

شناسایی مناطق امیدبخش برای انرژی ژئوترمال با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در منطقه سبلان

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، بهروز فرامرزی عوری^۲، توحید نوری^۳، موسی عابدینی^۱

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

* نویسنده مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۱۵

چکیده

مناطق داری پتانسیل زمین‌گرمایی به‌طور 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 روش سبلان با استفاده از داده‌های حرارتی سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ در منطقه سبلان اردبیل واقع در شمال غرب کشور می‌باشد. برای این منظور یک تصویر از داده‌های لندست ۸ (با توجه به قدرت تفکیک طیفی و قدرت تفکیک مکانی مناسب تصاویر لندست ۸ که در پژوهش پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۷ نیز استفاده شده است) به تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از الگوریتم‌های تک باندی جیمز-سوبرینو و پنجره مجزا، نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین به‌دست آمد سپس دمای به‌دست آمده با استفاده از داده‌های هواشناسی اعتبارسنجی شد تا در ادامه فرآیند شناسایی منابع زمین‌گرمایی مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبلان) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (R_n)، انرژی خالص هدایت شده به زمین (G) و مقدار تابش جذب‌شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar})، محاسبه گردید تا اثر تشعشعات خورشیدی از روی دمای مشاهداتی سطح به حداقل ممکن برسد. با ترکیب فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبلان با دمای مشاهداتی سطح، مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند. نتایج نشان داد که مناطقی در شهرهای اردبیل، سرعین، نیر و مشگین شهر هستند که مناطق مستعد زمین‌گرمایی می‌باشند و وجود آبگرم طبیعی و شواهد اکتشافی در شهر مشگین شهر و سرعین احتمال وجود منابع زمین‌گرمایی را افزایش داده و تأییدگر این مطلب می‌باشد که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالایی جهت اکتشاف منابع زمین‌گرمایی برخوردار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنومالی حرارتی، انرژی زمین‌گرمایی، توازن انرژی در سطح زمین، دمای سطح زمین، سبلان، لندست ۸.

مقدمه

برای منابع انرژی از یک سو به‌عنوان 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 این‌رو، جهان در تکاپوی عبور از این تنگنای انرژی به منابع تجدیدپذیر،

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 می‌باشد (سلیمانی و آبرومند آذر، ۱۳۹۴). وابستگی شدید و تقاضای روزافزون جهان

انرژی کشور و اهداف توسعه پایدار ایفا می‌کند (مجرد و همکاران، ۱۳۹۸). انرژی زمین‌گرمایی حرارت طبیعی نهفته در داخل زمین است که ناشی از حرارت باقیمانده در هسته زمین، اصطکاک صفحات قاره‌ای که زیر یکدیگر قرار گرفته‌اند، همچنین واپاشی عناصر رادیواکتیو است که به‌طور طبیعی در مقادیر کم در اعماق مختلف زمین وجود دارد. تحقیقات انجام‌شده بر روی این انرژی نشان می‌دهد که پتانسیل آن را دارد که بخش اعظم انرژی موردنیاز بشر را به‌صورت پایدار و بدون آلودگی‌های زیست‌محیطی تأمین کند (Sanyal, 2018). چشمه‌های آب گرم، نمونه‌هایی از انرژی زمین‌گرمایی هستند. چشمه آبگرم به چشمه‌هایی گفته می‌شود که درجه حرارت آن ۵ یا ۶ درجه بالاتر از درجه حرارت محیط اطراف می‌باشد. منشأ دمای آب چشمه‌های آبگرم فعالیت‌های ولکانیکی، گرا دیان زمین‌گرمایی با گردش عمیق آب، فعل و انفعالات فیزیکیوشیمیایی، واپاشی رادیواکتیو و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد (علیمرادی و همکاران، ۱۳۹۹). انرژی زمین‌گرمایی برخلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر (مثل انرژی خورشیدی، بادی، امواج و غیره) منشأ یک انرژی پایدار به‌شمار می‌آید. چنان‌که به‌طور مداوم و به‌صورت ۲۴ ساعت در روز و ۳۶۵ روز در سال می‌توان با بار کامل از آن برق یا انرژی حرارتی تولید کرد این در حالی است که سایر انرژی‌های نو فصلی و وابسته به زمان و شرایط خاصی هستند. با توجه به اینکه محل احداث واحدهای تولید برق زمین‌گرمایی دوردست و صعب‌العبور می‌باشند، هزینه ساخت و تولید برق در این واحدها، اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در زمینه ساخت نیروگاه‌های زمین‌گرمایی است. ارقام ارائه‌شده در مورد قیمت برق تولیدی در این واحدها با در نظر گرفتن ۳۰ سال عمر مفید و عدم استفاده از سوخت، محاسبه می‌شوند. ازجمله کاربردهای غیر نیروگاهی انرژی زمین‌گرمایی می‌توان به گرمایش خانگی، پرورش ماهی، مراکز گلخانه‌ای، ذوب برف و غیره اشاره نمود (شنوایی، ۱۳۸۷). ایران ازجمله کشورهایی است که به علت قرار گرفتن در کمربند آتشفشان و زلزله دارای منابع مهم و پتانسیل زمین‌گرمایی نسبتاً بالایی است (امامی و جعفری، ۱۳۹۷). طبق چشم‌انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران تا سال ۱۴۰۴ باید ۱۰ درصد برق مورد نیاز از انرژی‌های تجدید پذیر تأمین

به‌ویژه انرژی‌های نو بوده و گام‌های سریعی در جهت توسعه فناوری‌های بهره‌وری برمی‌دارد (کاویانی، ۱۳۹۸). منابع تجدیدپذیر شامل انرژی‌هایی مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی برق‌آبی، انرژی زیست‌توده‌ای و انرژی زمین‌گرمایی می‌باشد. با کنترل و به کار گرفتن این انرژی‌ها، سوخت و انرژی موردنیاز زندگی و صنعت تأمین می‌شود. هزینه‌های بهره‌برداری از انرژی‌های پاک نیز خیلی کمتر از هزینه تولید سوخت‌های فسیلی می‌باشد. پس انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند جایگزین مناسبی برای انرژی‌های تجدید ناپذیر باشند و این امر به ذخیره‌سازی سوخت‌های فسیلی و گازی کمک می‌کند (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۷). در کشور ما به‌کارگیری 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 تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی از هزینه بهره‌برداری پایین‌تر و هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتری برخوردارند (شنوایی، ۱۳۸۷). انرژی‌های تجدیدپذیر، ویژگی‌هایی همچون سازگاری با طبیعت، عدم آلودگی محیط‌زیست، تجدیدپذیری، پراکندگی و گستردگی منابع آن‌ها در تمام جهان از جاذبه بیشتری، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، برخوردارند. ازاین‌رو، در برنامه‌ها و سیاست‌های بین‌المللی، از جمله در برنامه‌های سازمان ملل متحد و در راستای رسیدن به توسعه پایدار جهانی، اهمیت ویژه‌ای به منابع تجدیدپذیر انرژی داده می‌شود. در ایران علیرغم وجود منابع عظیم نفت و گاز باید به منابع تجدیدپذیر انرژی مانند باد، انرژی خورشیدی، بیوماس^۱، انرژی زمین‌گرمایی، برق‌آبی، هسته‌ای، پیل سوختی و بیوگاز که پتانسیل‌های قابل‌توجهی در سطح کشور دارند، توجه بیشتری شود. خوشبختانه در سطح جهانی گام‌های مثبتی در راه بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر برداشته شده و تحقیقات وسیع و سرمایه‌گذاری‌های اصولی در این زمینه صورت گرفته است. در این میان، انرژی زمین‌گرمایی یکی از منابع عمده انرژی‌های نو و سازگار با محیط زیست است که در صورت بهره‌برداری صحیح و مبتنی بر پارامترهای محیط زیستی، نقش مهمی را در موازنه

¹ Biomass

در ایران از سال ۱۳۴۵ مطالعات گسترده‌ای به منظور شناسایی پتانسیل‌های منابع انرژی زمین‌گرمایی توسط وزارت نیرو با همکاری مهندسین مشاور ایتالیایی^۱ در نواحی شمال و شمال غرب ایران در محدوده‌ای به وسعت ۲۶۰ هزار کیلومتر مربع آغاز گردید. نتیجه این تحقیقات مشخص نمود که مناطق سبلان، دماوند، خوی، ماکو و سهند با مساحتی بالغ بر ۳۱ هزار کیلومتر مربع جهت انجام مطالعات تکمیلی و بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی مناسب می‌باشند. در سال ۱۳۶۱ در منطقه سبلان: 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^۲ بازنگری شده و منطقه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر به‌عنوان 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 (شیخ زاده و جعفری، ۱۳۹۵).

Lee (1978) با استفاده از سنجش‌ازدور حرارتی، ناهنجاری‌های حرارتی را در منطقه صحرای بلک راک نوادا مشخص کرد. Yamaguchi et al. (1992) نقش سنجش‌ازدور برای کاربردهای زمین‌گرمایی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که سنجش‌ازدور می‌تواند در مطالعات و اکتشافات انرژی زمین‌گرمایی با شناسایی ناهنجاری حرارتی سطح زمین با استفاده از تصاویر مادون‌قرمز حرارتی، نقشه‌برداری خطواره‌هایی که مسیرهایی برای عبور سیالات زمین‌گرمایی هستند و مشخص کردن مناطق دگرسان شده‌ی گرمایی با استفاده از الگوهای طیفی در بخش‌های مادون‌قرمز با طول موج کوتاه، سهمی داشته باشد. Eneva et al. (2006) 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 سنجش‌ازدور را در اکتشاف منابع زمین‌گرمایی مقرون به صرفه بودن و قابلیت کاربرد آن در مقیاس وسیع عنوان نمودند. آن‌ها سعی نمودند اثرات ناشی از

شود (Motahhar and Alemrajabi, 2016). دستیابی به اطلاعات در کوتاه‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری است. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنجش‌ازدور، به علت توانایی در شناسایی و اکتشاف پدیده‌ها نسبت به روش‌های سنتی همواره مورد توجه متخصصین، مدیران و تصمیم‌گیران بوده است (علوی پناه و همکاران، ۱۳۹۰). علاوه بر این، قابلیت تکرار اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در طول ماه یا سال، امکان مطالعات تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به خوبی فراهم ساخته است (احمدی و رضانی اعتدالی، ۱۴۰۱). تلاش‌های متخصصان فن‌آوری‌های فضایی و سنجش‌ازدور موجب شده است که با استفاده از اطلاعات و داده‌های ماهواره‌ای بتوان در جهت اعمال مدیریت صحیح و مبتنی بر دانش روز گام‌هایی برداشت. امروزه، شناسایی و مطالعه‌ی اجسام و پدیده‌ها با استفاده از سنجنده‌های حرارتی موجب تحول در سنجش‌ازدور شده و با استفاده از فن‌آوری سنجش‌ازدور حرارتی ممکن است بتوان با کمترین هزینه و کوتاه‌ترین زمان، پروژه‌های زیادی در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی اجرا کرد (علوی پناه، ۱۳۸۳). در مطالعات مربوط به جستجوی منابع زمین‌گرمایی از فناوری سنجش‌ازدور به منظور شناسایی آنومالی‌های حرارتی، گسل و شکستگی‌ها، نقاط آتش‌فشانی و نواحی دگرسانی استفاده می‌شود (Yamaguchi et al., 1992). این رویکرد، چندین سال است که به‌عنوان یک ابزار مفید و با ارزش 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 (Haselwimmer and Prakash, 2013). این مسئله اهمیت موضوع انتخاب‌شده برای پژوهش حاضر جهت شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور را بیشتر آشکار می‌سازد. در این پژوهش جهت شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، روش پیشنهادی (امامی و جعفری، ۱۳۹۷) استفاده شده است.

