resources in east azerbaijan using geological and exploration data*. Dissertation For Master's Degree In Mining Exploration, Faculty Of Mining Engineering, Isfahan University Of Technology, Iran, 2011. (in Persian)
- [20] S.S.R. Ahmadizadeh, F. Arasteh, Gh. A. Fanaee Kheirabad & A. Ashrafi, Detection of geothermal potentials using thermal remote sensing in south khorasan, *Environmental Researches*, Vol. 5, No. 10, pp. 135, 2015. (in Persian)
- [21] R. Richter & D. Schläpfer, *Atcor-2/3 user guide*, Version 8.3.1, Zurich, Switzerland, Vol. 238, 2014.
- [22] M. Maleki, Z. Ahmadi & R. Dousti, Land surface temperature changes in during 1393-1397 periods, *Journal Of Geography and Human Relations*, Vol. 2, No. 3, pp. 309-319, 2019. (in Persian)
- [23] Y. Jouybari Moghaddam, M. Akhoondzadeh & M. R. Saradjian, A split-window algorithm for estimating lst from landsat-8 satellite images, *Journal Of Geomatics Science and Technology*, Vol. 5, No. 1, pp. 215-226, 2015. (in Persian)
- [24] S.K. Alavipanah, *Thermal remote sensing and its application in earth sciences*, Tehran University Press, pp. 1-524, 2016. (in Persian)

- mainhole of chinese continental scientific drilling: revelations to the study on thermal structure of subduction zone, *Acta Petrologica Sinica*, Vol. 20, pp.109-118, 2004.
- [43] M. Melesse & V. Nangia, Estimation of spatially distributed surface energy fluxes using remotely-sensed data for agricultural fields, *Hydrological Processes*, Vol. 19, No. 14, pp. 2653–2670, 2005.