

شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی با ترکیب دمای سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال

حسن امامی^{۱*}، اکبر جعفری^۲

^۱ استادیار گروه نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرن - دانشگاه تبریز
h_emami@tabrizu.ac.ir

^۲ مربی گروه نقشه برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرن - دانشگاه تبریز
akbar.jafari@tabrizu.ac.ir

(تاریخ دریافت خرداد ۱۳۹۶، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۶)

چکیده

آشکارسازی و شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی و کم عمق، با استفاده از داده های سنجش از دور یکی از روش های نوین در بسیاری از کاربردها می باشد. هدف این مطالعه شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی با ترکیب دمای سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال با استفاده از داده های لندست ۸ در شمال غرب کشور مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای این منظور و به دلیل حداقل بودن اثر تشعشعات خورشیدی، دو فریم از داده های لندست ۸ به تاریخ ۱۳ اکتبر ۲۰۱۶ مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از دو الگوریتم تک باندی محاسبه دما، معادله انتقال تشعشع حرارتی (RTE) و الگوریتم جیمز - سوپرینو (SC^{JM&S})، نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین مشخص گردید. همچنین 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. برای اولین بار، با ترکیب این لایه های اطلاعاتی با دمای مشاهداتی سطح، مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند. نتایج نشان داد که مناطقی مابین شهرهای مرن و تسوج و همچنین مابین شهرهای خوی و قطور مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی می باشد که وجود آبگرم طبیعی در منطقه قطور احتمال وجود منابع زمین گرمایی را افزایش داده و موعید این مطلب می باشد. همچنین، نتایج مشابه در مناطقی در جنوب شهر ارومیه و در غرب شهر اشنویه حاصل گردید. این مناطق حاصل، حداکثر فاصله ای که از محل مصرف انرژی (شهرهای ارومیه، خوی، مرن، تسوج، شرفخانه و اشنویه) دارند، برابر ۳۰ کیلومتر می باشد که از لحاظ اقتصادی قابل توجیه بوده و می توانند بخش عظیمی از انرژی مصرفی را در صنعت و شهرها تأمین نموده و محیط زیست سالم و پاک را به ارمغان بیاورد.

واژگان کلیدی: انرژی زمین گرمایی، سنجش از دور، لندست ۸، دمای سطح زمین، توازن انرژی در سطح زمین

۱- مقدمه

انرژی یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازهای توسعه و رفاه ملت‌هاست و آن را می‌توان یکی از عوامل دخیل در رشد اقتصادی جوامع پیشرفته دانست. همچنان با افزایش جمعیت جهان، میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد. اگر تولید انرژی در مسیر جدیدی قرار نگیرد، اثرات و عواقب جبران‌ناپذیری را منجر خواهد شد [۱]. امروزه تأمین انرژی از اساسی‌ترین پیش‌نیازهای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها به شمار می‌رود. نیاز روزافزون به انرژی باعث شده انسان بیش‌ازپیش به استفاده از سوخت‌های فسیلی روی آورد که اثرات زیان‌بار مصرف بالای انرژی‌های فسیلی، به‌وضوح در آب‌و‌خاک و هوا نمایان است. طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی میزان مرگ‌ومیر ناشی از آلودگی هوا بیش از سایر مرگ‌ومیرها است که این آمار در ایران بیست برابر میانگین جهانی است [۲]. انرژی‌های مورد استفاده در جوامع بشری به دودسته انرژی‌های تجدید پذیر (باقابلیت احیاء منبع انرژی در مدت کوتاه) و تجدید ناپذیر تقسیم می‌گردند. عمده منابع انرژی متداول امروزی منابع فسیلی بوده و این منابع علاوه بر محدودیت، توزیع یکنواختی در سراسر کره زمین ندارند [۳]. سوخت‌های فسیلی شامل نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ می‌باشد. رشد سریع مصرف جهانی انرژی، علاوه بر ایجاد مشکلات در زمینه تأمین منابع انرژی، اثرات زیست محیطی زیانباری را نیز به دنبال داشته است. مصرف حامل‌های انرژی، با تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرآیند تبدیل و در تخریب لایه ازن، محیط زیست را به شدت مورد تهدید قرار داده و موجب گرم شدن بیشتر دمای زمین و تغییر اقلیم ها می‌گردد. در مقابل، به انرژی‌های ناشی از فرآیندهای طبیعی که بطور مکرر تجدید می‌شوند، انرژی‌های تجدیدپذیر گویند. اشکال مختلف این انرژی به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم از خورشید و یا از حرارت ایجاد شده در اعماق زمین نشأت می‌گیرند. از انواع انرژی‌های تجدید پذیر می‌توان انرژی باد، انرژی خورشید، انرژی زمین گرمایی، انرژی آبی، موج و جزر و مد و غیره را نام برد. از میان این انرژی‌های تجدید پذیر، مهم‌ترین انرژی‌های پاک می‌توان به انرژی خورشیدی، انرژی باد و انرژی زمین گرمایی^۱ اشاره

^۱ Geothermal energy

نمود. با توجه به دائمی بودن انرژی زمین گرمایی و عدم وابستگی به شرایط آب و هوایی مانند انرژی خورشیدی و بادی، استفاده از آن از قابلیت اطمینان بسیار بالایی برخوردار است [۴]. انرژی زمین گرمایی از حرارت گدازه‌ها و تخریب مواد رادیو اکتیو موجود در اعماق زمین بدست می‌آید. حرارت داخل زمین از طریق چرخش عمقی آب‌های زیرزمینی به سطح زمین آورده می‌شوند، که در برخی نقاط این حرارت، بصورت چشمه‌های طبیعی آبگرم یا بخار داغ به سطح زمین می‌آیند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ازای هر ۱۰۰ متر عمق، حدود ۳ درجه به دمای زمین افزوده می‌شود [۵]. در برخی قسمت‌ها از پوسته زمین که دمای بالایی نسبت به بقیه جاها دارد و به سطح زمین نزدیک است، می‌توان برای استحصال و استفاده از آن در بخش‌های مختلف، از جمله گرمایش ساختمانها، کشاورزی، صنعت، درمان بیماریها و تولید برق، برنامه ریزی نمود [۶]. انرژی زمین گرمایی برخلاف سایر انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، بادی، امواج و... منشاء یک انرژی پیوسته به شمار می‌آید و می‌توان به طور مداوم و در تمامی بیست و چهار ساعت شبانه‌روز از آن برق یا انرژی حرارتی تولید کرد. این انرژی بر خلاف سایر انرژی‌های تجدید پذیر، محدود به فصل، زمان و شرایط خاصی نبوده و بدون وقفه قابل بهره برداری می‌باشد. همچنین قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های زمین گرمایی با برق تولیدی از سایر نیروگاه‌های متعارف (فسیلی) قابل رقابت بوده و حتی از انواع دیگر انرژی‌های نو بمراتب ارزاتر است. تحقیقات نشان داده است که مقدار انرژی حرارتی موجود در پوسته زمین بسیار بالاست. انرژی ذخیره شده در لایه‌های بالایی زمین می‌تواند نیاز ۱۰۰۰۰۰ سال آینده بشر را تأمین کند [۷]. از گرمای درون زمین تنها در جاهایی می‌توان استفاده کرد که به سطح زمین نسبتاً نزدیک باشند و آن هم معمولاً مناطقی است که در آنها چشمه‌های آب گرم، آتشفشان یا زمین لرزه‌های مستمر وجود دارد. ایران از جمله کشورهایی است که به علت قرار گرفتن در کمربند آتشفشان و زلزله دارای منابع مهم و پتانسیل زمین گرمایی نسبتاً بالایی است. بررسی‌های انجام‌شده توسط وزارت نیرو از سال ۱۹۷۲ میلادی، نواحی زمین گرمایی سیلان، دماوند، ماکو، خوی و سهند در شمال و مناطق تفتان در جنوب را به عنوان منابع غنی انرژی زمین گرمایی در کشور تشخیص داده است. با نگاهی به مطالعات صورت گرفته شده در مورد انرژی‌های

نو، چند دلیل عمده برای ضرورت توجه به این انرژی ها می توان یافت. نخست؛ شاید مهم ترین دلیل توجه به انرژی های نو، پذیرفتن این واقعیت است که منابع انرژی فسیلی پایان پذیر هستند، در نتیجه با توجه به افزایش جمعیت و ارتقای سطح زندگی و رفاه انسان ها که نیاز به منابع انرژی را بیش از پیش شدت بخشیده است، می بایست به فکر منابع جدید انرژی بود. دوم؛ مسائل و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت های فسیلی است به گونه ای که امروزه حفاظت از محیط زیست از مهم ترین پیش شرط های توسعه اقتصادی پایدار به شمار می آید. آسیب ها و تهدیدات روزافزونی که استفاده بی رویه از انرژی فسیلی به محیط زیست وارد می کند که توجه به منابع جدید انرژی را بیش از پیش ضروری ساخته است [۷].

با نگاهی به وضعیت انرژی های نو در سطح جهان می توان ضرورت توجه به این نو انرژی ها را بهتر درک کرد. طوریکه، اولین استفاده مکانیکی از انرژی زمین گرمایی در سال ۱۸۹۷ در لاردلو ایتالیا صورت گرفت. تا سال ها بعد از ساخت اولین نیروگاه زمین گرمایی، به علت وجود منابع سوخت ارزان قیمت برای تولید برق، ارزش زیادی به این انرژی داده نشد. هم اکنون، بزرگترین تجهیزات مرتبط با انرژی زمین گرمایی در کالیفرنیا با ظرفیت ۷۵۰ مگاوات می باشد. در حال حاضر، حدود ۷۲ کشور جهان از منابع زمین گرمایی بطور مستقیم، بصورت ۲۰٪ در گرمایش ساختمانها، ۳۳٪ در پمپ های حرارتی، ۷،۵٪ در کشاورزی، ۴،۲٪ در آبی پروری، ۲۸،۸ درصد در کاربردهای صنعتی و ۲،۳٪ در سایر کاربردها استفاده می کنند [۸]، که بیانگر اهمیت موضوع تحقیق می باشد. بطور کلی، کاربرد های انرژی زمین گرمایی به دودسته کاربردهای مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می شوند. از کاربردهای مستقیم آن می توان به پمپ های حرارتی، گرم کردن فضا، گرم کردن گلخانه ها، گرم کردن نهرا و حوضچه های ماهی، تولید محصولات کشاورزی، پروژه های صنعتی، استحمام و سایر موارد اشاره کرد. سیستم هایی که در کاربردهای مستقیم از منابع زمین گرمایی مورد استفاده قرار می گیرند از منابع با درجه حرارت ۲۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی گراد استفاده می کنند که این رنج درجه حرارت از دمایی که برای نیروگاهها لازم است پایین می باشد. سیستم های کاربرد مستقیم زمین گرمایی از تکنولوژی پیچیده ای برخوردار نبوده و شامل سه مرحله اساسی می باشند: الف) سیستم تولید که آب را از داخل چاهها به سطح زمین می

آورد، ب) سیستم تحویل که آب داغ را در داخل لوله ها توزیع می کند، ج) سیستم دفع شده که آب سرد شده را دوباره به مخازن آبی بر می گرداند [۶]. از کاربرد های غیر مستقیم آن نیز، می توان تولید برق با استفاده از احداث نیروگاههای زمین گرمایی اشاره کرد [۹].