² United Nations Development Programme (UNDP)

¹ Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (E.N.EL)

آتشفشانی جوان و سایر شواهد اکتشافی، به عنوان یکی از مناطق دارای پتانسیل زمین گرمایی در کشور شناخته شده، به بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال در این منطقه پرداخته‌اند. احمدی زاده و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از سنجش از دور حرارتی به شناسایی و اکتشاف مناطق زمین گرمایی در خراسان جنوبی پرداختند. آن‌ها جهت شناسایی دقیق مناطق مستعد زمین گرمایی، نقشه ناهنجاری‌های دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور تهیه نموده و به این نتیجه رسیدند که استان خراسان جنوبی از سطح مناسب و مستعدی برای تولید انرژی زمین گرمایی برخوردار است. امامی و جعفری (۱۳۹۷) در پژوهش خود جهت شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی با استفاده از سنجش از دور در شمال غرب کشور، نقشه مشاهداتی دمای سطح حاصل از سنجنده TIRS^۲ 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 مدل سازی کرده و اثرات آن را به حداقل برسانند. بر این اساس مناطق نهایی که مستعد وجود منابع زمین گرمایی بود شناسایی و تعیین گردید.

هدف پژوهش حاضر استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور حرارتی جهت شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی، با ترکیب دمای مشاهداتی سطح و فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، با استفاده از داده‌های لندست ۸ در منطقه سبلان اردبیل (محدوده اطراف قله آتشفشانی سبلان) می‌باشد.

موارد و روش‌ها

روند کلی تحقیق

با توجه به مطالعات پیشین در زمینه شناسایی منابع زمین گرمایی در منطقه سبلان اردبیل، بجای استفاده از مدل‌های معمول نظیر مدل‌های سویچ^۳ و کولبو^۴، در محاسبه مقدار انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده شده است. روش پیشنهادی از شش مرحله اصلی تشکیل شده است: در مرحله اول داده‌های تحقیق

توپوگرافی و آلبدو^۱ 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. Coolbaugh et al. (2007) 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 اصلاح شده 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. Lu et al. (2008) برای شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی وابسته به گسل‌ها در مقیاس خاصی از گسل جیانگشان-شاوژینگ در استان ژجیانگ چین، از تصاویر حرارتی ETM+، 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 کلون نسبت به پس زمین به عنوان آنومالی حرارتی شناخته شد و نشان داده شد که محل این آنومالی‌ها منطبق بر فعالیت گسل‌ها بود.

Peng et al. (2013) نیز از روش مشابهی در منطقه‌ای در شمال شرقی چین استفاده کردند با این تفاوت که از حد آستانه ۳۵ درجه سانتی گراد برای شناسایی آنومالی حرارتی استفاده کردند.

پرهیزکار (۱۳۹۷) در پایان نامه خود با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره لندست ۸ با اشاره به کلیدی بودن نقش دمای سطح در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین گرمایی، با مقایسه الگوریتم‌های مختلف بهترین روش برای برآورد دمای سطح را انتخاب و در حوزه شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین گرمایی در سطح شهرستان مشگین شهر استفاده کرد. نوری و محمدی (۱۳۸۹) در تحقیقی به شناسایی مناطق ژئوترمال در منطقه سبلان، اردبیل پرداختند. آن‌ها هدف از این تحقیق را ارزیابی قابلیت تکنیک سنجش از دور و داده‌های استر در شناسایی ذخایر ژئوترمال عنوان کرده و از روش نسبت گیری باندی برای شناسایی شش نوع کانی مرتبط با سیستم‌های ژئوترمال استفاده کردند. کی‌نژاد (۱۳۹۰) با بیان این موضوع که استان آذربایجان شرقی به خاطر وجود قلل

³ Savage

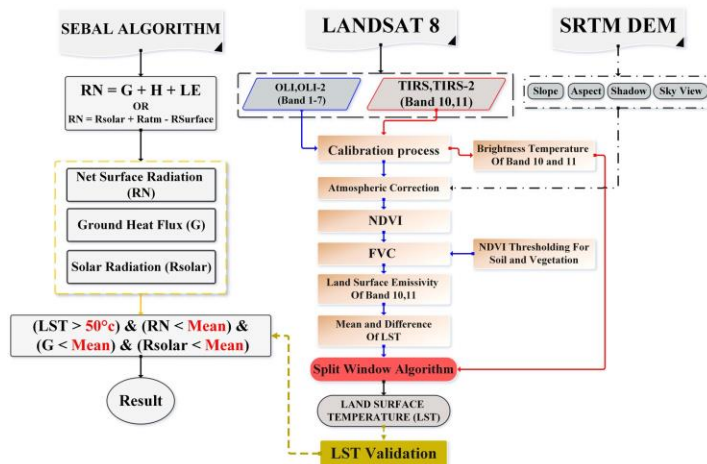
⁴ Coolbaugh

¹ Albedo

² Thermal Infra-Red Sensor (TIRS)

تصویر ماهواره‌ای اعتبار سنجی شدند و سپس نقشه آنومالی حرارتی سطح تعیین گردید. در مرحله چهارم، با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (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 (Rsolar) محاسبه گردید. در مرحله پنجم، ارزیابی و ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی با نقشه‌های آنومالی حرارتی انجام گرفت و مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند و نهایتاً نتایج حاصل آنالیز و بررسی گردیدند. در شکل ۱ فلوچارت فرآیند کلی پژوهش نشان داده شده است.

پیش‌پردازش شده و تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی آن‌ها انجام گرفت. برای انجام تصحیح توپوگرافی و اتمسفری با استفاده از افزونه ATCOR2/3 (پایه‌سازی شده در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 که از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابشی MODTRAN-5 استفاده می‌کند)، از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده SRTM^۱ استفاده شد و مشتقات لازم نظیر شیب^۲، جهت شیب^۳، سایه^۴ و نمای آسمان^۵ استخراج و استفاده گردید. در مرحله دوم نقشه دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم‌های پنجره مجزا^۶ و تک بانده^۷ استخراج گردید. در مرحله سوم دمای حاصل از الگوریتم‌های مذکور با دمای هوای ساعتی ایستگاه مشگین شهر در هنگام عبور ماهواره لندست ۸ و دمای عمق مختلف خاک در روز اخذ



شکل ۱- فلوچارت فرآیند کلی پژوهش.

Figure 1- Flowchart of the overall research process.

منطقه مورد مطالعه

۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی واقع شده است. مرتفع‌ترین قسمت محدوده مورد مطالعه مربوط به توده آتشفشانی سبلان است که بلندترین نقطه آن به نام سلطان سبلان دارای ارتفاع ۴۸۱۱ متر می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه، قسمتی از شمال غرب ایران است با وسعتی حدود ۲۱۰۸ کیلومترمربع که دربرگیرنده قسمتی از استان اردبیل شامل بخش‌هایی از شهرستان‌های اردبیل، مشگین شهر، سرعین و نیر و قسمتی از استان آذربایجان شرقی شامل بخشی از شهرستان سراب می‌باشد (شکل ۲) که در بین طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۸ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا

⁴ Shadow

⁵ Sky Veiw

⁶ Split Window

⁷ Single Channel

¹ Shuttle Radar Topography Mission Digital Elevation Model

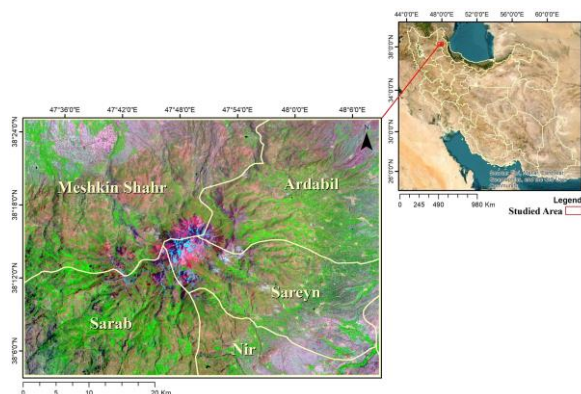
² Slope

³ Aspect

داده‌های پژوهش و پیش پردازش آن‌ها

در این پژوهش به منظور شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی از تصویر روز سنجنده OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ (کالکشن دو، سطح یک) که تصحیحات هندسی روی آن‌ها توسط خود سازمان USGS صورت می‌پذیرد، استفاده شده است. این تصاویر از سایت مربوط به سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (<https://earthexplorer.usgs.gov>) دریافت شد. جدول ۱

مشخصات تصویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. بدین منظور قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین نظیر رادیانس انعکاسی-حرارتی سطح، آلبدو سطح، گسیلمندی سطح، دما و نظایر آن می‌بایست تصحیح رادیومتریکی که از الزامات اولیه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد بر روی تصویر انجام گیرد. برای رسیدن به این هدف بایستی اثر اتمسفر، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی و ویژگی‌های سطح روی تصاویر در نظر گرفته شده و تأثیر این عوامل در تخمین پارامترهای سطح حذف یا به حداقل برسد. در این پژوهش، برای انجام تصحیح اتمسفری و توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی داده‌های SRTM استفاده گردید و مشتقات آن نظیر شیب، جهت شیب، برجستگی‌های سایه‌ای و نمای آسمان با استفاده از افزونه ATCOR2/3^۱ پیاده‌سازی شده در نرم‌افزار ERDAS که از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابشی MODTRAN-5^۲ استفاده می‌کند استخراج گردید. در شکل ۴ (A,B,C,D,E) مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن نشان داده شده است.

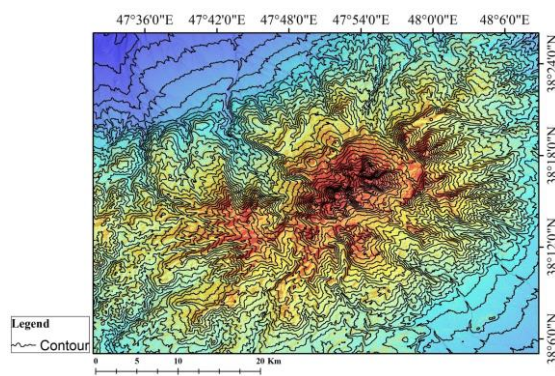


شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 2- Geographical location of the study area.

توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

کوهستان سبلان که بلندترین قله آن ۴۸۱۱ متر ارتفاع دارد به شهرستان مشگین شهر مشرف است. این کوهستان که از بلندترین کوه‌های ایران به شمار می‌رود، آتشفشانی خاموش است که بیشتر پوشیده از برف و یخ است و چشمه‌های آب گرم و سرد فراوانی دارد. مرتفع‌ترین و پرشیب‌ترین قسمت این کوهستان دامنه‌های شمالی و شمال غربی توده آتشفشانی سبلان است که به طور متوسط ۲۰۰۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کوهستان سبلان صاحب سه قله است که قله بلندتر آن یک دریاچه بزرگ و بسیار زیبا به نام دریاچه سبلان دارد (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۷). شکل ۳ نقشه توپوگرافی منطقه کوهستانی سبلان اردبیل را نشان می‌دهد.

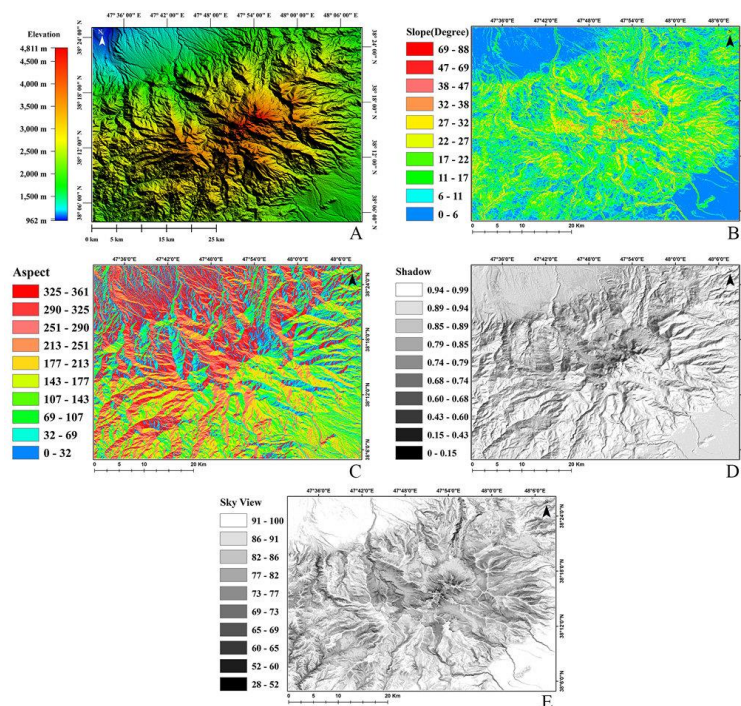


شکل ۳ - نقشه توپوگرافی منطقه کوهستانی سبلان اردبیل.

Figure 3- Topographical map of the mountainous region of Sablan, Ardabil.

² Moderate Resolution Atmospheric Transmission

¹ Atmospheric/Topographic Correction



شکل ۴- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه و مشتقات آن، (A) مدل رقومی ارتفاعی، (B) نقشه شیب، (C) نقشه جهت شیب، (D) نقشه سایه، (E) نقشه نمای آسمان.

Figure 4- Digital elevation model of the studied area and its derivatives, A) aspect map, B) slope Map, C) digital elevation model, D) shadow map, E) sky view map.

می‌کند (Richter and Schlöpfer, 2013). نوع مدل اتمسفری و آئروسول^۵ نیز با استفاده از عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تاریخ اخذ تصاویر تعیین شد و به افزونه ATCOR Atmospheric Correction Module: Quac معرفی گردید (And Flaash User's Guide, 2009). همچنین، جهت انجام تصحیح توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاعی منطقه به همراه مشتقات حاصل از آن به افزونه ATCOR معرفی گردید و نهایتاً تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت، با تأکید بر این نکته که اندازه پیکسل مدل رقومی ارتفاعی و تصویر منطقه مورد مطالعه باید هم اندازه باشند. در شکل ۵ (A, B) تصاویر مربوط به منطقه مورد مطالعه، قبل و بعد از اعمال این تصحیحات، نشان داده شده است. با تصحیح توپوگرافی و اتمسفری تصاویر منطقه مورد مطالعه، انعکاس در سطح زمین به دست آمد و تمامی محاسبات لازم بر اساس آن صورت گرفت.

همچنین از نرم‌افزار ENVI 5.6 به عنوان نرم‌افزار اصلی پردازش تصاویر و از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 برای تهیه نقشه خروجی استفاده شده است. ATCOR2 اشاره به تصحیح اتمسفری برای زمین‌های مسطح دارد و ATCOR3 بیانگر تصحیح اتمسفری توأم با تصحیح توپوگرافی است که با پذیرش مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن این کار را انجام می‌دهد. پایگاه داده MODTRAN شامل طیف گسترده‌ای از مدل‌های انتقال تابشی از قبل محاسبه شده برای شرایط مختلف آب و هوایی، زوایای مختلف خورشید و سنجنده می‌باشد. در افزونه تصحیح اتمسفری و توپوگرافی (ATCOR) اطلاعات مربوط به تصویر و سنجنده (نظیر تاریخ و زمان اخذ داده، طول و عرض جغرافیایی، زاویه زنیت^۱ خورشید، زاویه سمت^۲ خورشید، نوع سنسور و غیره) از متافایل^۳ هر تصویر استخراج می‌گردد. علاوه بر آن، از الگوریتم پوشش گیاهی متراکم تیره^۴ جهت برآورد ضخامت اپتیکی اتمسفری یا پارامتر قابلیت دید استفاده

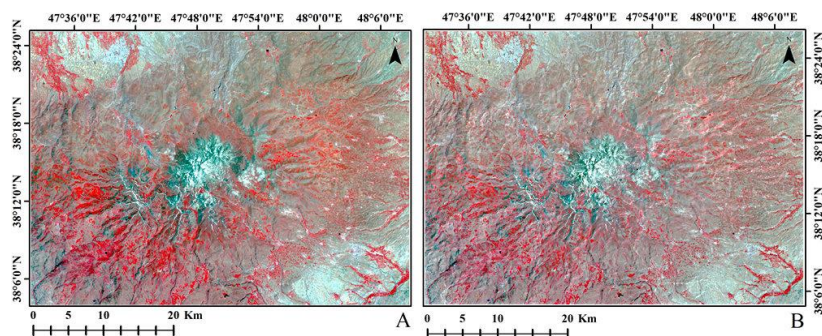
⁴ Dense Dark Vegetation (DDV)

⁵ Aerosol

¹ Zenith Angle

² Azimuth Angle

³ Metafile Of Image



شکل ۵- تصحیح توپوگرافی و اتمسفری تصاویر، (A) تصویر اولیه، (B) تصویر تصحیح شده.

Figure 5- Topographic and atmospheric correction, A) initial image, B) corrected image.

همچنین در فرآیند محاسبه دمای سطح زمین و اعتبارسنجی آن از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک مشگین‌شهر، اخذ شده از اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی استان اردبیل استفاده شده است (جدول ۲، جدول ۳)، به گونه‌ای که آمار

جدول ۱- ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش.

Table 1- Features of the satellite image used in this research.

Sensor_Id	Date Acquired		Scene_Center_Time(UTC)	Band	Spetial Resolution(m)
	Persian	Gregorian			
OLI	1404/04/02	2021/06/23	07:25:43	1-7	30
TIRS	1404/04/02	2021/06/23		10-11	100

جدول ۲- آمار دمای هوا در ایستگاه مشگین شهر.

Table 2- Statistics of air temperature in Meshginshahr station.

Station	Measurement Date	Measurement Time(UTC)	Air Tmperature(C°)	Humidity(%)
Meshkin Shahr	1400/04/02	07	25.3	21
		08	24.6	

جدول ۳ - دمای برداشت شده عمق خاک.

Table 3- Soil temperature at different depths.

Time (UTC)	Measurement Date	Depth Of Measurement(C°)					
		5 cm	10 cm	20 cm	30 cm	50 cm	100 cm
03:00	1400/04/02	23.1	26.7	25.9	25.7	25.6	20.6
09:00		25.7	26.1	24.3	24.2	24.2	21.4
15:00		28.6	28.2	26.2	25.7	25.7	21.7

پایه فرضیات و تقریب‌های متنوعی از معادله تشعشعی استوار است (جوباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴). یکی از پارامترهای بسیار مهم که اندازه‌گیری دقیق آن تأثیر زیادی روی نتایج روش‌های تخمین دمای سطح زمین دارد، محاسبه گسیلمندی است (علوی پناه، ۱۳۹۵). در ادامه فرایند محاسبه دمای سطح زمین نیاز به محاسبه گسیلمندی سطح زمین^۱ می‌باشد که به صورت نسبت انرژی گرمایی تابش شده به وسیله سطح به

فرآیند محاسبه دمای سطح زمین

تهیه نقشه دمای سطح زمین، نکته‌ای کلیدی در دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌گرمایی می‌باشد (احمدی زاده و همکاران، ۱۳۹۳). در چند دهه اخیر تخمین دمای سطح زمین از طریق داده‌های ماهواره‌ای پیشرفت چشمگیری داشته و الگوریتم‌های مختلف و متنوعی برای تخمین دما با سنجنده های مختلف ارائه گردیده است که اساس این الگوریتم‌ها بر

¹ Land Surface Emissivity(LSE)

روش دوم مورد استفاده در این پژوهش جهت تخمین گسیلمندی، برآورد توان تشعشعی براساس شاخص کسر پوشش گیاهی^۲ می‌باشد که در بسیاری از کاربردهای محیط زیستی و تغییرات آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Johnson and Kobayashi, 2012). از این شاخص به‌منظور 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 FVC شامل ترکیبی غیرخطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجش‌ازدور، 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 (زینالی و همکاران، ۱۴۰۰). شاخص کسر پوشش گیاهی براساس رابطه (۲) تعیین شد (Johnson and Kobayashi, 2012).

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

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 (LSE) که یکی از معیارهای مهم در محاسبه دمای سطح زمین می‌باشد (جهانبخش و رجبی، ۱۳۸۹)، به صورت جداگانه برای هر دو باند حرارتی سنجنده TIRS با استفاده از مقادیر ارائه شده گسیلمندی خاک (ϵ_s) و پوشش گیاهی (ϵ_v) طبق جدول ۵ تعیین و براساس رابطه (۳) به‌دست آمد (Rongali et al., 2018).

جدول ۵- مقادیر گسیلمندی خاک و پوشش گیاهی برای باند

۱۰ و ۱۱.

Table 5- Emissivity values of soil and vegetation for bands 10 and 11.

Emissivity	Band 10	Band 11
ϵ_s	0.971	0.977
ϵ_v	0.987	0.989

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

انرژی گرمایی تابش شده به‌وسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود (جهانبخش و رجبی، ۱۳۸۹). 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) می‌باشد. برای تخمین دمای سطح، نیاز به ضریب گسیل اولیه عوارض سطح (بسته به روش تخمین گسیلمندی) و میزان گسیلمندی سطح زمین می‌باشد. در این پژوهش جهت محاسبه گسیلمندی سطح از دو روش معتبر استفاده شده است که یکی از روش‌ها تعیین گسیلمندی براساس شاخص تفاصلی پوشش گیاهی نرمال شده^۱ است. این شاخص می‌تواند به عنوان شاخص پایه جهت تعیین سایر پارامترهای پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گیرد (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای را در نقل‌وانتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و اثرات متفاوتی را بر دما ایجاد می‌کند، در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان یک شاخص تأثیرگذار در محاسبه دمای سطح زمین به شمار آورد (Sobrinho et al., 2001).

شاخص NDVI فرآیند محاسباتی ساده دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک می‌باشد (Kogan, 1993). برای محاسبه گسیلمندی براساس شاخص NDVI 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 می‌باشد. 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 NDVI براساس مقدار آن، توان تشعشعی طبق جدول ۴ تعیین می‌شود (Zhang et al., 2006).

جدول ۴- مقادیر گسیلمندی براساس ارزش NDVI.

Table 4- Emissivity values based on Ndi value.

NDVI	LSE
$NDVI < -0.185$	0.995
$-0.185 \leq NDVI < 0.157$	0.985
$0.157 \leq NDVI \leq 0.727$	$1.009 + 0.047 \times \ln(NDVI)$
$NDVI > 0.727$	0.990

² Fractional Vegetation Cover (FVC)

¹ Normalized Difference Vegetation Index (Ndi)

جدول ۶ - ضرایب ثابت باندهای حرارتی لندست ۸.

Table 6- Thermal constant For Landsat 8 Bands.

Constant	Band 10	Band 11
K1	774.8853	480.8883
K2	1321.0789	1201.1442

$$\psi_1 = \frac{1}{\tau}, \psi_2 = L^{\uparrow} - \frac{L^{\downarrow}}{\tau}, \psi_3 = L^{\downarrow} \quad (6)$$

در رابطه (۶)، τ ضریب عبور اتمسفری برحسب درصد و $L^{\uparrow}$ و $L^{\downarrow}$ به ترتیب تابش اتمسفری رو به بالا و رو به پایین که هر دو در واحد (W/m^2) می باشند. در این پژوهش، توابع اتمسفری مستقیماً از وبسایت محاسبه پارامترهای تصحیح اتمسفری^۳ که توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا^۴، ناسا، برای سنجنده های حرارتی لندست توسعه داده شده است، محاسبه گردید که در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷- پارامترهای تصحیح اتمسفری منطقه مورد مطالعه.