با توجه به محدودیت روشهای معمول سنتی در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی از لحاظ هزینه و نوع عملکرد، سنجش از دور به عنوان یکی از روشهای نوین و کم هزینه، می تواند با استفاده از تصاویر ماهواره ای، امکان شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی را فراهم آورد. در مطالعات مختلف با استفاده از نقشه آنامولی دمای سطح، جهت شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی را تعیین کرده اند در اغلب این روشها با مدل های مختلفی نظیر مدل های سوچ^۱ و کولبو^۲ اثر خورشید در سطح زمین را مدلسازی کرده و با نقشه دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده های حرارتی مقایسه نموده و نقشه نامولی دمای سطح را تعیین کرده اند [۱۰-۱۲]. در این تحقیق برای اولین بار، بجای استفاده از مدل های مذکور، از فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده شده است. لذا هدف از تحقیق شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی سطحی با ترکیب ناهنجاری های دما و فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) با استفاده از فناوری سنجش از دور می باشد. بخش های مختلف این مقاله بعد از مقدمه، بدین صورت سازماندهی شده است. ابتدا پیشینه تحقیق انرژی زمین گرمایی بحث گردیده است. سپس پیش پردازشهای لازم بر روی داده ها انجام گرفته است. در مرحله بعد، فلوچارت پیشنهادی اجرا گردیده است. در بخش چهارم بحث و بررسی نتایج انجام گرفته است. و نهایتاً در بخش پنجم نتیجه گیری از این تحقیق ارائه شده و آنالیز گردیده است.

۱-۱- پیشینه تحقیق

تا سال ۱۹۵۰ میلادی بهره گیری از انرژی زمین گرمایی رشد چندانی نداشت، اما درحد فاصل سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۳ میلادی، به دلیل گران شدن بی سابقه و

^۱ Savage

^۲ Coolbaugh

ناگهانی نفت، همه کشورها به فکر استفاده از انرژی‌های جایگزین افتادند و به تدریج کشورهایی چون آمریکا، ایسلند، فیلیپین، اندونزی و اغلب کشورهای که روی کمر بند زمین گرمایی جهانی قرار داشتند بهره برداری از این انرژی را شروع کردند [۱۳]. مخازن زمین گرمایی از لحاظ مقدار دما در سه گروه طبقه بندی می‌شوند [۱۴]. اگر دمای مخزن در عمق یک کیلومتری بیش از ۲۰۰ درجه سانتیگراد باشد، مخزن با انرژی بالا بوده و مناسب برای تولید برق می‌باشد. اگر دما مخزن بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد باشد، مخزن با انرژی متوسط بوده و اگر دمای مخزن کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد باشد، مخزن با انرژی پایین می‌باشد و برای مصارف حرارتی مانند سیستم گرمایش ساختمانها مناسب می‌باشد و برای تولید برق توجیه اقتصادی ندارد [۱۴]. یکی از عوامل دیگر که در توجیه اقتصادی طرح تأثیرگذار است، فاصله منبع زمین گرمایی از محل نیروگاه و بازار بالقوه مصرف است، زیرا انتقال سیال زمین گرما باعث اتلاف انرژی می‌شود. در حال حاضر طولانی ترین خط لوله از منبع زمین گرمایی تا محل استفاده به طول ۶۰ کیلومتر در کشور ایسلند می‌باشد و متوسط جهانی فاصله منبع تا محل استفاده ۲۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. بنابراین نوع منبع از نظر دما، عمق مخزن در زیر زمین و محل نیروگاه یا محل استفاده حرارتی از عوامل تأثیرگذار در استفاده از انرژی زمین گرمایی هستند [۴].

طبق چشم انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران تا سال ۱۴۰۴ باید ۱۰ درصد برق مورد نیاز از انرژیهای تجدید پذیر باشد [۱۵]. از جمله انرژیهای تجدید پذیر با توجه به پژوهش های انجام شده و پایداری آن، انرژی زمین گرمایی است [۱۶]. از سالیان بسیار دور ایرانیان از منابع آب گرم برای استحمام و آب درمانی استفاده می کردند. اما علاقمندی به استفاده صنعتی از انرژی زمین گرمایی بر می گردد به زمانی که کارشناسی از سازمان ملل متحد در دسامبر سال ۱۹۷۴ میلادی به ایران سفر کرد و در سال ۱۹۷۵ قراردادی بین ایران و ایتالیا برای پژوهش و اکتشاف انرژی زمین گرمایی منعقد گردید. از سال ۱۹۹۶ سازمان انرژیهای نو^۱ (<http://www.suna.org.ir/>) عهده دار اکتشاف منابع

۱ سازمان انرژی های نو ایران (سانا) وابسته به وزارت نیرو

انرژی زمین گرمایی در کشور گردید. طبق پژوهش های انجام گرفته و وجود آبگرم های طبیعی در حوزه سبلان، در بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ سه حلقه چاه عمیق حفاری گردید که منجر به تعریف پروژه احداث نیروگاه ۵۵ مگاواتی در سبلان به عنوان اولین نیروگاه زمین گرمایی در کشور شد [۵]. علاوه بر نیروگاه حوزه سبلان، در دیگر نقاط کشور مطالعاتی برای شناسایی منابع انرژی زمین گرمایی صورت گرفته ولی به مرحله اجرا نرسیده است. با توجه به علائم زمین شناختی و چشمه های آبگرم طبیعی در نقاط مختلف کشور می توان از این انرژی علاوه بر تولید برق، برای کاربردهای دیگر مانند گرمایش منطقه ای (ساختمانها) که بخش عظیمی از انرژی مصرفی شهرهای سردسیر را شامل می شود، استفاده نمود. منابع انرژی گرمایی که برای استفاده های مستقیم به کار برده می شوند، با دمای پایین (۱۰۰ الی ۱۵۰ درجه) نیز قابل استفاده می باشند. ولی مسیر انتقال سیال تا محل مصرف نباید طولانی باشد [۴]. یکی از مسائلی که باعث شده استفاده از انرژیهای تجدید پذیر در ایران به کندی پیش رود، وجود منابع عظیم سوخت های فسیلی و دسترسی با هزینه پایین به این نوع سوخت ها می باشد. بنابراین محققین به دنبال راههایی برای کاهش هزینه تولید انرژیهای تجدید پذیر هستند. منابع محدود سوخت های فسیلی و تجدید ناپذیر بودن آنها و همچنین آلودگی های محیط زیستی ناشی از سوخت های فسیلی باعث شده است که پژوهشگران و سیاستگذاران بخش انرژی، به دنبال جایگزین مناسب با منابع نامحدود، تجدید پذیر و انرژی پاک باشند [۱۷]. از راهکارهای پیشنهادی برای این امر استفاده از انرژی زمین گرمایی است. همچنین در مورد انرژی زمین گرمایی، برای کاهش ریسک سرمایه گذاری و افزایش ضریب اطمینان، تشخیص درست محل منبع انرژی زمین گرمایی حائز اهمیت می باشد. در ایران معمولاً برای تعیین محل منابع انرژی از داده های زمین شناسی، ژئوفیزیک، تغییرات شیمیایی در پوسته، داده های ژئوفیزیک و نشانه های ظاهری استفاده شده است [۱۸]. امروزه، استفاده از داده های سنجش از دور و سنجنده های حرارتی موجب تحول عظیمی در مطالعات ویژگیها و پدیده های زمین شده است. داده های سنجش از دور مادون قرمز حرارتی می تواند، برای نقشه برداری و تعیین ناهنجاری های حرارتی در ارتباط با ویژگی های

Akita و Iwate با داده های لندست ETM+ مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۰، ۲۳]. در ایران نیز در سال ۱۳۹۳ شناسایی پدیده زمین گرمایی در منطقه خراسان جنوبی با استفاده از داده های سنجنش از دور حرارتی صورت گرفته است [۲۴]. تلاش های متخصصان سنجنش از دور موجب شده است که با استفاده از اطلاعات و داده های ماهواره ای بتوان در جهت مدیریت صحیح و مبتنی بر دانش روز، گام هایی برداشت. امروزه، با استفاده از فن آوری سنجنش از دور حرارتی می توان با کم ترین هزینه و کوتاه ترین زمان، پروژه های زیادی در سطح جهانی، منطقه ای، ملی، استانی و محلی را اجرا کرد [۲۵]. هدف از این پژوهش، تهیه نقشه ناهنجاری های دمای سطح زمین و ترکیب آن با فلوهای انرژی گرمایی سطح زمین با استفاده از معادله توازن انرژی سطح (سبال)، به شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی با استفاده از فناوری سنجنش از دور در منطقه شمال غربی ایران پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- روند کلی تحقیق

در این تحقیق برای اولین بار، بجای استفاده از مدل های معمول نظیر مدل های سویچ^۶ و کولبو^۷، 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. لذا هدف از تحقیق شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی سطحی با ترکیب ناهنجاری های دما و فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) با استفاده از فناوری سنجنش از دور می باشد. الگوریتم روش پیشنهادی از شش مرحله اصلی تشکیل شده است: در مرحله اول داده های تحقیق پیش پردازش شده و تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی آنها انجام گرفت.

ظاهری انرژی زمین گرمایی مورد استفاده قرار گیرد. این رویکرد، سال های زیادی است که به عنوان یک ابزار مقرون به صرفه برای اکتشاف انرژی زمین گرمایی در وسعت بزرگ استفاده شده است [۱۹]. سنجنش از دور حرارتی، روشی مؤثر برای شناسایی ناهنجاری های دمای سطح زمین است که ترکیب آن با تحلیل های زمین شناسی و درک ساز و کار زمین گرمایی، رویکردی صحیح و کارآمد در اکتشاف مناطق زمین گرمایی می باشد [۲۰]. دمای سطح زمین از جمله متغیرهایی است که در دامنه وسیعی از مطالعات و تحقیقات علوم زمین و محیط زیست مورد نیاز است و در بسیاری از کاربردهای مانند تعیین جزایر حرارتی سطح زمین، مدل سازی تبخیر و تعرق، برآورد رطوبت خاک، آب و هوایی شهری، هیدرولوژیکی، پایش پوشش گیاهی و مطالعات زیست محیطی یکی از پارامترهای کلیدی در مقیاس محلی و جهانی است. فناوری سنجنش از دور، امکان پایش مکانی و زمانی همزمان این کمیت را در سطوح وسیع فراهم می آورد [۲۱]. تغییرات دمای سطح زمین^۱ یکی از شاخص های شناسایی پدیده زمین گرمایی از داده های مادون قرمز حرارتی^۲ است. لیکن این تغییرات می تواند تحت تأثیر عوامل دیگری از جمله تشعشعات خورشیدی، شکل طبیعی سطح زمین و زمین لرزه باشد. بنابراین شناسایی پدیده زمین گرمایی و بهبود دقت شناسایی آن با استفاده از داده های مادون قرمز حرارتی یکی از موضوعات مهم در سنجنش از دور حرارتی می باشد [۲۰]. محققان برای تعیین مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی، از داده های سنجنده های مختلف استفاده کرده اند. در سال ۲۰۱۱ در جنوب کشور چین در منطقه تینگ چونگ^۳ با استفاده از داده های لندست ETM+ مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی شده است [۲۰]. در سال ۲۰۱۴ منطقه لا پاکانا کالدر^۴ کشور شیلی با استفاده از داده های ماهواره ASTER^۵ مورد بررسی و شناسایی انرژی زمین گرمایی قرار گرفت [۲۲]. در ژاپن نیز در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ منطقه آتشفشانی Aso و استان های

^۱ Land Surface Temperature (LST)

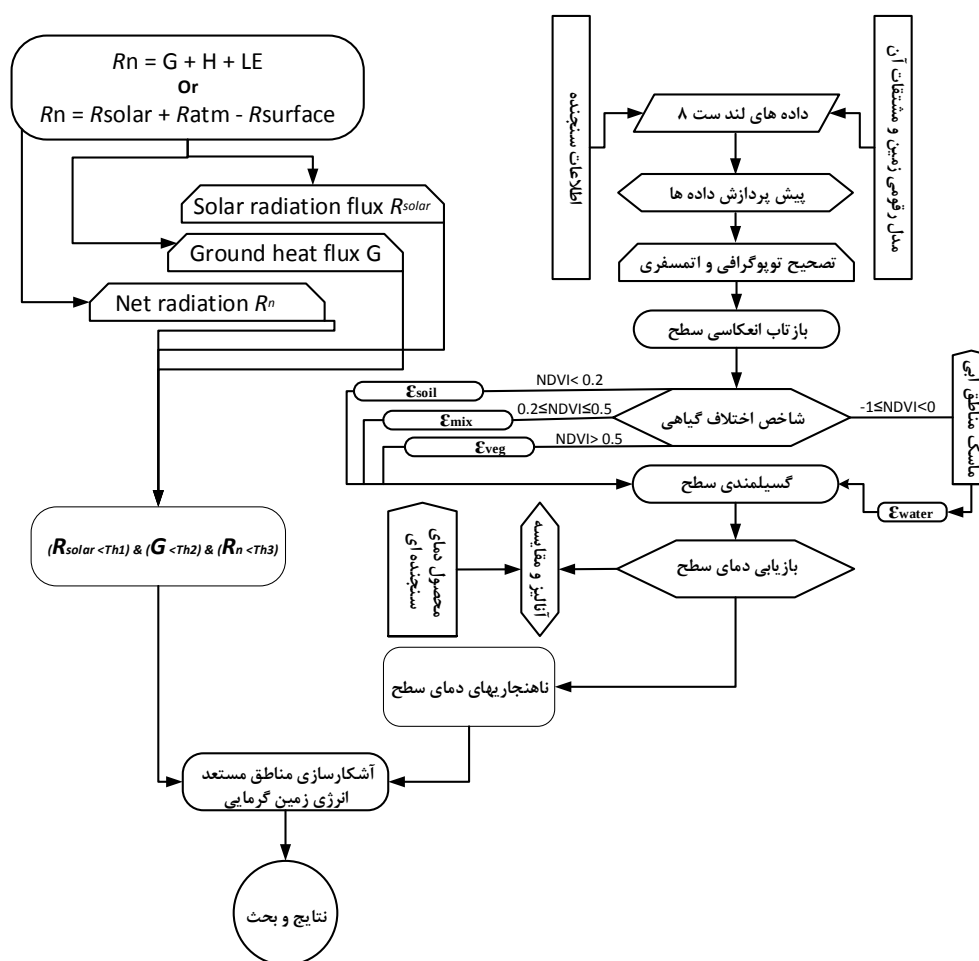
^۲ Thermal Infrared Remot sensing (TIR)

^۳ Tengchong

^۴ La Pacana caldera

^۵ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

^۶ Savage
^۷ Coolbaugh



شکل ۱- فلوجارت روش پیشنهادی

مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar}) محاسبه گردید. در مرحله پنجم، با ارزیابی و ترکیب این لایه های اطلاعاتی با نقشه های آنامولی حرارتی انجام گرفت و مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند و نهایتاً نتایج حاصل، آنالیز و بررسی گردیدند. در شکل (۱)، الگوریتم روش پیشنهادی نشان داده شده است.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه و داده های تحقیق

۲-۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، قسمتی از شمال غرب ایران که در برگیرنده قسمتی از استان های آذربایجان غربی و شرقی است، که با دو تصویر لندست ۸ پوشش داده می شود، این منطقه در بین طول جغرافیای $39^{\circ} 42' - 36^{\circ} 23'$ شمالی و عرض جغرافیای $46^{\circ} 30' - 43^{\circ} 28'$ شرقی قرار دارد. تصاویر لندست ۸ متناظر این منطقه در تاریخ ۱۳ اکتبر ۲۰۱۶ جمع آوری شده است. شکل (۲) منطقه مورد مطالعه را با موقعیت تصاویر لندست ۸ نشان می دهد.

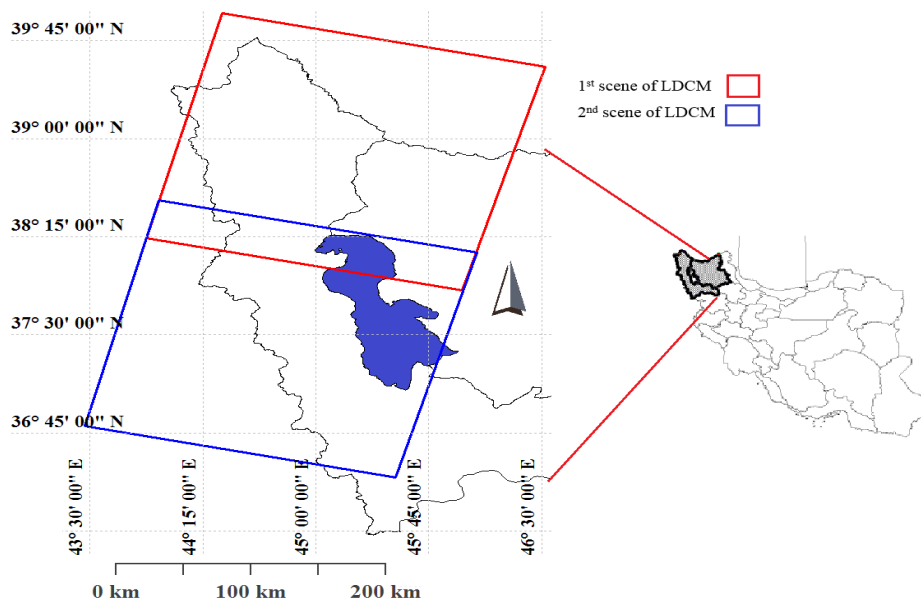
برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده^۱ SRTM استفاده گردید و مشتقات لازم نظیر شیب^۲، تغییر شیب^۳ و سایه^۴ استخراج و استفاده گردید. در مرحله دوم، ابتدا ضریب گسیل کلاسه های مختلف متناسب با روش محاسبه گسیلمندی سطح، با استفاده از کتابخانه طیفی ASTER، قانون کیرشف و مطابق با توابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی سنجنده لندست ۸ محاسبه شد و سپس میزان گسیلمندی سطح محاسبه و درجه حرارت سطح زمین بازیابی گردید. در مرحله سوم، دمای حاصل در مناطق همگن با محصول دمای مادیس مقایسه و اعتبار سنجی شدند و سپس نقشه آنامولی حرارتی سطح تعیین گردید. در مرحله چهارم، با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (R_n)، مقدار جریان گرمایی مابین لایه های مختلف خاک (G) و

^۱ Shuttle Radar Topography Mission digital elevation model

^۲ Slope

^۳ Aspect

^۴ Shadow

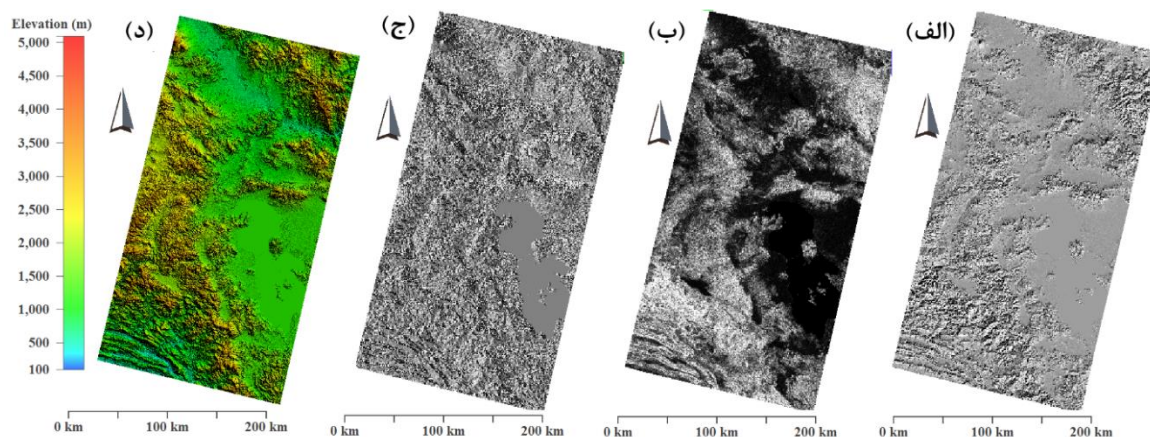


شکل ۲- منطقه مورد مطالعه

۲-۲-۲- داده‌های تحقیق و پیش پردازش آنها

بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین نظیر دما، گسیلمندی، رادیانس انعکاسی-حرارتی سطح، آلبدو سطح و نظایر آن، انجام تصحیح رادیومتریکی تصاویر الزامی است. برای رسیدن به این هدف بایستی اثر اتمسفر، هندسه دید سنجنده، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی و ویژگیهای سطح روی تصاویر

در نظر گرفته شود و تاثیر این عوامل در تخمین پارامترهای سطح حذف یا به حداقل برسد. در این تحقیق، برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی سنجنده SRTM استفاده گردید و مشتقات لازم نظیر شیب، تغییر شیب و سایه استخراج گردید. در شکل ۳ (الف، ب، ج و د) مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن نشان داده شده است.