Table 7- Atmospheric correction parameters of the

studied area.

Image	τ	$L^{\uparrow}$	$L^{\downarrow}$	Humidity(%)
167-033	0.95	0.32	0.57	0.21

حال با استفاده از دو الگوریتم مشهور تک باندی، دمای سطح در تصویر لندست ۸ بازیابی و محاسبه گردید.

الگوریتم پنجره مجزا (Split Window)

یکی از الگوریتم های چند باندی است که دمای سطح زمین را با دقت بالایی محاسبه می کند (ابراهیمی هروی و همکاران، ۱۳۹۵). این الگوریتم ابتدا در پژوهش (McMillin, 1975) برای محاسبه دمای سطح اقیانوس ها با به کارگیری جذب اتمسفری مختلف در دو باند TIR پیشنهاد شد که نیاز به هیچ گونه اطلاعات پروفایل اتمسفری در زمان گذر ماهواره نداشت. اواخر دهه ۱۹۸۰ این الگوریتم ها برای محاسبه LST هم استفاده شدند. یکی از مهم ترین الگوریتم های SW که براساس ساختار ریاضی پیشنهاد شده در پژوهش (Sobrino et al. 1997) بوده و در پژوهش (Jiménez and Sobrino, 2008) بر روی سنجنده های مختلف اعمال شده و در پژوهش های متعدد دیگری نیز استفاده شده است. در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت که به این منظور از رابطه (۷) که دارای معیارهای مختلفی است، استفاده شد.

$$LST = TB10 + C1(TB10 - TB11) + C2(TB10 - TB11)^2 + C0 + (C3 + C4W) + (1 - m) + (C5 + C6W) \Delta m \quad (7)$$

Es گسیلمندی خاک، ε_v گسیلمندی پوشش گیاهی، FVC شاخص کسر پوشش گیاهی. در نهایت گسیلمندی سطح زمین با استفاده از رابطه (۳) برای باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ محاسبه گردید.

روش های برآورد دمای سطح زمین

در این پژوهش برای تخمین دمای سطح زمین از دو روش الگوریتم های تک باندی^۱ و پنجره مجزا^۲ بر روی باند ۱۰ و ۱۱ ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ نسبت به باند ۱۱ به محدوده نهایت تابش زمین ($9/66$ میکرومتر) نزدیک تر و مقدار نویز آن کمتر است (فکرت و همکاران، ۱۳۹۸)، به همین دلیل در الگوریتم تک باندی از باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ جهت تخمین دمای سطح زمین استفاده شده است. با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم های تک باندی و پنجره مجزا قابل محاسبه و بازیابی می باشد.

الگوریتم SCJ MandS

روش تک کانال جز پرکاربردترین روش های تخمین دمای سطح زمین است که برای سنجنده هایی که دارای یک باند حرارتی هستند مناسب است. این روش برای اجرا نیاز به اطلاعات دقیق پروفیل اتمسفری از منطقه مورد مطالعه دارد. و از رابطه (۴) حاصل می شود (Jiménez and Sobrino, 2008).

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\varepsilon} (\psi_1 L_{Sen} + \psi_2) + \psi_3 \right] + T_{Sen} - \gamma L_{Sen} \quad (4)$$

در این رابطه، T_s دمای سطح زمین برحسب (K)، ε گسیلمندی سطح که بدون واحد می باشد، γ پارامتر وابسته به تابع پلانک که از رابطه (۵) قابل محاسبه است ψ_1, ψ_2, ψ_3 به توابع اتمسفری معروف اند که از رابطه ۶ قابل محاسبه هستند و L_{Sen} تابش طیفی دریافتی سنجنده در واحد ($W/m^2/sr/\mu m$) است.

$$\gamma = \left\{ \frac{K_2 L_{Sen}}{T_{Sen}^2} \left[\frac{\lambda_c^4}{k_1} + \lambda_c^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

در رابطه (۵)، K_1 و K_2 ضرایب ثابت باندهای حرارتی (جدول ۶) به ترتیب در واحدهای ($W/m^2/\mu m$) و (K) می باشند. T_{Sen} دمای ظاهری رسیده به سنجنده برحسب (K) و λ_c طول موج مؤثر باند حرارتی برحسب (μm) می باشد.

³ Atmospheric Correction Parameter Calculator

⁴ National Aeronautics And Space Administration

¹ Single Channel Algorithm

² Split Windows Algorithm

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 جذب شده در هر پیکسل از تصویر LST جهت آشکارسازی آنومالی حرارتی سطح زمین از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین که به الگوریتم سبال معروف است، استفاده شد (رابطه (۱۰)).

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

الگوریتم سبال یکی از مدل‌های کاربردی می‌باشد که از ۲۵ زیر مدل مختلف تشکیل شده است و قادر است متغیرها و فلوهای انرژی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند (Bastiaanssen et al., 1998). رابطه (۱۰) شکل عمومی این الگوریتم را نشان می‌دهد.

$$R_n = H + G + \lambda ET \quad (10)$$

در رابطه فوق R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین برحسب (W/m^2) ، H جریان گرمای محسوس میان سطح زمین و لایه پایین اتمسفر برحسب (W/m^2) ، λET مقدار جریان گرمای نهان ما بین سطح و اتمسفر به علت عمل تبخیر برحسب (W/m^2) و G بیانگر جریان گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک یا به عبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین برحسب (W/m^2) است. برای مناطق با ویژگی‌های آب و هوایی مشابه می‌توان $H, \lambda ET$ را بدون تغییر در نظر گرفت. بنابراین پارامتر مؤثر در تعیین دمای سطح و ناهنجاری‌های دمایی می‌باشد. پدیده‌های داخل زمین به صورت رسانای حرارتی عمل می‌کنند و انرژی هسته مرکزی را به لایه‌های نزدیک سطح زمین انتقال می‌دهند. که می‌توان از رابطه (۱۱) برای توصیف آن استفاده نمود.

$$\nabla(K \nabla T) = -A \quad (11)$$

در رابطه ۱۱ T دما برحسب (K) و K ضریب رسانش حرارتی داخل زمین برحسب $(W/(m.k))$ و A مقدار گرمای انتقال یافته برحسب (W) می‌باشد. ضریب رسانش حرارتی داخل زمین وابسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مواد و سنگ‌های تشکیل دهنده آن است. به عنوان مثال ضریب تخلخل سنگ‌ها

در این رابطه LST بیانگر دمای سطح زمین برحسب (K) می‌باشد. در حالیکه C_0 تا C_6 بیانگر ضریب‌های ثابت الگوریتم پنجره مجزا هستند که با شبیه‌سازی اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح به دست آمدند (García-Haro et al., 2005). همچنین TB10 و TB11 بیانگر دمای روشنایی باند ۱۰ و ۱۱ برحسب (K) ، ϵ بیانگر گسیلمندی سطحی باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱، W بیانگر ظرفیت بخار آب اتمسفری، m میانگین و Δm اختلاف در گسیلمندی سطحی باندهای ۱۰ و ۱۱ است.

اعتبارسنجی دمای سطح زمین

ارزیابی دقت و اعتبارسنجی دمای حاصل از داده‌های ماهواره‌ای اغلب چالش برانگیز بوده و در دهه‌های اخیر چندین الگوریتم برای ارزیابی دمای سطح از داده‌های حرارتی گسترش داده شده است، با این حال اعتبارسنجی دمای حاصل از این داده‌ها بدلیل برخی مشکلات چندان توسعه نیافته است؛ اما لازمه به کارگیری هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۷). بنابراین در پژوهش حاضر با توجه به در دسترس بودن دمای هوای ساعتی ایستگاه سینوپتیک مشگین شهر در هنگام عبور ماهواره، همچنین دمای برداشت شده برای عمق مختلف خاک در روز اخذ تصویر ماهواره‌ای (جدول ۳)، از این داده‌ها جهت اعتبارسنجی دمای حاصل استفاده شده است.

برای این منظور، دمای سطح به دست آمده به روش الگوریتم تک باندی از طریق رابطه ۸ و دمای سطح حاصل از الگوریتم پنجره مجزا با کمک رابطه ۹ که توسط رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶) ارائه شده، به دمای هوا تبدیل و سپس با دمای هوای ایستگاه سینوپتیک مشگین شهر مقایسه شدند.

$$T_{air} = 0.7676 \times LST - 4.9815 \quad (8)$$

$$T_{air} = 0.8862 \times LST - 7.5865 \quad (9)$$

آشکارسازی آنومالی حرارتی سطح زمین

برای آشکارسازی آنومالی‌های حرارتی، ابتدا تصویر دمای سطح زمین به عنوان دمای مشاهداتی در لحظه تصویربرداری با استفاده از دو الگوریتم محاسبه دما تولید، سپس اعتبارسنجی گردید. بدیهی است دمای مشاهداتی حاصل، ترکیبی از تشعشعات خورشیدی دریافتی، مقدار تابش خورشیدی جذب شده و گرمای داخلی زمین می‌باشد و در مناطقی که دمای داخلی سطح زمین بیشتر است، باعث

که ε_a گسیلمندی هوا، T_a دمای هوای نزدیک سطح زمین ۲ متر بالاتر از سطح زمین) برحسب (K) و σ ثابت استفان-بولتزمن است. گسیلمندی هوا از روی دمای متوسط هوا با رابطه ۱۷ محاسبه می‌شود (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$\varepsilon_a = 1 - 0.261 \exp\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\} \quad (17)$$

با محاسبه کمیت‌های R_{solar} (تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح)، R_{atm} (تابش ساطع شده از جو نسبت به سطح) و $R_{surface}$ (تابش ساطع شده از سطح به جو زمین)، مقادیر R_n (تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین) و G (توصیفگر جریان گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک یا به عبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین که در رابطه ۱۸ قابل محاسبه است) به دست می‌آید (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$G = 0.4 R_n \left(\frac{SAVI_m - SAVI}{SAVI_m} \right) \quad (18)$$

که در آن $SAVI$ شاخص پوشش گیاهی و $SAVI_m$ نشان دهنده حداکثر مقدار پوشش گیاهی متراکم می‌باشد. این شاخص گیاهی از رابطه ۱۹ قابل محاسبه است.

$$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{650}) \times 1.5}{(\rho_{850} + \rho_{650} + 0.5)} \quad (19)$$

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 (R_n)، انرژی خالص هدایت شده به زمین (G) و مقدار تابش خورشیدی جذب شده توسط سطح (R_{solar}) محاسبه گردید.

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 بعنوان یک مدل حرارتی تعریف گردید (رابطه ۲۰). 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 شیب، جهت شیب و غیره در آن دیده شده است و از طرف دیگر با محاسبه المان‌های الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، نظیر مقدار

و جریان همرفت مواد مایع داخل زمین در تعیین ضریب رسانش حرارتی تأثیرگذار هستند (X.Ou et al., 2004). بنابراین به‌طور 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 می‌باشد. همچنین، الگوریتم سبال قادر است فلوهای انرژی‌های گرمایی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند. به عبارتی، رابطه عمومی (۱۰) به‌عنوان مجموع سه جزء تابش دیگر به صورت رابطه (۱۲) بیان شد (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$R_n = R_{solar} + R_{atm} - R_{surface} \quad (12)$$

که در آن R_{solar} تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح در طول موج کوتاه ($0.3 - 3 \mu m$)، R_{atm} تابش طول موج بلند ($3 - 14 \mu m$) ساطع شده از جو نسبت به سطح و $R_{surface}$ تابش ساطع شده از سطح به جو زمین است. در ادامه جزییات بیشتری از نحوه محاسبه رابطه (۱۲) به همراه پارامترهای آن بیان شده است.

تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح زمین به صورت رابطه ۱۳ محاسبه گردید (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$R_{solar} = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} \{1 - \rho(\lambda)\} E_g(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

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 (W/m^2)، که از روی آلبدو سطح به صورت رابطه ۱۴ قابل محاسبه است (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$E_g = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} E_g(\lambda) d\lambda \quad (14)$$

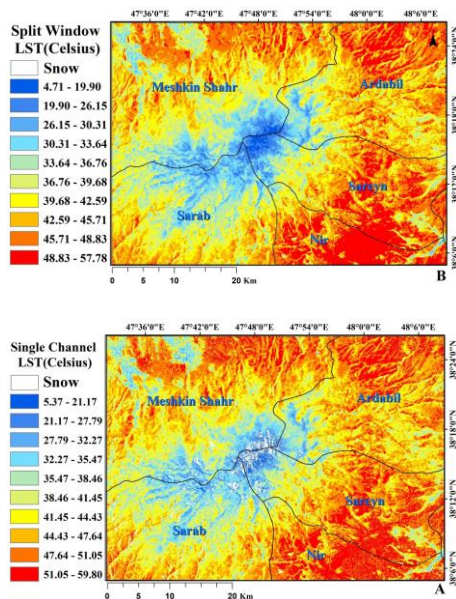
همچنین تابش ساطع شده از سطح به جو زمین با رابطه ۱۵ محاسبه می‌گردد (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$R_{surface} = \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (15)$$

که ε_s گسیلمندی سطح، σ ثابت استفان-بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 / K$) و T_s دمای سطح برحسب (K) است. تابش جوی (R_{atm}) ساطع شده از جو به سمت زمین به صورت رابطه ۱۶ نوشته شد (Richter and Schlöpfer, 2014).

$$R_{atm} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (16)$$

کم و ارتفاعات پایین دارای دمای زیاد می‌باشند. همچنین با توجه به نتیجه حاصل از الگوریتم پنجره مجزا مقادیر دما در منطقه مورد مطالعه بین ۴/۷۱ تا ۵۷/۷۸ درجه سانتی گراد می‌باشد. مناطق با پوشش گیاهی و ارتفاع بالا دارای حداقل مقادیر دما و بیشترین مقادیر دمایی مربوط به نواحی عاری از پوشش گیاهی و ارتفاع کم است. اصلی‌ترین عامل این اختلاف حرارتی، مورفولوژی و ویژگی‌های متفاوت منطقه است (پرهیزکار و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۶- نقشه دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه.

(A) روش الگوریتم تک باندی، (B) روش الگوریتم پنجره مجزا.

Figure 6- Earth surface temperature maps in the study area, A) single channel algorithm, B) split window algorithm.

در این پژوهش جهت ارزیابی دقت الگوریتم‌های استفاده شده، ابتدا دمای سطح به‌دست آمده به روش‌های تک باندی و پنجره مجزا با استفاده از رابطه (۸) و رابطه (۹) به دمای هوا تبدیل، سپس با دمای هوای مربوط به زمان اخذ تصویر ماهواره‌ای (۰۷:۲۵) ایستگاه سینوپتیک مشگین شهر و دمای برداشت شده برای عمق ۵ سانتی متری خاک مقایسه شدند. جدول ۸ و جدول ۹ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهند.

همچنین بررسی بصری نقشه دمای سطح هر دو الگوریتم مورد نظر با نقشه دمای هوای محاسبه شده آن‌ها در شکل ۹ **Error!** **Reference source not found.** قابل مشاهده می‌باشد. بطوری که مناطق دارای پوشش گیاهی، ارتفاعات بالا و مناطق

تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (R_n)، انرژی خالص هدایت شده به زمین (G) و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar}) مدل حرارتی حاصل در اثر این عوامل تعدیل گردید. روند کار به این صورت بوده است که در ترکیب این لایه‌ها، فصل مشترک بین حداکثر مقدار دمای مشاهداتی سطح (در این پژوهش دمای بالای ۴۰ درجه سانتی گراد) 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 زمین‌گرمایی می‌باشد، سعی بر این شد که اثر فلوهای گرمایی و جذبی ناشی از نور خورشید در تعیین این مناطق در رابطه (۲۰) حداقل مقدار بوده تا آنومالی حرارتی سطحی تنها ناشی از فعل و انفعالات گرمای درون زمین باشد.

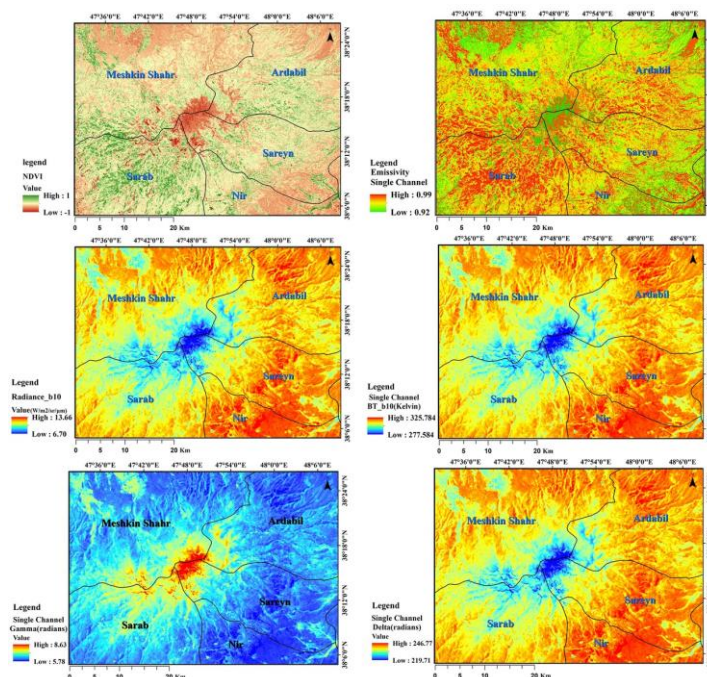
$$(20) \quad (LST > 40^{\circ}C) \text{ and } (RN < \text{Mean}) \text{ and } (G < \text{Mean}) \text{ and } (R_{solar} < \text{Mean})$$

نتایج و بحث

بررسی دمای سطح منطقه

هدف این پژوهش شناسایی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی سطحی با ترکیب دمای مشاهداتی سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال در منطقه مورد مطالعه بود. برای این منظور از الگوریتم‌های تک باندی جیمز - سوپرینو و پنجره مجزا استفاده شد تا نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین استخراج و در شناسایی مناطق مستعد منابع زمین‌گرمایی به کار گرفته شود. برای بازیابی دمای سطح زمین با توجه به الگوریتم‌های مورد استفاده از معیارهای مختلفی استفاده شد و نقشه هرکدام از این معیارها با توجه به روابط ریاضی مربوطه تهیه گردید (شکل ۷، شکل ۸). سپس با استفاده از پارامترهای مربوط به هرکدام از الگوریتم‌های مورد استفاده نقشه دمای سطح زمین بر روی تصویر لندست ۸ در منطقه مورد مطالعه استخراج گردید. **Error! Reference source not found.** نقشه نهایی حاصل از الگوریتم‌های تک باندی و پنجره مجزا را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نقشه نهایی حاصل از الگوریتم تک باندی حداقل و حداکثر دما را در منطقه مورد مطالعه بین ۵/۳۷ تا ۵۹/۸۰ درجه سانتی گراد نشان می‌دهد. بررسی بصری نقشه نهایی استخراج شده به روش تک باندی بیانگر این است که ارتفاعات بالا دارای دمای

پوشیده از آب دارای حداقل دما و مناطق عاری از پوشش گیاهی و ارتفاعات کم دارای حداکثر دما می‌باشد.



شکل ۷ - نقشه‌های نهایی معیارهای مورد نظر جهت محاسبه دمای سطح زمین در الگوریتم تک کاناله.

Figure 7 - The final maps of the desired criteria for calculating the surface temperature of the earth in the single-channel algorithm.

جدول ۸ - مقایسه دمای هوای محاسبه شده از تصویر به روش تک باندی با دمای هوای ایستگاه سینوپتیک و دمای عمق خاک.

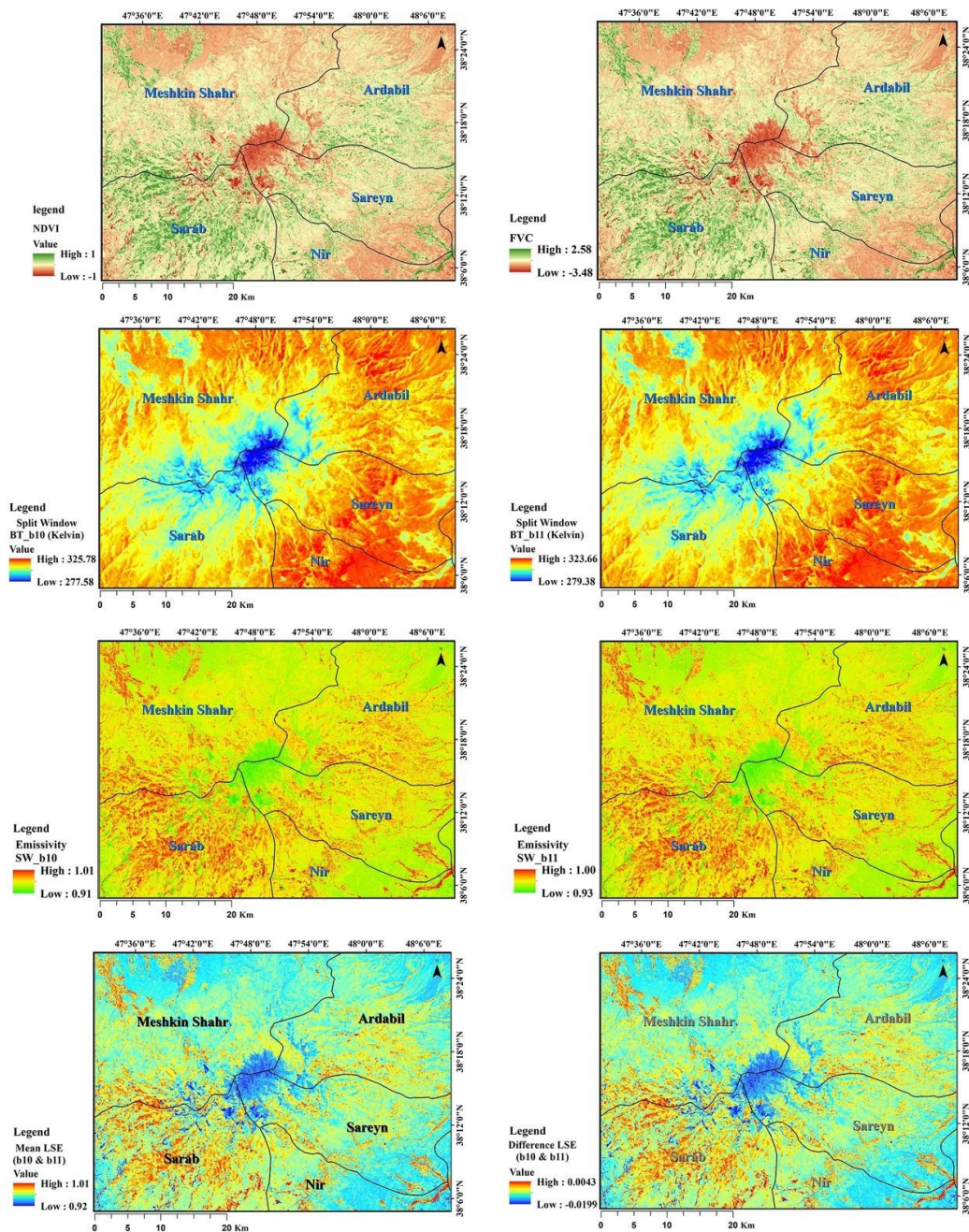
Table 8- Comparison of the air temperature calculated from the image using the single-channel method with the air temperature of the synoptic station and the soil depth temperature.

Title		Mean(C°)	Diference(C°)
Single Channel LST		44.04	15.21
Eq.8(Air Temperature by Single Channel LST)		28.83	
Meshkin Shahr Synoptic Station Air Temperature		25.3	3.53
Soil Temperature at 5 cm Depth	03:00 UTC	23.1	5.73
	09:00 UTC	25.7	3.13
	15:00 UTC	28.6	0.23

جدول ۹ - مقایسه دمای هوای محاسبه شده از تصویر به روش پنجره مجزا با دمای هوای ایستگاه سینوپتیک و دمای عمق خاک.

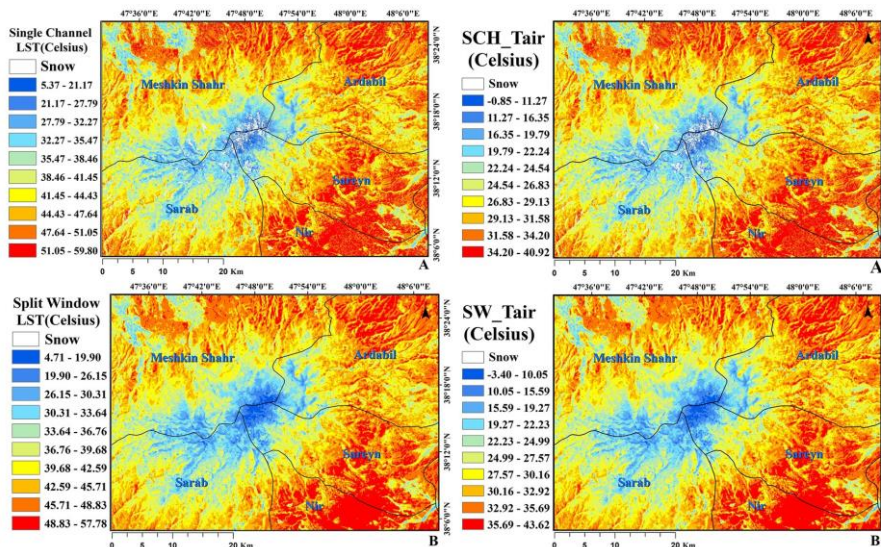
Table 9- Comparison of the air temperature calculated from the image using the Split window method with the synoptic station air temperature and soil depth temperature.

Title		Mean(C°)	Diference(C°)
Split Window LST		41.61	12.32
Air Temperature by Single Channel LST(Eq.9)		29.29	
Meshkin Shahr Synoptic Station Air Temperature		25.3	3.99
Soil Temperature at 5 cm Depth	03:00 UTC	23.1	6.19
	09:00 UTC	25.7	3.59
	15:00 UTC	28.6	0.69



شکل ۸ - نقشه‌های نهایی معیارهای مورد نظر جهت محاسبه دمای سطح زمین در الگوریتم پنجره مجزا.

Figure 8- The final maps of the desired criteria for calculating the surface temperature in the Split Window algorithm



شکل ۹ - A) نقشه دمای مشاهداتی و دمای هوای محاسبه شده از تصویر الگوریتم تک بانندی، B) نقشه دمای مشاهداتی و دمای هوای محاسبه شده از تصویر الگوریتم پنجره مجزا، به روش رحیمیان و همکاران (۱۳۹۶).

Figure 9- A) The surface temperature map and air temperature calculated from the single channel algorithm image, B) The surface temperature map and air temperature calculated from the image of the split window algorithm (Rahimian et al., 2017).

جذب شده توسط سطح زمین (R_{solar}) نشان داد سطوح مختلف تابش خورشید را با سرعت‌های 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 آلبدوی 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 آلبدوی بالایی هستند، می‌باشد. در شکل ۱۰ آلبدوی محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

همانطور که قبلاً ذکر شد شار گرمایی خاک (G) 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 (Melesse and Nangia, 2005). پدیده‌های داخل زمین به صورت رسانای حرارتی عمل می‌کند و انرژی هسته مرکزی را به لایه‌های نزدیک سطح زمین انتقال می‌دهند بنابراین شار

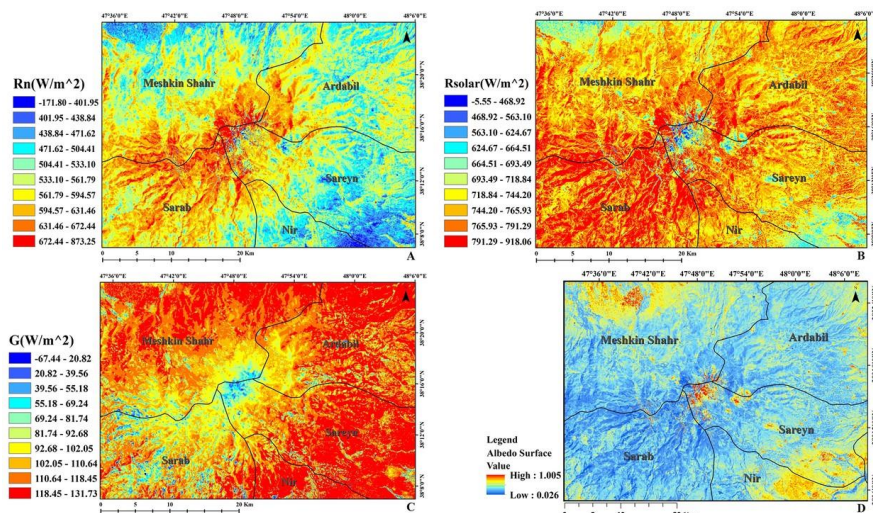
آشکارسازی آنومالی حرارتی

جهت شناسایی آنومالی حرارتی ناشی از منابع زمین‌گرمایی بر روی نقشه دمای مشاهداتی حاصل از الگوریتم تک بانندی و پنجره مجزا از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (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 به دست آمد. شکل ۱۰ فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بررسی شار تابش خالص (R_N) 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 می‌باشد. دمای سطح نیز یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در جریان تابش خالص می‌باشد. 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

گرمای خاک پارامتر مؤثر در تعیین دمای سطح و ناهنجاری‌های دمایی می‌باشد.

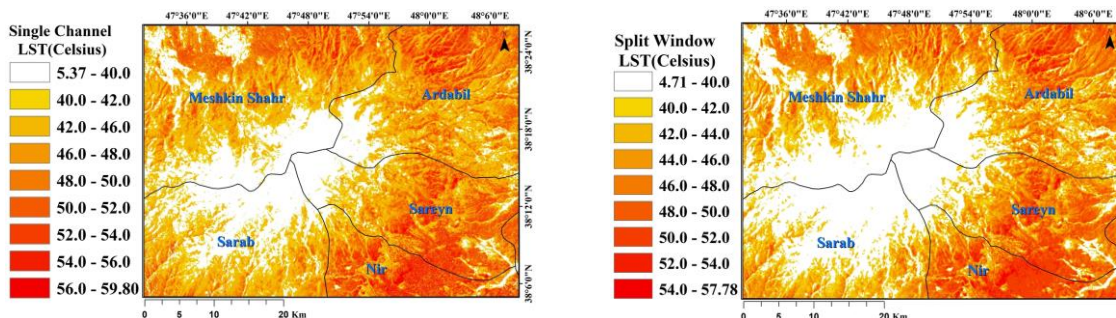


شکل ۱۰- فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال، (A) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، (B) مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح، (C) انرژی خالص هدایت شده به زمین، (D) نقشه آلبدو محاسبه شده برای منطقه مورد مطالعه.
Figure 10- Heat flows resulting from sebal algorithm, A) Net radiation (Rn), B) Absorbed solar radiation flux (Rsolar), C) Ground heat Flux (G), D) Calculated surface Albedo map for the study area.

شدند (شکل ۱۲). ولی این حرارت سطح زمین زمانی متعلق به حرارت زمین گرمایی خواهد بود که تأثیر عوامل دیگر دخیل در این حرارت نظیر تشعشعات خورشیدی، مقدار انرژی خورشیدی جذب شده و اثرات توپوگرافی سطح که باعث تفاوت نور خورشید در قسمت‌های مختلف سطح زمین می‌گردد، از روی آن برداشته شود. برای این منظور در مرحله دوم، با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (R_n)، انرژی خالص هدایت شده به زمین (G) و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar}) محاسبه گردید.

شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی

روش پیشنهادی در این پژوهش، در دو مرحله کلی صورت گرفته است. در مرحله اول، برای محاسبه آنومالی حرارتی، ابتدا از باند حرارتی لندست ۸ استفاده شده و تصویر دمای سطح با توجه به روابط ارائه شده، با استفاده از دو الگوریتم محاسبه دما تولید گردید. از لحاظ تئوری، مناطقی که دمای بالاتر و حداکثری داشتند (در این پژوهش دمای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد. امامی و جعفری، ۱۳۹۷)، و توسط هر دو الگوریتم مذکور شناسایی شدند به عنوان مناطقی که احتمال شناسایی منابع زمین گرمایی در آن نواحی وجود دارد در نظر گرفته

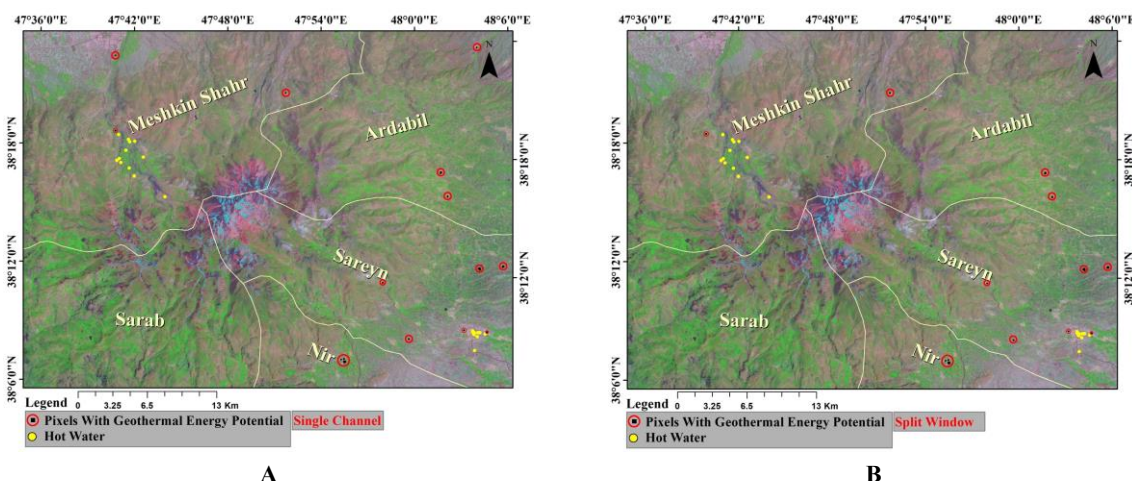


شکل ۱۱- نقشه دمای بالای ۴۰ درجه سانتی گراد در منطقه مورد مطالعه، (A) روش الگوریتم تک باندی، (B) روش الگوریتم پنجره مجزا.

Figure 11- Temperature map above 40°C in the study area, A)single channel algorithm, B)split window algorithm.

حداکثری آن پیکسل ناشی از تشعشعات خورشیدی و مقدار حرارت جذب شده از خورشید تلقی می‌گردد نه حرارت ناشی از زمین‌گرایی و برعکس، اگر پیکسلی دمای مشاهداتی حداکثری داشته باشد ولی المان‌های مؤثر الگوریتم سبال مقادیر حداقلی در آن پیکسل داشتند، آن پیکسل به‌عنوان پیکسل مستعد انرژی زمین‌گرایی شناسایی می‌شود. به این ترتیب مناطق دارای آنومالی حرارتی ناشی از فعل‌وانفعال‌های درون زمین تعیین گردید و با شناسایی همه پیکسل‌های مستعد زمین‌گرایی، نقشه آنومالی حرارتی منطقه مورد مطالعه تولید گردید (شکل ۱۲).