شکل ۳- مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه و مشتقات آن: (الف) نقشه سایه، (ب) شیب، (ج) تغییر شیب و (د) مدل رقومی ارتفاعی

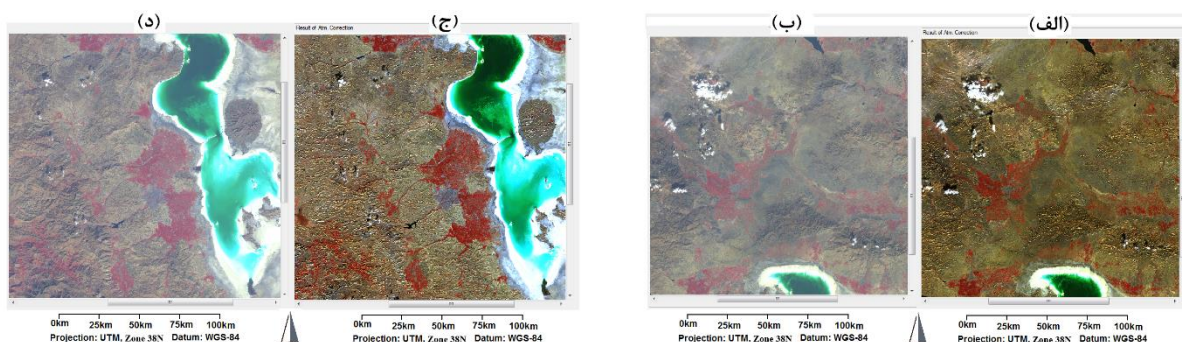
سپس با استفاده از نرم افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی ATCOR2/3^۱ که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه نویسی زبان تعاملی داده^۲ استوار بوده و از

پایگاه داده مدل‌های انتقال تابش MODTRAN-5^۳ استفاده می‌کند [۲۶]، تصحیح اتمسفری و توپوگرافی بر روی تصاویر انجام گرفت.

^۳ MODerate resolution atmospheric TRANsmission

^۱ Atmospheric/topographic correction

^۲ Interactive Data Language



شکل ۴- تصحیح توپوگرافی و اتمسفری تصاویر: (ب و د) به ترتیب تصاویر اولیه و (الف و ج) تصاویر تصحیح شده

۳-۲- شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی

روش پیشنهادی در این تحقیق، در دو مرحله کلی صورت گرفته است، در مرحله اول، برای محاسبه آنامولی حرارتی، ابتدا از باند حرارتی لندست ۸ استفاده کرده و تصویر دمای سطح، بعنوان دمای مشاهداتی در لحظه تصویربرداری با استفاده از دو الگوریتم محاسبه دما، تولید گردید. از لحاظ تئوری، مناطقی که دارای دمای بالاتر و حداکثری هستند (در این تحقیق دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد) و توسط هر دو الگوریتم مذکور شناسایی گردیدند، می توانند بعنوان مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در نظر گرفته شوند. ولی این حرارت سطح زمین زمانی متعلق به حرارت زمین گرمایی خواهد بود که عوامل دخیل در این حرارت نظیر تشعشعات خورشیدی، مقدار انرژی جذب شده توسط خورشید، اثرات توپوگرافی سطح که باعث جذب بیشتر نور خورشید در سطح زمین می گردد، 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، انرژی خالص هدایت شده به زمین و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح محاسبه گردید. سپس، با ترکیب این لایه های اطلاعاتی با نقشه های حرارتی سطح، نقشه حرارتی تعدیل شده بعنوان 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 مقدار انعکاس تصحیح توپوگرافی و اتمسفری سطح در نظر گرفته شده که اثرات شیب، تغییر شیب و غیره در آن دیده شده است و از طرف دیگر با محاسبه المانهای الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، نظیر مقدار انرژی جذب شده در سطح زمین و

ATCOR2 اشاره به فقط تصحیح اتمسفری دارد و ATCOR3 بیانگر تصحیح اتمسفری توأم با تصحیح توپوگرافی را دارد که با پذیرش مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن این کار را انجام می دهد. پایگاه داده MODTRAN شامل طیف گسترده ای از انتقال تابشی از قبل محاسبه شده برای شرایط مختلف آب و هوایی، زوایای مختلف خورشید و سنجنده تهیه شده است. در نرم افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی (ATCOR) اطلاعات مربوط به سنجنده و تصویر (نظیر زاویه زنیت خورشید و سنجنده در زمان اخذ داده، زاویه سمت^۱ سنجنده و خورشید، تاریخ و زمان اخذ داده، اندازه پیکسل ها و غیره) از متافایل^۲ هر تصویر معرفی می گردد. علاوه بر آن، از الگوریتم پوشش گیاهی متراکم تیره (DDV)^۳ جهت برآورد ضخامت اپتیکی اتمسفری یا پارامتر قابلیت دید استفاده می کند [۲۶] و نوع مدل اتمسفری و آیروسل نیز از روی طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تاریخ اخذ تصاویر تعیین گردید [۲۷، ۲۸] و به نرم افزار ATCOR معرفی شد. همچنین، جهت انجام تصحیح توپوگرافی، ارتفاع متوسط منطقه از مدل رقومی و قدرت تفکیک مکانی آن به همراه مشتقات حاصل از آن به نرم افزار معرفی گردید و نهایتاً تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت. شکل ۴ (الف، ب، ج، د) نمونه ای از این تصحیحات را در قسمتی از تصاویر نشان می دهد. با تصحیح توپوگرافی و اتمسفری تصاویر منطقه مورد مطالعه، انعکاس در سطح زمین بدست آمد و تمامی محاسبات لازم بر اساس آن صورت گرفت.

^۱ Azimuth angle

^۲ Metafile of image

^۳ Dense dark vegetation (DDV)

$$\varepsilon_i = \begin{cases} a_i + b_i \rho_{red}, & (NDVI) < (NDVI)_{soil} \\ \varepsilon_{soil,i} + (\varepsilon_{veg,i} - \varepsilon_{soil,i}) \times \rho_r, & (NDVI)_{soil} < (NDVI) < (NDVI)_{veg} \\ \varepsilon_{veg,i} = b_{i0} + b_{i1} \times (NDVI), & (NDVI) > (NDVI)_{veg} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن i اشاره به باندهای حرارتی، a_i و b_i ضریب رگرسیون وابسته به باندهای حرارتی می باشد، ρ_{red} انعکاس سطح مربوط به باند قرمز و $NDVI_{soil}$ و $NDVI_{veg}$ به ترتیب مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مربوط به خاک بایر و پوشش گیاهی متراکم می باشند. p_v شاخص کسر پوشش گیاهی، ε_{veg} و ε_{soil} به ترتیب ضریب گسیل پوشش گیاهی و خاک بایر می باشند. همچنین، مناطق آبی در هر تصویر جداگانه فیلتر کرده^۲ و مقادیر ضریب گسیل آب به آنها اختصاص داده شد تا داده های مورد نیاز برای بازیابی درجه حرارت سطح تکمیل گردد.

جدول ۱- محاسبه ضرایب b_{i0} ، b_{i1} ، a_i ، b_i مربوط به معادله ۲

باند	b_{i0}	b_{i1}	a_i	b_i
$i=10$	0.9015	0.1120	0.973	0.047

همچنین شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مورد استفاده در معادله (۱)، بصورت معادله (۲) محاسبه می گردد.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (2)$$

که در آن ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب بازتاب سطح در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می باشد و شاخص کسر پوشش گیاهی بصورت معادله (۳) محاسبه می گردد [۳۰، ۳۱].

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (3)$$

در این معادله $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ بیانگر حداقل و حداکثر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده در تصویر می باشند. در نهایت گسیلمندی سطح زمین برای باند حرارتی ۱۰ لندست ۸ در هر دو تصویر محاسبه گردید. با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح با استفاده از الگوریتم های تک باندی^۳ و دوباندی^۴ قابل محاسبه و

تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، مدل حرارتی حاصل در اثر این عوامل تعدیل گردید. مثلاً اگر در پیکسلی دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده دمای حداکثری را نشان می داد و المانهای موثر الگوریتم سبال هم مقادیر حداکثری در آن پیکسل داشتند یعنی آن دمای حداکثری آن پیکسل ناشی از تشعشعات خورشیدی و مقدار حرارت جذب شده از خورشید تلقی می گردید نه حرارت ناشی از زمین گرمایی و بر عکس، یعنی اگر پیکسلی دمای مشاهداتی حداکثری داشت ولی المانهای موثر الگوریتم سبال هم مقادیر حداقلی در آن پیکسل داشتند، آن پیکسل بعنوان پیکسل مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی گردیده است. با شناسایی همه پیکسلهای مستعد زمین گرمایی، نقشه آنامولی حرارتی منطقه مورد مطالعه تولید و آنالیز و ارزیابی بر روی این نقشه صورت گرفت. جزییات بیشتر از این دو مرحله در زیربخش های ذیل تشریح گردیده است.

۳-۲-۱- شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی با استفاده از دمای مشاهداتی

برای محاسبه دمای سطح و ناهنجاری های آن، ابتدا بایستی گسیلمندی سطح محاسبه گردد. گسیلمندی سطح زمین یکی از پارامترهای اساسی در برآورد دمای سطح می باشد. تغییرات گسیلمندی وابسته به پارامترهای سطح (نظیر بافت، توپوگرافی، رطوبت) و سنجنده (نظیر قدرت تفکیک مکانی، تابع پاسخ طیفی، و طول موج موثر باندها) می باشد. برای تخمین دمای سطح، نیاز به ضریب گسیل اولیه عوارض سطح (بسته به روش تخمین گسیلمندی و نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه) و میزان گسیلمندی سطح زمین می باشد. بمنظور تخمین میزان گسیلمندی در این تحقیق، از روش مبتنی بر اختلاف شاخص گیاهی نرمال شده^۱ استفاده شد. در این تحقیق از روش پیشنهادی [۲۹] مطابق معادله (۲) استفاده شد. در این روش ضریب گسیل هر باند حرارتی می تواند با استفاده از سه تابع خطی، با شرایطی که در یک پیکسل است از جمله اینکه از پوشش گیاهی کامل، یا از خاک کامل و یا از مخلوط خاک / پوشش گیاهی تشکیل شده است، برآورد شود.

^۲ Mask

^۳ Single channel algorithm

^۴ Split windows algorithm

^۱ NDVI Based Emissivity Method

مطابق معادله (۴) و الگوریتم معادله انتقال تشعشع حرارتی استفاده گردید.

• الگوریتم SC^{JM&S}

برای محاسبه دمای سطح در این الگوریتم از رابطه (۴) استفاده می‌شود.

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

در این معادله، T_s دمای سطح زمین به درجه کلون، ε گسیلمندی سطح و بدون واحد می‌باشد، γ پارامتر وابسته به تابع پلانک هست که از معادله (۵) قابل محاسبه هستند ψ_1 ، ψ_2 و ψ_3 به توابع اتمسفری معروفند و از معادله (۶) قابل محاسبه هستند و L_{sen} تابش طیفی دریافتی سنجنده در واحد وات در هر استرادیان در هر متر مربع^۴ است.

$$\gamma = \left\{ \frac{K_2 L_{sen}}{T_{sen}^2} \left[\frac{\lambda_e^4}{K_1} + \lambda_e^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

در معادله (۵)، K_1 و K_2 ضرایب ثابت باندهای حرارتی به ترتیب در واحدهای وات بر متر مربع _میکرومتر و درجه کلون می‌باشند، T_{sen} دمای ظاهری رسیده به سنجنده به درجه کلون، λ_e طول موج موثر باند حرارتی به میکرومتر می‌باشد.

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

در معادله (۶)، τ ضریب عبور اتمسفری به درصد، $L^\uparrow$ و $L^\downarrow$ به ترتیب تابش اتمسفری رو به بالا و رو به پایین که هر دو در واحد وات در هر استرادیان در هر متر مربع می‌باشند. در این تحقیق، توابع اتمسفری مستقیماً از وبسایت محاسبه پارامترهای تصحیح اتمسفری^۵ که توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا، ناسا، برای سنجنده‌های حرارتی لندست توسعه داده شده است، محاسبه گردید که در جدول (۲) نشان داده شده است.

بازیابی است. برای بازیابی و محاسبه دمای سطح توسط داده های لندست روشهای مختلفی ارائه شده است. [۳۲، ۳۳] ماهواره های لندست ۴ و ۵ و ۷ تنها یک باند مادون قرمز حرارتی دارند، لذا از الگوریتم های تک باندی در این زمینه استفاده شده است. سابرنو^۱ در یک مقاله در سال ۲۰۰۴ سه روش اصلی را برای تعیین دمای سطح از یک باند حرارتی، مقایسه کرده است: الف- معادله انتقال تشعشع حرارتی^۲ ب- الگوریتم کوئین و همکاران ج- الگوریتم سابرنو-جیمز [۳۴]. الگوریتم سابرنو-جیمز در بخار آب کم، مابین ۰.۵ الی ۲ گرم بر سانتیمتر مربع، با خطای زیر یک درجه کلون می تواند دمای سطح زمین را بازیابی کند [۳۴]. در مقایسه با ماهواره های قبلی، لندست ۸ دارای ۲ باند حرارتی می باشد که می توان از الگوریتم پنجره مجزا نیز برای بازیابی دمای سطح زمین استفاده نمود. با اینکه در الگوریتم دو باندی، استفاده از دو باند حرارتی مجاور هم، باعث به حداقل رسیدن خطا در بازیابی دمای سطح می گردد [۳۵]. ولی بدلیل اینکه باند ۱۱ حرارتی لندست ۸ دارای بایاس و خطای بزرگ در محاسبه دماست [۳۶] و هنوز هم تحت کالیبراسیون می‌باشد و به پیشنهاد سازمان زمین شناسی ایالات متحده، امکان استفاده از الگوریتم دو باندی حرارتی در محاسبه دمای سطح نیست. از این رو ناچار به استفاده از الگوریتم های تک باندی یعنی فقط باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ هستیم. لازم به توضیح است که برخی مولفین [۳۷، ۳۸] با استفاده از داده‌های زمینی، مشخصات باندهای حرارتی سنجنده ۸ و مدل انتقال حرارتی MODTRAN و پایگاه داده TIGR^۳ الگوریتم دو باندی برای این سنجنده توسعه دادند. ولی در عمل مطالعات مختلف نشان دادند که باند ۱۱ حرارتی لندست ۸ دارای بایاس و خطای بزرگ در محاسبه دماست [۳۶، ۳۹]. بر این اساس سازمان زمین شناسی ایالات متحده، استفاده از الگوریتم دو باندی در داده های لندست ۸ را توصیه نکرده است. بدیهی است در صورت استفاده از الگوریتم دو باندی بر کلیت روش پیشنهادی ایرادی نخواهد داشت. همچنین محققانی نشان دادند که در بخار آب کم نتایج الگوریتم های تک باندی و دوباندی یکسان بوده و تفاوتی ندارد [۴۰، ۴۱]. لذا در این تحقیق از روش تک باندی SC^{JM&S} [۴۱]

^۴ watt per steradian per square metre
^۵ Atmospheric Correction Parameter Calculator
^۶ National Aeronautics and Space Administration

^۱ Sobrino
^۲ Radiative transfer equation (RTE)
^۳ Thermodynamic Initial Guess Retrieval (TIGR)

جدول ۲- پارامترهای تصحیح اتمسفری منطقه مورد مطالعه

تصویر	τ	$L^{\downarrow}$	$L^{\uparrow}$	بخار آب
169-33	0.83	1.29	2.14	0.96
169-34	0.83	1.23	2.05	0.96

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

• الگوریتم معادله انتقال تشعشع حرارتی

الگوریتم تک بانندی توسط آرتیس و کارناهان در سال ۱۹۸۲ پیشنهاد شد که به حداقل پارامترها برای بازیابی دما در مقایسه با دیگر الگوریتمهای تک بانندی نیاز دارد و از معادله (۷) برای محاسبه دمای سطح زمین استفاده می کند.

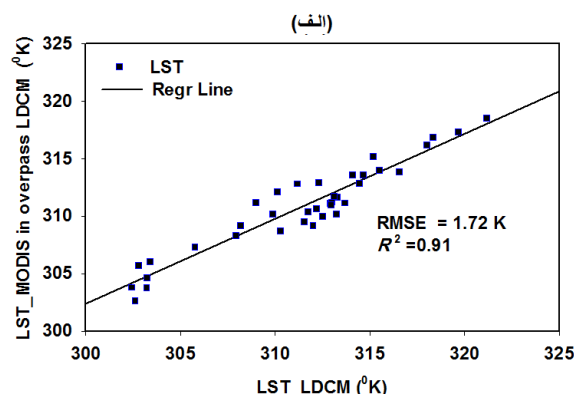
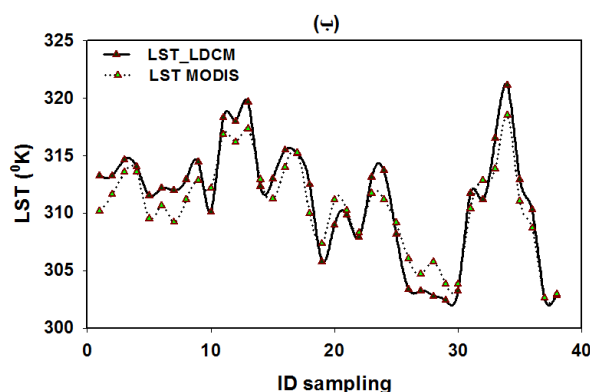
$$T_s = \frac{T_{sen}}{1 + \left(\frac{\lambda \times T_{sen}}{\rho} \right) \ln \varepsilon} \quad (7)$$

λ طول موج بازتابشی برحسب میکرو متر و مقدار ρ از رابطه $\rho = (h \times c) \div j$ محاسبه می شود. که $h = 6.626 \times 10^{-34} Js$ ثابت پلانک و $c = 2.998 \times 10^8 m/s$

سرعت نور و $j = 1.38 \times 10^{-23} J/K$ ثابت بولتزمن می باشد. و T_{sen} دما ظاهری یا دما در سطح سنجنده به کلون بوده و از معادله (۸) بدست می آید [۴۲].

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln \left(1 + \frac{K_1}{L_{sen}} \right)} \quad (8)$$

برای باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ مقادیر ثابتهای حرارتی برابر $K_1 = 774.88530 Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ و $K_2 = 1321.0789 Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ می باشند. با استفاده از دو الگوریتم مذکور دمای سطح بازیابی شد. سپس جهت اعتبارسنجی دمای حاصل در این تحقیق، با محصول دمای سنجندهای مادیس (ترا و آکوا) بر اساس روش پیشنهادی [۴۳] مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق روش پیشنهادی آنها انطباق قدرت تفکیک مکانی - طیفی و زمانی انجام گرفت و بعد از دوباره نمونه برداری کردن پیکسلهای ۱۰۰ متری لندست ۸ به یک کیلومتری این مقایسه انجام گرفت. شکل (۵ الف و ب) مقایسه دمای حاصل را در مناطق همگن نشان می دهد.



شکل ۵- مقایسه دمای حاصل از لندست ۸ از الگوریتم سیرینو در مناطق همگن با محصول دمای مادیس: (الف) مقایسه با پارامترهای آماری با ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب تعیین (R^2), (ب) مقایسه نقطه به نقطه

الگوریتم سبال^۱ معروف است، استفاده می شود [۲۰]، که در بخش بعدی به تفصیل تشریح گردیده است.

۳-۲-۲- تولید مدل حرارتی تعدیل شده با استفاده از دمای مشاهداتی و الگوریتم توازن انرژی در سطح

الگوریتم سبال یکی از مدلهای کاربردی می باشد که از ۲۵ زیر مدل مختلف تشکیل شده است و قادر است

بدیهی است دمای مشاهداتی حاصل، ترکیبی از جذب و تشعشعات خورشیدی و گرمای داخلی زمین است. لذا بایستی اثر جذب و تشعشعات خورشیدی را از دمای مشاهداتی حذف و یا به حداقل رساند و به آنامولی حرارتی واقعی سطح رسید. در این تحقیق، با به حداقل رساندن جذب و تشعشعات خورشیدی در هر پیکسل به دمای تعدیل شده مدلی می رسیم. برای رسیدن به دمای تعدیل شده مدلی، از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین که به

^۱ Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

متغیرها و فلوهای انرژی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند [۴۴، ۴۵]. معادله (۹) شکل عمومی این الگوریتم را نشان می دهد.

$$R_n = H + G + LE \quad (9)$$

در معادله (۹) R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، H جریان گرمای محسوس میان سطح زمین و لایه پایین اتمسفر، λE مقدار جریان گرمای نهان مابین سطح و اتمسفر به علت عمل تبخیر و G توصیفگر جریان گرمایی مابین لایه های مختلف خاک یا بعبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین است. برای مناطق با ویژگیهای آب و هوایی مشابه می توان مقدار H, LE را بدون تغییر در نظر گرفت. بنابراین G پارامتر مؤثر در تعیین دمای سطح و ناهنجاری های دمایی می باشد. پدیده های داخل زمین بصورت رسانای حرارتی عمل می کند و انرژی هسته مرکزی را به لایه های نزدیک سطح زمین انتقال می دهد. که می توان از رابطه (۱۰) برای توصیف آن استفاده نمود [۴۶].

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

در معادله (۱۰) T دما و K ضریب رسانش حرارتی داخل زمین و A مقدار گرمای انتقال یافته می باشد. 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 تأثیر گذار هستند [۴۷]. بنابراین بطور کلی می توان 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 می باشد. همچنین، الگوریتم سبال قادر است فلوهای انرژیهای گرمایی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند. بعبارتی، معادله عمومی (۹) را می توان به عنوان مجموع سه جزء تابش دیگر بصورت معادله (۱۱) بیان کرد [۴۸].

$$R_n = R_{solar} + R_{atm} - R_{surface} \quad (11)$$

که در آن R_{solar} تابش جذب خورشیدی است در موج کوتاه (۳ تا ۳ میکرون)، R_{atm} تابش طول موج بلند (۳ تا ۱۴ میکرومتر) ساطع شده از جو نسبت به سطح است و $R_{surface}$ تابش ساطع شده از سطح به جو زمین است. جدول (۳) خلاصه ای از روابط ذکر شده در محاسبه المانهای الگوریتم سبال را بیان کرده است. و در ادامه جزئیات بیشتری از نحوه محاسبه این معادلات به همراه پارامترهای آن بیان کرده است.