سپس، با ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی با نقشه‌های حرارتی سطح، نقشه حرارتی تعدیل شده به‌عنوان 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 توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، 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 سبال هم مقادیر حداکثری در آن پیکسل داشته باشند، یعنی دمای



شکل ۱۲- نقشه آنومالی حرارتی و مناطق مستعد انرژی زمین‌گرایی، (A) ترکیب روش SCJMandS با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال، (B) ترکیب روش Split Window با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال.

Figure 12- Thermal anomaly map and geothermal energy prone areas, A)Combination of SCJMandS method with thermal flows of Sabal algorithm, B)Combination of Split Window method with thermal flows of Sabal algorithm.

زمین‌گرایی با استفاده از سنجش از دور حرارتی در منطقه سبلان اردبیل که از سطح مناسب و مستعدی برای تولید انرژی زمین‌گرایی به عنوان یکی از منابع عمده انرژی‌های نو و سازگار با محیط زیست برخوردار می‌باشد. پژوهش حاضر نیز با هدف شناسایی پتانسیل‌های انرژی پاک با استفاده از روش سنجش از دور حرارتی در منطقه سبلان اردبیل بجای استفاده از مدل‌های معمول نظیر مدل‌های سویچ (Savage) و کولبو (Coolbaugh) از ترکیب دمای مشاهداتی سطح با فلوهای

نتیجه‌گیری

با توجه به رشد روز افزون جمعیت، توسعه پایدار شهری و نیاز روز افزون به انرژی‌های نو در مقابل انرژی‌های فسیلی، به‌علت تجدیدپذیری، پاک‌بودن و ارزانی این نوع انرژی، فکر به‌کارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر از جمله انرژی زمین‌گرایی را می‌توان تحولی اساسی در حفظ ذخایر نفتی، پایداری اقتصادی و موازین و معیارهای زیست محیطی دانست. با توجه به مطالعات پیشین در زمینه شناسایی منابع

حاصله باشد. برای بالابردن 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 مطالعات آتی در زمینه اکتشافات تفضیلی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی، نتیجه این پژوهش می‌تواند جهت محدودتر شدن مناطق مورد بررسی، مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

ابراهیمی هروی، ب.، رنگزن، ک.، ریاحی، ح.، ر.، تقی‌زاده، ا.، ۱۳۹۵. تعیین مناسب‌ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در کرج. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۸(۳): ۷۶-۵۹.

احمدی زاده، س. س. ر.، آراسته، ف.، فنایی، غ.، اشرفی، ع.، ۱۳۹۳. شناسایی پتانسیل‌های زمین‌گرمایی با استفاده از روش سنجش‌ازدور حرارتی در خراسان جنوبی. پژوهش‌های محیط‌زیست، ۵(۱۰): ۱۴۴-۱۳۵.

احمدی، م.، رضانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۱. کاربردپذیری پایگاه بارشی GLDAS در برآورد ردپای آب سبز و آبی گندم و ذرت در دشت قزوین با استفاده از مدل Aqua Crop. نشریه هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، ۷(۲): ۴۲-۳۰.

امامی، ح.، جعفری، ا.، ۱۳۹۷. شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی با ترکیب دمای سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال. نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۷(۴): ۴۴-۲۵.

پرویز، ل.، خلقی، م.، ولی زاده، خ.، عراقی نژاد، ش.، ایران نژاد، پ.، ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی، همایش ملی ژئوماتیک ۸۹، سازمان نقشه‌برداری کشور.

پرهیزکار عیسی‌لو، رضا، ولیزاده کامران، خ.، فیضی زاده، ب.، ۱۳۹۷. تعیین بهترین الگوریتم محاسبه دمای سطح زمین جهت شناسایی مناطق ژئوترمال - مطالعه موردی: شهرستان مشکین‌شهر. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی گرایش آب و خاک، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز.

جویباری مقدم، ی.، آخوندزاده، م.، سراجیان، م.، ر.، ۱۳۹۴. ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین برای تخمین دمای سطح

گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده نمود که منجر به شناسایی پیکسل‌های مستعد منابع زمین‌گرمایی شد. با توجه به نقشه‌های نهایی به دست آمده (شکل ۱۲)، می‌توان گفت که لحاظ کردن حداقل مقدار فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال در محاسبه مدل حرارتی تعدیل شده باعث کاهش تأثیر عواملی غیر از منابع زمین‌گرمایی در شناسایی پیکسل‌های مستعد منابع زمین‌گرمایی گردید. همچنین با توجه به اهمیت دمای سطح زمین در شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از منابع زمین‌گرمایی، بیشترین تعداد پیکسل‌هایی که در نقشه نهایی شناسایی شده‌اند مربوط به نواحی است که دمای مشاهداتی بالا و حداکثری داشته‌اند یعنی قسمت شرق و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه شامل اردبیل، سرعین و نیر که در نزدیکی آن‌ها چشمه‌های آبگرم نیز وجود دارد. در منطقه مربوط به مشکین‌شهر نیز با توجه به وجود شواهد اکتشافی و ظاهری همچون نیروگاه زمین‌گرمایی و چشمه‌های آبگرم متعدد، بدلیل اینکه شواهد یاد شده در ارتفاعات قرار داشته و دمای کمتری نسبت به سایر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه داشته است بر همین اساس پیکسل‌های کمتری نیز در نقشه آنومالی نهایی به عنوان مناطق مستعد زمین‌گرمایی سطحی در اطراف آن‌ها شناسایی شده‌اند. در شکل ۱۲ موقعیت برخی از این آبگرم‌های طبیعی نشان داده شده است.

پژوهش حاضر که همسو با نتایج پژوهش‌های امامی و جعفری (۱۳۹۷)، پرهیزکار (۱۳۹۷) و احمدی زاده و همکاران (۱۳۹۳) می‌باشد، به این نتیجه رسید که مطالعات سنجش‌ازدوری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ابزاری مناسب و کم‌هزینه نسبت به روش‌های تجربی و تحلیل‌های زمان‌بر از کارایی بالایی جهت شناسایی و تهیه نقشه منابع زمین‌گرمایی برخوردار است. به‌طوری که با استفاده از این داده‌ها و روش استفاده شده مناطقی در ناحیه اطراف کوه آتشفشانی سبلان با توجه به همبستگی مکانی مناسبی که با شواهد ظاهری و دیگر شواهد اکتشافی 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

سیستم اطلاعات جغرافیایی - گرایش مطالعات آب و خاک، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه آموزشی جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

کاویانی، م.، ۱۳۹۸. توربین‌های بادی و بررسی پتانسیل انرژی باد در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۰(۱): ۴۴-۳۱.

کی نژاد، ص.، ۱۳۹۰. بررسی پتانسیل منابع ژئوترمال استان آذربایجان شرقی با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی. پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

مجرد، س.، نجاتی کلاتی، ع.، آقاجانی، ح.، ۱۳۹۸. مطالعات سنجش‌ازدور حرارتی و مقایسه آن با مطالعات مغناطیس سنجی هوابرد در محدوده شمال سیلان تا سراب به‌منظور پتانسیل‌یابی مناطق امیدبخش انرژی ژئوترمال. نشریه روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۲۰(۲): ۸۰-۶۷. المدرسی، ع.، رحیم آبادی، ا.، خضری، ص.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی و مقایسه دمای سطح زمین با استفاده از دو باند حرارتی ۱۰ و ۱۱ تصویر لندست ۸ در شهرستان بهشهر. همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و Gis) در آمایش سرزمین، یزد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

نوری جگرکندی، و.، محمدی اسکویی، م.، ۱۳۸۹. استفاده از نسبت‌های باندی برای تشخیص منابع ژئوترمال با استفاده از داده‌های ASTER در منطقه سیلان اردبیل، اولین کنفرانس بین‌المللی سالانه انرژی پاک، مرکز بین‌المللی علوم و فناوری پیشرفته و علوم محیطی.

نیکجو، ع.، میثمی، ح.، ترابی، ع.، زرنگاریان، ا.، ۱۳۸۵. راهبرد استفاده از انرژی زمین‌گرمایی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در کشور، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی، تهران.

Reference

- Ahmadi, m., Ramezani Etedali, H., 2023. Applicability of GLDAS precipitation dataset in estimating green and blue water footprints of wheat and maize in Qazvin plain station using Aqua Crop model. Journal of Hydrogeology, 7(2): 30-42. [In Persian]
- Ahmadizadeh, S. S. R., Arasteh, F., Fanai, G., Ashrafi, A., 2014. Identifying geothermal potentials using thermal remote sensing in South Khorasan. Environmental Research, 5(10): 135-144. [In Persian]

زمین از داده‌های ماهواره لندست ۸. نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، ۵(۱): ۲۲۶-۲۱۵.

جهانبخش، س.، رجبی، م.، ۱۳۸۹. مبانی جغرافیای طبیعی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ص ۵۳۴.

رحیمیان، م.، ح.، شایان نژاد، م.، اسلامیان، س.، جعفری، ر.، قیصری، مهدی، تقواییان، ص.، ۱۳۹۶. ارزیابی روش‌های مختلف تعیین دمای پوشش گیاهی درختان پسته به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸. نشریه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، ۲(۵): ۸۹-۷۹.

زینالی، ب.، اصغری سراسکانرود، ص.، محمدزاده، م.، قلعه، ا.، ۱۴۰۰. پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ (مطالعه موردی: شهرستان پارس‌آباد). نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۲(۴۶): ۱۱۴-۱۰۱.

سلیمانی، ا.، آبرومند آذر، پ.، ۱۳۹۴. بررسی انرژی‌های تجدید پذیر و اثرات زیست‌محیطی آن‌ها در ایران، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، (۱).

شنوایی، ح.، ۱۳۸۷. انرژی‌های تجدید پذیر (با نگاه ویژه به انرژی برق‌آبی). نشریه بررسی‌های اقتصاد انرژی، (۱۰۴).

شیخ‌زاده، س.، جعفری، ح.، ۱۳۹۵. استفاده از انرژی زمین‌گرمایی برای رسیدن به شهر پایدار، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی.

علوی پناه، س.، ک.، ۱۳۸۳. کاربرد سنجش از دور حرارتی در مطالعات محیط‌زیست، مجله محیط‌شناسی، ۳۸-۲۹(۳۴): ۲۹-۳۸. علوی پناه، س.، ک.، ۱۳۹۵. سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

علوی پناه، س.، ک.، گودرزی مهر، س.، خاکباز، ب.، ۱۳۹۰. فناوری سنجش از راه دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها. نشریه نشاء علم، (۱).

علیمرادی، ص.، ناصری، ح.، ر.، علیجانی، ف.، کریمی، ح.، ۱۳۹۹. تعیین منشأ و سازوکارهای تشکیل چشمه‌های گوگردی و آبگرم تاق‌دیس سیاهکوه، جنوب غرب ایران، با استفاده از خصوصیات هیدروژئوشیمی و ایزوتوپی. نشریه هیدروژئولوژی، دانشگاه تبریز، ۵(۲): ۳۱-۱۶.

فکرت، ح.، اصغری، ص.، علوی پناه، س.، ک.، ۱۳۹۸. ستاری، ف.، مقایسه الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین (LST) با استفاده از تصاویر سنجش از دور حرارتی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته سنجش از دور و

Geothermal Exploration in East Central California. GRC Transactions, (30): 407 - 411.

F, Peng., Y. Z. Xiong., Y. X. Cheng., Q. C. Fan., S. P. Huang., 2013. Towards Application of Remote Sensing Technology in Geothermal Prospecting in Xilingol in Eastern Inner Mongolia, NE China. Advanced Materials Research, (610): 3628-3631.