جدول ۳- خلاصه ای از روابط ذکر شده در محاسبه المانهای الگوریتم سبال

شماره معادله	توضیحات	معادله
(۱۱)	R_{solar} تابش جذب خورشیدی، $R_{surface}$ تابش ساطع شده از سطح به جو زمین، R_{atm} تابش ساطع شده از جو نسبت به سطح و R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین	$R_n = R_{solar} + R_{atm} - R_{surface}$
(۱۲)	$\rho(\lambda)$ انعکاس در سطح زمین، $\{1 - \rho(\lambda)\}$ کسری از تابش جذب شده در سطح زمین و $E_g(\lambda)$ تشعشع کلی در سطح زمین قابل محاسبه از آلبدو سطح	$R_{solar} = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} \{1 - \rho(\lambda)\} E_g(\lambda) d\lambda$
(۱۳)	$E_g(\lambda)$ تشعشع کلی در سطح زمین قابل محاسبه از آلبدو سطح	$E_g = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} E_g(\lambda) d\lambda$
(۱۴)	ϵ_s گسیلمندی سطح، σ ثابت استفان-بولتزمن و T_s دمای سطح	$R_{surface} = \epsilon_s \sigma T_s^4$
(۱۵)	ϵ_a گسیلمندی هوا، T_a دمای هوای نزدیک سطح زمین (۲ متر بالاتر از زمین) و σ ثابت استفان-بولتزمن	$R_{atm} = \epsilon_a \sigma T_a^4$
(۱۶)	ϵ_a گسیلمندی هوا، T_a دمای هوای نزدیک سطح زمین	$\epsilon_a = 1 - 0.261 \exp\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\}$
(۱۷)	G انرژی خالص هدایت شده به زمین، R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، $SAVI$ شاخص پوشش گیاهی و $SAVI_m$ حداکثر مقدار پوشش گیاهی متراکم	$G = 0.4 R_n \left(\frac{SAVI_m - SAVI}{SAVI_m} \right)$
(۱۸)	ρ_{650} و ρ_{850} به ترتیب انعکاس در باند های قرمز و مادون قرمز نزدیک است	$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{650}) \times 1.5}{(\rho_{850} + \rho_{650} + 0.5)}$

$$\varepsilon_a = 1 - 0.261 \exp\{-7.77 \times 10^{-4} (273 - T_a)^2\} \quad (۱۶)$$

با محاسبه کمیت های R_{solar} جذب تابش خورشیدی، $R_{surface}$ تابش ساطع شده از جو نسبت به سطح و R_n تابش ساطع شده از سطح به جو زمین، مقادیر H ، جریان تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، گرمای محسوس میان سطح زمین و لایه پایین اتمسفر، و G توصیفگر جریان گرمایی مابین لایه های مختلف خاک یا بعبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین در معادله (۱۷) قابل محاسبه است [۴۸].

$$G = 0.4 R_n \left(\frac{SAVI_m - SAVI}{SAVI_m} \right) \quad (۱۷)$$

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

$$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{650}) \times 1.5}{(\rho_{850} + \rho_{650} + 0.5)} \quad (۱۸)$$

ρ_{850} و ρ_{650} به ترتیب انعکاس در باند های 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 جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar}) محاسبه گردید. این فلوهای گرمایی در شکل (۸ الف، ب و ج) نشان داده شده است.

تابش جذب خورشیدی می تواند بصورت معادله (۱۲) محاسبه گردد [۴۸].

$$R_{solar} = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} \{1 - \rho(\lambda)\} E_g(\lambda) d\lambda \quad (۱۲)$$

که در آن $\rho(\lambda)$ انعکاس سطح زمین است، $\{1 - \rho(\lambda)\}$ کسری از تابش جذب شده است و $E_g(\lambda)$ تشعشع کلی بر روی سطح زمین است که از روی آلبندو سطح بصورت معادله (۱۳) قابل محاسبه است [۴۸].

$$E_g = \int_{0.3\mu m}^{2.5\mu m} E_g(\lambda) d\lambda \quad (۱۳)$$

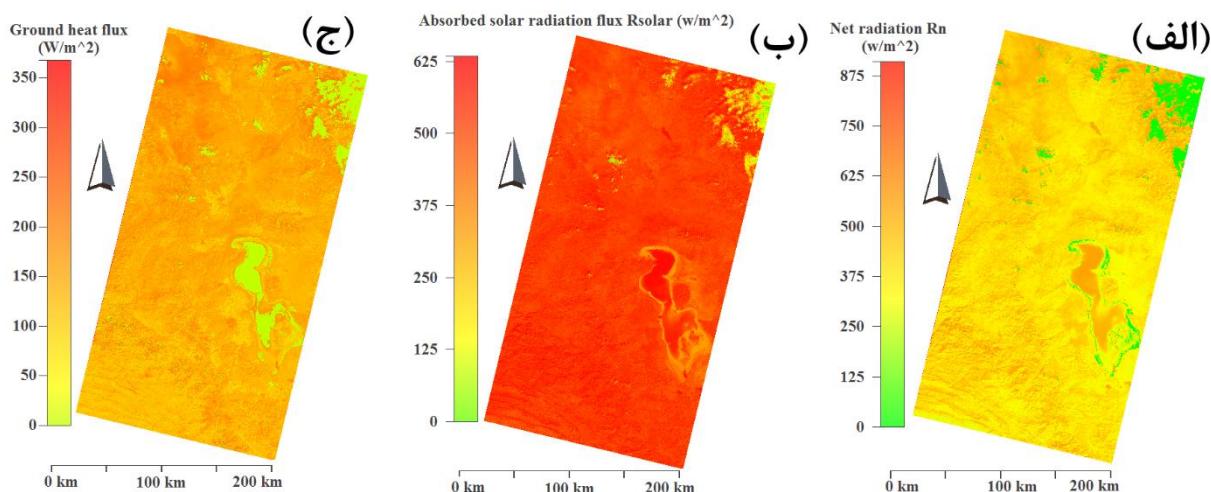
همچنین تابش ساطع شده از سطح به جو زمین به صورت معادله (۱۴) محاسبه می گردد [۴۸].

$$R_{surface} = \varepsilon_s \sigma T_s^4 \quad (۱۴)$$

که ε_s گسیلمندی سطح است، σ ثابت استفان-بولتزمن است و T_s دمای سطح است. همچنین تابش جوی (R_{atm}) ساطع شده از جو به سمت زمین می تواند بصورت معادله (۱۵) نوشته شود [۴۸].

$$R_{atm} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (۱۵)$$

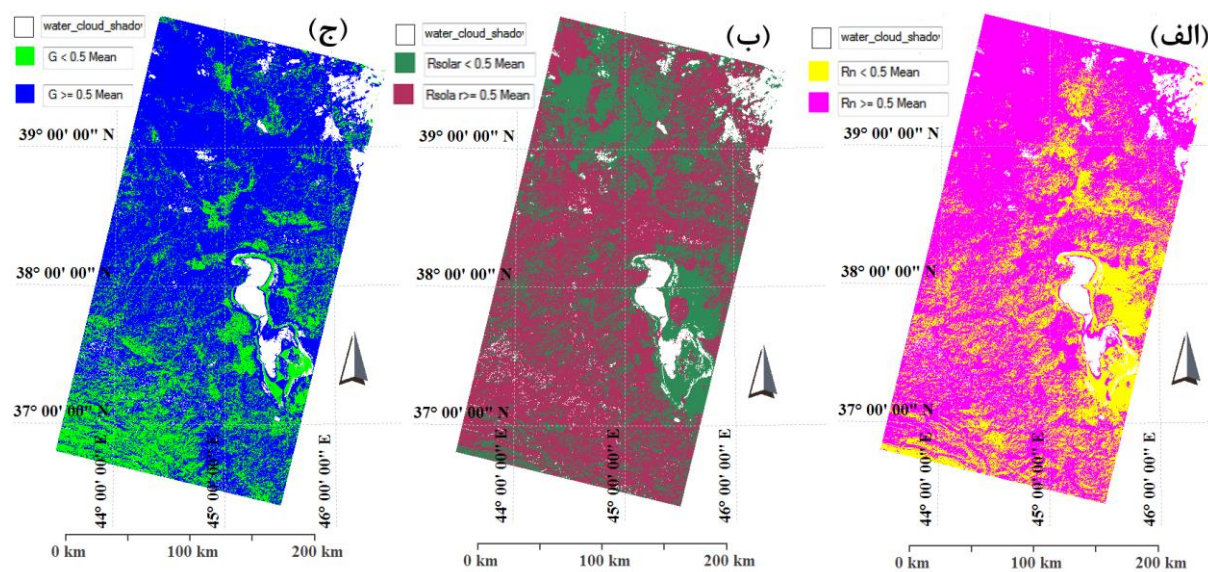
که ε_a گسیلمندی هوا است، T_a دمای هوای نزدیک سطح زمین (۲ متر بالاتر از زمین)، σ ثابت استفان-بولتزمن است. گسیلمندی هوا از روی دمای متوسط هوا و از طریق معادله (۱۶) قابل محاسبه است [۴۸].



شکل ۸- فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال: (الف) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، (ب) مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح و (ج) انرژی خالص هدایت شده به زمین

این فلوهای گرمایی و حرارتی با استفاده از حد آستانه حداقل نصف میانگین به سه کلاس مختلف تقسیم بندی

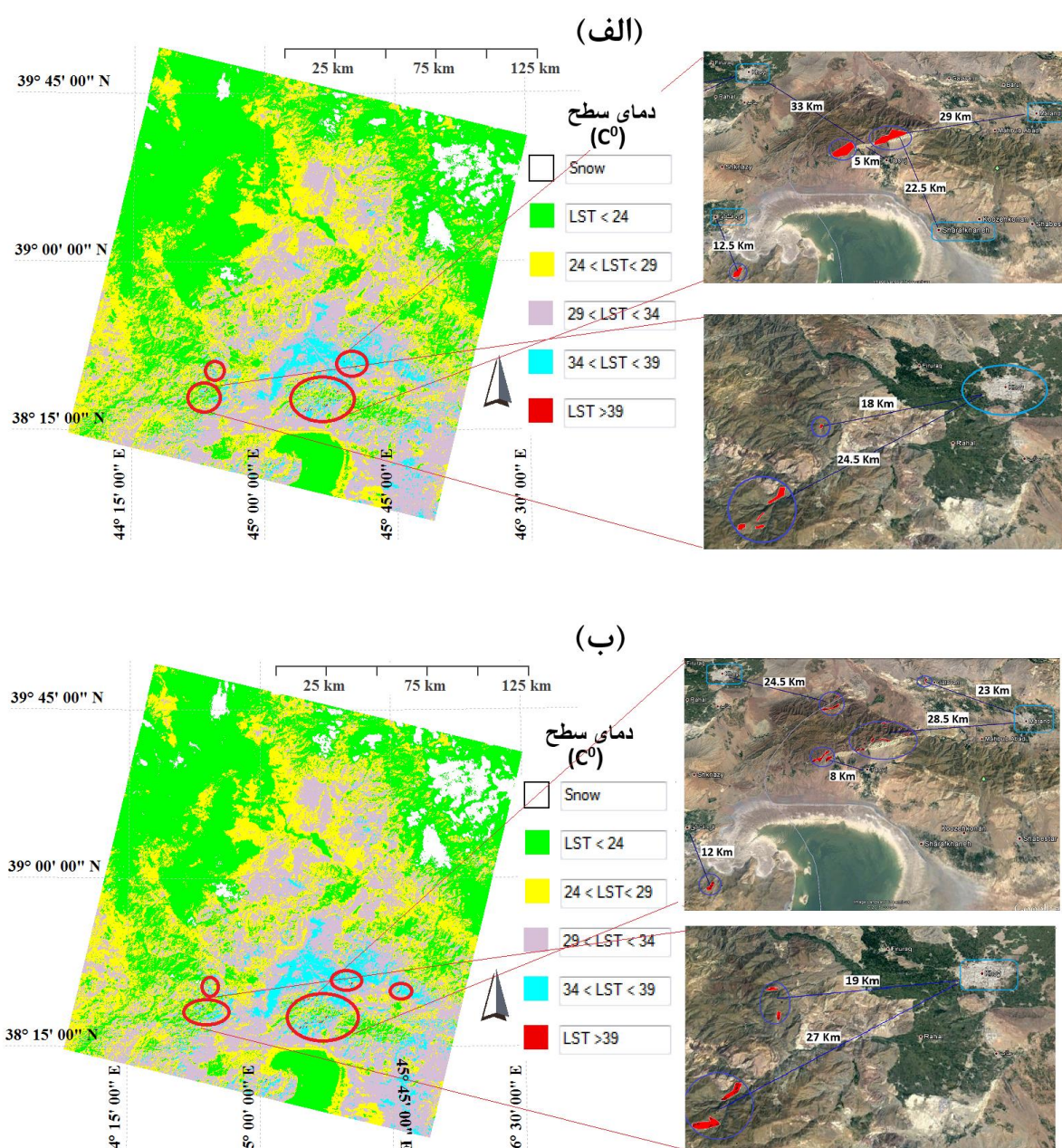
شدند. این کلاس بندی در شکل (۹ الف، ب و ج) نشان داده شده است.



شکل ۹- کلاس بندی فلوهای گرمایی حاصل از الگوریتم سبال: (الف) مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (ب) مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح و (ج) انرژی خالص هدایت شده به زمین

حال با داشتن نقشه مشاهداتی دمای سطح و همچنین نقشه های حاصل از الگوریتم سبال که شامل نقشه مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح، انرژی خالص هدایت شده به زمین و نقشه مقدار تابش جذب شده خورشیدی، با ترکیب این نقشه ها، مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند. روند کار به این صورت بوده است که در ترکیب این لایه ها، فصل مشترک بین حداکثر مقدار دمای مشاهداتی سطح و حداقل مقدار فلوهای گرمایی و جذبی حاصل از الگوریتم سبال، بعنوان مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند. چون هدف تعیین انرژی زمین گرمایی بود سعی بر این شد که اثر فلوهای گرمایی و جذبی ناشی از نور خورشید در تعیین این مناطق حداقل مقدار باشد و آنامولی دمای سطح ناشی از فعل و انفعالات گرمای درون زمین باشد. مثلاً اگر در پیکسلی دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده دمای حداکثری را نشان می داد و المانهای موثر الگوریتم سبال هم مقادیر حداکثری در آن پیکسل داشتند یعنی آن دمای حداکثری آن پیکسل ناشی از تشعشعات خورشیدی و مقدار حرارت جذب شده از خورشید تلقی می گردید نه حرارت ناشی از زمین گرمایی و بر عکس، یعنی اگر پیکسلی دمای

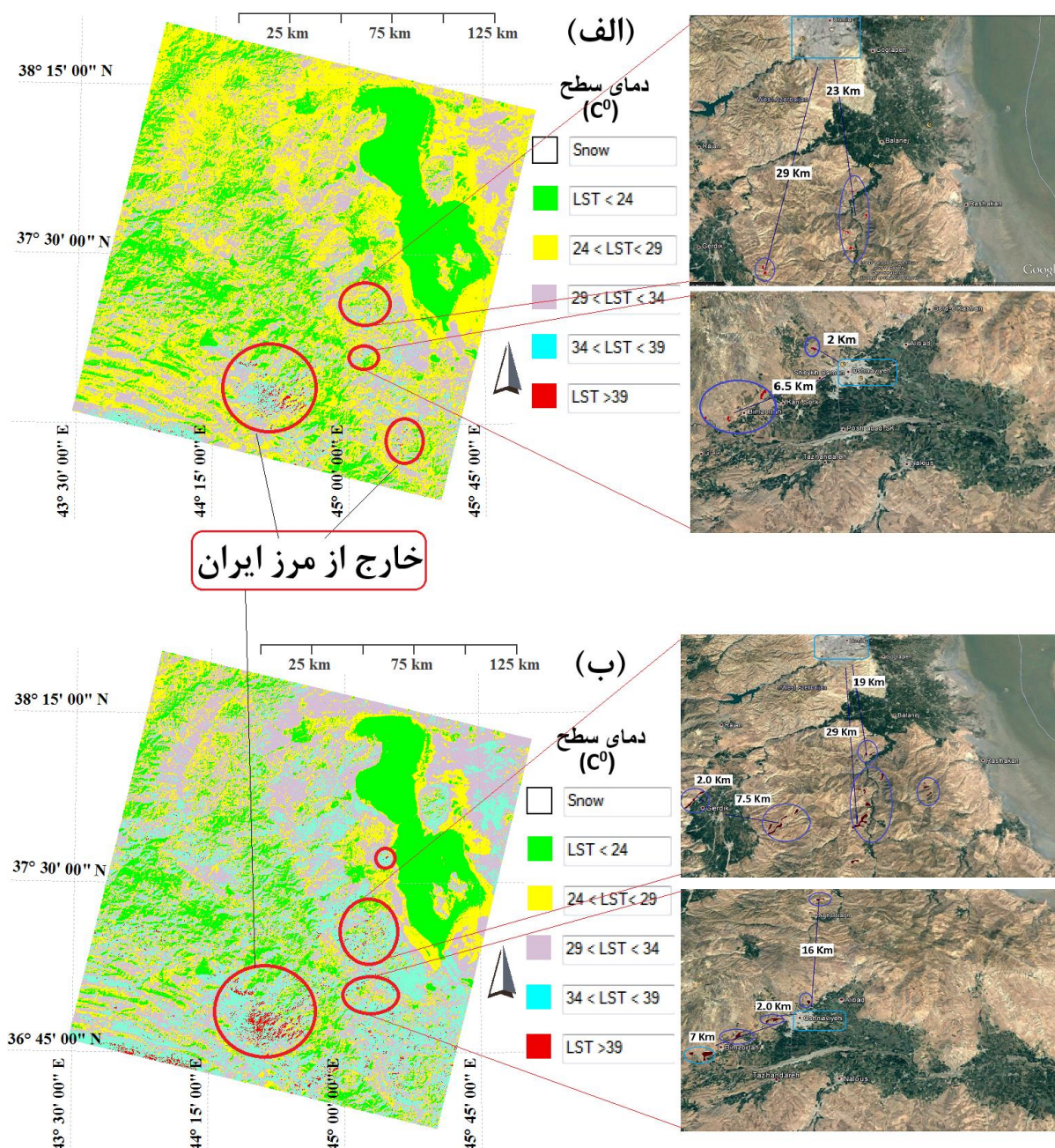
مشاهداتی حداکثری داشت ولی المانهای موثر الگوریتم سبال هم مقادیر حداقلی در آن پیکسل داشتند، آن پیکسل بعنوان پیکسل مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی گردیده است. به این ترتیب مناطق دارای آنامولی حرارتی ناشی از فعل و انفعال های درون زمین تعیین گردد و با شناسایی همه پیکسلهای مستعد زمین گرمایی، نقشه آنامولی حرارتی منطقه مورد مطالعه تولید و آنالیز و ارزیابی بر روی این نقشه صورت گرفت. لذا، برای تهیه نقشه آنامولی حرارتی، نتایج آنامولی حرارتی حاصل از ترکیب روش های RTE و SC^{JM&S} با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال، در تصویر بررسی اول به ترتیب در شکل (۶ الف و ب) نشان داده شده است. همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود، برخی مناطق توسط هر دو روش شناسایی شده اند. از جمله می توان به منطقه مابین شهر مرنند و تسوج و منطقه مابین خوی و قطور و منطقه قره باغ در فاصله ۲۳ کیلومتری از سلماس و ۱۲ کیلومتری قره قشلاق اشاره نمود. لازم به ذکر است که در منطقه قطور و قره باغ چشمه آبگرم طبیعی نیز وجود دارد که از نشانه های ظاهری وجود منابع انرژی زمین گرمایی در این منطقه می باشد.



شکل ۶- نقشه آنالولی حرارتی و مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در تصویر بررسی اول، (الف) ترکیب روش RTE با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال و (ب) ترکیب روش SC^{JM&S} با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال

گرمایی تشخیص داده شده اند. یک منطقه در جنوب ارومیه در فاصله حدود ۲۷ کیلومتری و یک منطقه در غرب اشنویه در فاصله ۲ کیلومتری دارای ناهنجاریهای دمایی مشاهده می شود.

نتایج آنالولی حرارتی حاصل از ترکیب روش های RTE و SC^{JM&S} با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال، در تصویر بررسی دوم به ترتیب در شکل (الف و ب) نشان داده شده است. مطابق شکل (الف و ب) برخی مناطق توسط هر دو روش، مناطق مستعد انرژی زمین



شکل ۷- نقشه آنالوژی حرارتی و مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در تصویر بررسی دوم، (الف) ترکیب روش RTE با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال و (ب) ترکیب روش $SC^{JM\&S}$ با فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال

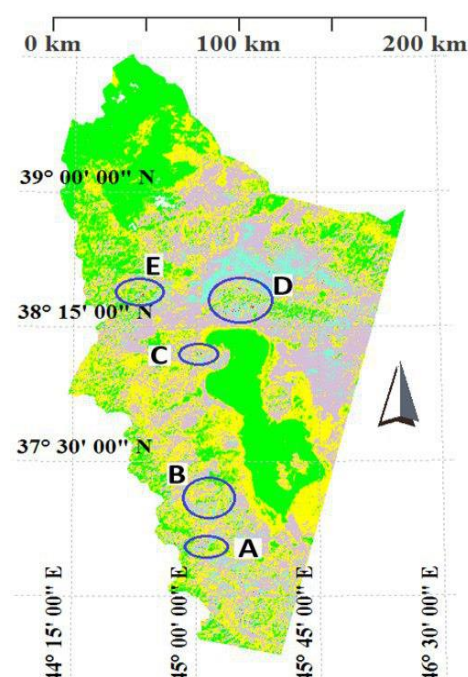
۴- نتایج و بحث

و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar})، شناسایی مناطق نهایی مستعد وجود منابع انرژی زمین گرمایی مشخص گردید. این فلوهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال، تاثیرات حرارتی ناشی از خورشید را در هر پیکسل دمای مشاهداتی مدلسازی کرده و اثرات آنرا به حداقل رساند. در این ترکیب، هر پیکسلی با دمای مشاهداتی حداکثر و فلوهای گرمایی و حرارتی حداقل، بعنوان مناطق مستعد وجود منابع انرژی زمین گرمایی انتخاب شدند. بر این اساس، مناطق نهایی که مستعد