Fekrat, H., Asghari, S., Alavipanah, S.K., Sattari, F., 2019. Comparison of algorithms for estimating land surface temperature (LST) using thermal remote sensing images (case study: Ardabil city). Thesis for a master's degree in remote sensing and geographic information systems - Soil and water studies, Faculty of Literature and Humanities, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili. [In Persian]

García-Haro, J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J., Martínez, B., 2005. Operational Derivation of Vegetation Products in the Framework of the LSA SAF Project. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik (Croatia). 19-23.

Haselwimmer, C., Prakash, A., 2013. Thermal infrared remote sensing of geothermal systems. In Thermal Infrared Remote Sensing, 453-473.

J. A. Barsi., J. R. Schott., S. J. Hook., N. G. Raqueno., B. L. Markham., R. G. Radocinski., 2004. Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration. Remote Sensing, (6):11607-11626.

J. A. Sobrino., J. C. Jiménez-Muñoz., L. Paolini., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of environment, (90): 434-440.

J. C. Jimenez-Munoz., J. Sobrino., D. Skokovic., C. Mattar., J. Cristobal., 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, (11): 1840-1843.

J. Sobrino., J. Jiménez-Muñoz., G. Soria., M. Gómez., A. B. Ortiz., M. Romaguera., et al., 2008. Thermal remote sensing in the framework of the SEN2FLEX project: field measurements, airborne data and applications. International Journal of Remote Sensing, (29): 4961-4991.

J. Sobrino., Z. Li., M. Stoll., F.Becker., 1997. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. Oceanographic Literature Review, 2(44): 162-163.

J.-C. Jiménez-Muñoz., J. A. Sobrino., 2008. Split-window coefficients for land surface temperature retrieval from low-resolution thermal infrared sensors. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 5(4): 806-809.

Jahanbakhsh, S., Rajabi, M., 2010. Fundamentals of Physical Geography. First Edition, Tabriz University Press, 534 pp.[In Persian]

Johnson, B., Tateishi, R., Kobayashi, T., 2012. Remote sensing of fractional green vegetation cover

AlaviPanah, S. K., 2004. Application of thermal remote sensing in environmental studies. Journal of Ecology, (34): 29-38. [In Persian]

Alavipanah, S.K., 2016. Thermal Remote Sensing and Its Application in Earth Sciences. Tehran, Tehran University Press. [In Persian]

Alavipanah, S.K., Goodarzi Mehr, S., Khakbaz, B., (2012). Thermal Remote Sensing Technology and Its Application to Phenomena Identification. Science Cultivation Journal, 2(1): 25. [In Persian]

Alimoradi, S., Naseri, H. R., Alijani, F. and Karimi, H., 2020. Source determination and formation mechanisms of sulfur and thermal springs of Siah-Kuh anticline (south-west of Iran). Using hydro geochemistry and isotope characteristics. Hydrogeology, 5(2): 16-31. [In Persian]

Allen, R.G., W.G.M, Bastiaanssen., J.L, Wright., A. Morse., M. Tasumi., R.Trezza., 2002. Evapotranspiration from Satellite Images for Water Management and Hydrologic Balances. Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada, 1-12.

Al-Modarresi, A., Rahimabadi, A., Khezri, S., 2014. Zoning and comparison of land surface temperature using two thermal bands 10 and 11 of Landsat 8 images in Behshahr city. National Conference on the Application of Advanced Spatial Analysis Models (Remote Sensing and Gis) in Land Planning, Yazd, Islamic Azad University, Yazd Branch. [In Persian]

Atmospheric correction module: Quac and flaash user's guide. 2009. ITT Visual Information Solutions, powered by idl, Version(4.7).

C. Du., H. Ren., Q. Qin., J. Meng., S. Zhao., 2015. A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 data. Remote Sensing, (7): 647-665.

C. Du., H. Ren., Q. Qin., J. Meng., J. Li., 2014. Split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 TIRS data. in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International, 3578-3581.

Coolbaugh, M.F., Kratt, C., Fallacaro, A., Calvin, W.M. and Taranik, J.V., 2007. Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Bradys Hot Springs. Nevada, USA Remote.

Ebrahimi Harvi B., Rangzan K., Riahi Bakhtiari H.R., Taghizadeh A., 2016. Introducing the Most Appropriate Method to Extract Land Surface Temperature Using Landsat 8 Satellite Images in Karaj Metropolitan. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS, 8(3): 59-76. [In Persian]

Emami, H., Jafari, A., 2018. Shadow Geothermal Energy Detection using Integrating of Temperature Anomalies and SEBAL Algorithm. Journal of Geomatics Science and Technology, 7(4): 25-44. [In Persian]

Eneva, M., Coolbaugh, M., Combs, J., 2006. Application of Satellite Thermal Infrared Imagery to

Engineering Education ISSN 1607-2316, 18(69): 77-90.

Nikjoo, A., Meysami, H., Torabian, A., Zarnegarian, A., 2006. Strategy for using geothermal energy and reducing fossil fuel consumption in the country. First International Conference on Energy Management and Planning, Tehran. [In Persian]

Noorollahi, Y., Yousef, H., Rezayan, A.H., FarabiAsl, H., 2016. Economic and Environmental Feasibility Assessment of Replacement of Common Urban Heating by Geothermal Energy Resources in IRAN. Journal of Environmental Science and Technology (JEST), Articles in Press.

Nouri Jegarkandi, V., Mohammadi Oskouei, M., 2010. Using band ratios to detect geothermal resources using ASTER data in the Sabalan region of Ardabil. First Annual International Conference on Clean Energy, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences. [In Persian]

O. Rozenstein., Z. Qin., Y. Derimian., A. Karnieli., 2014. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. Sensors, (14): 5768-5780.

Parhizcar Isalu, R., Valizadeh Kamran, KH., Faizizadeh, F., 2020. Determining the best algorithm to calculate land surface temperature with the aim of identifying geothermal areas - Case study: MeshkinShahr County. Journal of of Geographical Data (SEPEHR), 29(114): 79-98. [In Persian]

Parviz, L., Kholqi, M., Valizadeh, Kh., Iraghi Nejad, Sh., Iran Nejad, P., 2010. Evaluating the Performance of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) through Monitoring Vegetation Status. 89th National Geomatics Conference, National Mapping Organization. [In Persian]

Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., Chai, L., 2011. Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis-A case study in Tengchong, China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13(4): 552-559.

R. Richter and D. Schlöpfer., 2013. Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 UserGuide, Version 8.3. 1, February 2014), ed.

R. Richter and D. Schlöpfer., 2014. ATCOR-2/3 user guide, version 8.3.1. Zurich, Switzerland, (238).

Rahimian, M., H., Shayannejad, M., Eslamian, S., Jafari, R., Qeysari, M., Taghvaeian, S., 2017. Evaluation of different methods for determining the temperature of pistachio tree vegetation using Landsat 8 satellite images. Journal of Spatial Information Technology Engineering, 2(5): 79-89. [In Persian]

Richard, A., Masahiro, T., Trezza, R., Bastiaanssen, W., 2002. SEBAL: surface energy balance algorithms for Land. Version 1.0. Funded by a nasa eosdis/synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho, Department of Water Resources, Newyork.

using spatially-interpolated endmembers. Remote Sensing, 4(9): 2619-2634.

Jouybari Moghaddam, Y., Akhondzadeh, M., Serajian, M. R., 2015. Presenting a new discrete window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 satellite data. Journal of Surveying Sciences and Technologies, 5(1): 215-226. [In Persian]

Kaviani, M., 2019. Wind turbines and the study of wind energy potential in Iran. Quarterly Journal of Geographical Research, 10(1): 44-3. [In Persian]

Keynejad, S., 2011. Investigating the potential of geothermal resources in East Azerbaijan Province using geological and exploration data. Thesis for a master's degree in mining exploration, Faculty of Mining Engineering, Isfahan University of Technology. [In Persian]

Kogan, F.N., 1993. United States Droughts of Late 1980's as Seen by NOAA Polar Orbiting Satellites, International Geo science and Remote Sensing Symposium. (1): 197-199.

L. M. McMillin., 1975. Estimation of sea surface temperatures from two infrared window measurements with different absorption. Journal of Geophysical Research, 80(36): 5113-5117.

Lee, K., 1978. Analysis of thermal infrared imagery of the Black Rock Desert geothermal area, Colorado School of Mines Quarterly, 4 (2): 31-44.

Lu, S.L., Shen, X.H., Zou, L.J., Zhang, G.F., Wu, W.Y., Li, C.J. and Mao, Y.J., 2008. Remote sensing image enhancement method of the fault thermal information based on scale analysis: A case study of Jiangshan-Shaoxing Fault between Jinhua and Quzhou of Zhejiang Province, China. Chinese Journal of Geophysics, 51(5): 1048-1058.

M. Cook., J. R. Schott., J. Mandel., N. Raqueno., 2014. Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a Land Surface Temperature (LST) product from the archive. Remote Sensing, (6): 11244-11266.

Manzoor, D., Rahimi, A., 2015. A Comparative Analysis of the National Iranian Oil Company (NIOC) Articles of Association during 1954-1978: Proposing a Number of Principles of the New Articles of Association. (4) 191-215.

Melesse AM and Nangia, V., 2005. Estimation of spatially distributed surface energy fluxes using remotely sense data for agricultural fields. Hydrol, Proc, 19(14): 2653-2670.

Mojarad, S., Nejati kalati, A., and Aghajani, H., 2019. 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, 9(20): 67-80. [In Persian]

Motahar, S., Rajabi, A.A., 2016. Renewable energy education in Iran. Iranian Journal of

Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., and Khosa, R., 2018. Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, (2):1-19.

S.K. Sanyal., 2018. Sustainability and renewability of geothermal power capacity. In: L.Y. Bronicki (Eds), *Geology and Hydrology of Geothermal Energy*, Springer, New York, N, 47-60.

Sheikhzadeh, S., Jafari, H., 2016. Using geothermal energy to achieve a sustainable city. *International Conference on Research in Science and Technology*. [In Persian]

Shenvaei, H., 2008. Renewable energies (with a special focus on hydroelectric energy). *Journal of Energy Economics Studies*, (104). [In Persian]

Sobrino, J.A., Raissouni, N., Li, Z., 2001. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. *Remote sensing of Environment*, 75(2): 256–266.

Soleymani, A., Abroomand Azar, P., 2015. Review of renewable energies and their environmental impacts in Iran. *International Conference on Research in Science and Technology*, (1). [In Persian]

W. G. Bastiaanssen., H. Pelgrum., J. Wang., Y. Ma., J. Moreno., G. Roerink., et al., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation," *Journal of hydrology*, (212): 213-229.

W. G. Bastiaanssen., M. Menenti., R. Feddes., A. Holtslag., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, (212): 198-212.

Wang, Fei., Zhihao Qin., Caiying Song., Lili Tu., Arnon Karnieli., Shuhe Zhao., 2015. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote sensing*, (7): 4268-89.

X. Ou., Z. Jin., L. Wang., H. Xu., S. Jin., 2004. Thermal conductivity and its anisotropy of rocks from the depth of 100 similar to 2000m mainhole of Chinese Continental Scientific Drilling: Revelations to the study on thermal structure of subduction zone. *Acta Petrologica Sinica*, (20): 109-118.

Yamaguchi Y., Hase H., Ogawa K., 1992. Remote sensing for geothermal applications. *Episodes Journal of International Geoscience*. 15(1): 62-7.

Zeynali, B., Asghari Saraskanroud, S., Mohammadzadeh, M., Qale, A., 2012. Monitoring land surface temperature and investigating the relationship between land use and surface temperature using OLI and ETM sensor images (Case study: Parsabad County). *Journal of Climatological Research*, 12(46): 101-114. [In Persian]

Zhang, J., Wang, Y., Li, Y., 2006. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers and Geosciences*, 32(10): 1796-1805.