هدف از این پژوهش، شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی با ترکیب دمای حرارتی سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال با استفاده از سنجش از دور بود. با ترکیب نقشه مشاهداتی دمای سطح حاصل از سنجنده با فلوهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم سبال که شامل مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین (R_n)، انرژی خالص هدایت شده به زمین (G)

مطالعه شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی با ترکیب دمای مشاهداتی سطح و فلوهای انرژی حاصل از روش سبال با استفاده از داده‌های لندست ۸ در شمال غرب کشور مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. برای این منظور و به دلیل حداقل بودن اثر تشعشعات خورشیدی، دو تصویر از داده‌های لندست ۸ به تاریخ ۱۳ اکتبر ۲۰۱۶ مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از دو الگوریتم تک باندی محاسبه دما، معادله انتقال تشعشع حرارتی و الگوریتم جیمز - سوپرینو، نقشه دمای مشاهداتی سطح زمین مشخص گردید. بدیهی است دمای مشاهداتی سطح زمین، معمولاً ناشی از ترکیب تشعشعات خورشیدی و گرمای داخلی زمین می‌باشد و در مناطقی که دمای داخلی سطح زمین بیشتر است، باعث تغییرات غیر عادی دمای سطح زمین نیز می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، مناطقی که دمای بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد را دارا بودند و توسط هر دو الگوریتم مذکور شناسایی گردیدند، از لحاظ تئوری در وهله اول بعنوان مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی در نظر گرفته شدند. برای به حداقل رساندن اثرات گرمایی و حرارتی خورشید، در منطقه مورد مطالعه، با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال)، مقدار تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، مقدار انرژی خالص هدایت شده به زمین و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح محاسبه گردیدند. با ارزیابی و ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی با دمای مشاهداتی سطح، مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی شناسایی و تعیین گردیدند. نتایج نشان داد که مناطقی مابین شهرهای مرند و تسوج و همچنین مابین شهرهای خوی و قطور مناطق مستعد زمین گرمایی سطحی می‌باشد که وجود آبگرم طبیعی در منطقه قطور احتمال وجود منابع زمین گرمایی را افزایش داده و موعید این مطلب می‌باشد. شکل (۱۱) وجود برخی آبگرم‌های و چشمه‌های گرم طبیعی را نمایش می‌دهد.

وجود منابع انرژی زمین گرمایی هستند، شامل پنج منطقه اصلی تعیین شدند که با حروف A تا E نمایش داده شده است. منطقه A: در فاصله ۲ کیلومتری غرب اشنویه، منطقه B: در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب ارومیه، منطقه C: در فاصله ۲۳ کیلومتری جنوب شرقی سلماس، منطقه D: در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی خوی و منطقه E: در فاصله ۲۵ کیلومتری غرب مرند و ۲۸ کیلومتری جنوب غربی خوی و ۲۴ کیلومتری شرق قطور می‌باشند. این پنج منطقه اصلی شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰- پنج منطقه اصلی شناسایی مناطق مستعد وجود منابع انرژی زمین گرمایی

منطقه شمال غرب ایران به دلیل سردسیر بودن یکی از محل‌های پرمصرف انرژی می‌باشد که می‌توان قسمت بیشتری از انرژی مورد نیاز این مناطق را از طریق انرژی زمین گرمایی تأمین نمود. در این میان نقش مدیران و برنامه ریزان ایجاد می‌کند تا با برنامه ریزی و سرمایه گذاری در استحصال انرژی پاک، برای جامعه محیط زیست سالم و توسعه پایدار را تأمین نمایند. هدف این



شکل ۱۱- وجود برخی آبگرم های و چشمه های گرم طبیعی در منطقه مورد مطالعه (اقتباس از گوگل ارث)

در این پژوهش، علیرغم حذف و کم کردن اثر توپوگرافی و اتمسفر و تشعشعات خورشیدی در شناسایی، مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی را از منظر فناوری سنجش از دور پرداخته است. بدیهی است برای بالابردن ضریب اطمینان در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی، لازم است نتایج به دست آمده از این تحقیق با لایه های اطلاعاتی دیگر مانند ژئوفیزیک، زمین شناسی و ژئوشیمی نیز تلفیق و در مطالعات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

همچنین، نتایج مشابه، در مناطقی از جنوب شهر ارومیه و غرب شهر اشنویه حاصل گردید. این مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی، حداکثر فاصله ای که از محل مصرف انرژی (شهرهای ارومیه، خوی، مرند، تسوج، شرفخانه و اشنویه) دارند، برابر ۳۰ کیلومتر می باشد که از لحاظ اقتصادی قابل توجیه بوده و می توانند بخش عظیمی از انرژی مصرفی را در صنعت و مصارف خانگی شهرها تأمین نموده و محیط زیست سالم و پاک را به ارمغان بیاورد.

مراجع

- [1] Ahmadi, H., J. Morshidi, and F. Azimi., "SITE SELECTION OF SOLAR POWER PLANT USING CLIMATIC DATA AND GEOSPATIAL INFORMATION SYSTEM (CASE STUDY: ILAM PROVINCE)." JOURNAL OF RS AND GIS FOR NATURAL RESOURCES, (2016), pp. 41-57 (7).
- [2] Mousavi-shafaei, S.M., Noorollahi, Y., Soltaninejad, A., Ghayahbashi, A.R., Yousef, H., Rezayan, A.H., "Environmental quality advancements with challenges and barriers management of renewable energy development in Iran", Journal of Environmental Science and Technology (JEST), (2016), pp.167-180 (18).
- [3] Spatial fit analysis for the construction of solar power plants using GIS and AHP method (Case of Khuzestan Province), Third Conference on Renewable Energy and distributed generation, Iran, pp.1-6, (2013).
- [4] Noorollahi, Y., Yousef, H., Rezayan, A.H., FarabiAsl, H., "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, (2016).
- [5] Taherifard, A., Shahab, M., "Investigating the Technical-Economic Aspects of Geothermal Power Generation, Case Study: Meshkin Shahr Geothermal Power Plant", Energy Economics Journal, pp.31-39, (125,126), (2010)
- [6] J. W. Lund, D. H. Freeston, and T. L. Boyd, "Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review," Geothermics, vol. 34, pp. 691-727, 2005.
- [7] M. Asif and T. Muneer, "Energy supply, its demand and security issues for developed and emerging economies," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 11, pp. 1388-1413, 2007.

- [8] A. Holm, L. Blodgett, D. Jennejohn, and K. Gawell, "Geothermal energy: international market update," Geothermal energy association, vol. 7, 2010.
- [9] Magbali, H., Matali, M., Mirashraphi, V.S., "Geothermal energy in Iran, the world, and the design of a geothermal power plant in the city of Mahallat district of the central province.", The scientific conference of specialized renewable energy, clean and efficient, Tehran - Kimia Energy Co. (2015).
- [10] Kiavarz Moghaddam M. "Land Surface Thermal Anomaly Detection Based on Satellite Thermal Band Normalization", Journal of Geomatics Science and Technology, (JGST). (2017), pp.55-65, (0).
- [11] M. Eneva, M. Coolbaugh, S. C. Bjornstad, and J. Combs, "In search for thermal anomalies in the coso geothermal field (California) using remote sensing and field data," in Thirty-second workshop on geothermal reservoir engineering. Stanford University, Stanford, 2007.
- [12] S. L. Savage, R. L. Lawrence, S. G. Custer, J. T. Jewett, S. L. Powell, and J. A. Shaw, "Review of alternative methods for estimating terrestrial emittance and geothermal heat flux for Yellowstone National Park using landsat imagery," GIScience & Remote Sensing, vol. 47, pp. 460-479, 2010.
- [13] Sadeghi, H., Khaksar Astaneh, S, "Provide an Optimum Model for Renewable Energy Development in Iran; Robust Optimization Approach", pp.159-195. 3-(11).
- [14] Matin, S., Karimzadeh, M., Gasabi, P., "Applications and advantages of thermal energy", Second National Clean Energy Conference, Hamadan City, Iran, (2013).
- [15] Motahar, S., Rajabi, A.A., "Renewable energy education in Iran", Iranian Journal of Engineering Education ISSN 1607-2316, pp.77-90, (2016), 18-(69),
- [16] Manzoor, D., Rahimi, A., "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" pp. 191-215 (4), (2015).
- [17] Razagi, A., "Geothermal energy and its applications", Science Cultivation (Journal), (2011), pp.1-6.
- [18] H. Yousefi, S. Ehara, and Y. Noorollahi, "Geothermal potential site selection using GIS in Iran," in Proceedings of the 32nd workshop on geothermal reservoir engineering, Stanford University, Stanford, California, 2007, pp. 174-82.
- [19] C. Haselwimmer and A. Prakash, "Thermal infrared remote sensing of geothermal systems," in Thermal Infrared Remote Sensing, ed: Springer, 2013, pp. 453-473.
- [20] Q. Qin, N. Zhang, P. Nan, and L. Chai, "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, vol. 13, pp. 552-559, 2011.
- [21] H. Tang and Z.-L. Li, Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications: Springer Science & Business Media, 2014.
- [22] F. van der Meer, C. Hecker, F. van Ruitenbeek, H. van der Werff, C. de Wijkerslooth, and C. Wechsler, "Geologic remote sensing for geothermal exploration: A review," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 33, pp. 255-269, 2014.
- [23] M. B. Mia, J. Nishijima, and Y. Fujimitsu, "Exploration and monitoring geothermal activity using Landsat ETM+ images: A case study at Aso volcanic area in Japan," Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 275, pp. 14-21, 2014.
- [24] Ahmadi zade, S., et al, "Identification of Geothermal Potential Using Thermal Remote sensing Method in South Khorasan", Environmental researches, pp. 135-144, 5(10), (2014).
- [25] AlaviPanah, S., "Application of Thermal Remote sensing in Environmental Studies", Volume 30, Issue 34 - Serial Number 504, (2004).
- [26] R. Richter and D. Schl pfer, "Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014)," ed, 2013.
- [27] T. Cooley, G. Anderson, G. Felde, M. Hoke, A. Ratkowski, J. Chetwynd, et al., "FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International, 2002, pp. 1414-1418.
- [28] F. U. s. Guide, "ENVI FLAASH Version 4.1, September, 2004 Edition, Research Systems," ed: Inc, 2004.
- [29] H. Emami, B. Mojaradi, and A. Safari, "A new approach for land surface emissivity estimation using LDCM data in semi-arid areas: exploitation of the ASTER spectral library data set," International Journal of Remote Sensing, vol. 37, pp. 5060-5085, 2016.
- [30] E. Valor and V. Caselles, "Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas," Remote sensing of Environment, vol. 57, pp. 167-184, 1996.

- [31] J. Sobrino and N. Raissouni, "Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, pp. 353-366, 2000.
- [32] M. Cook, J. R. Schott, J. Mandel, and N. Raqueno, "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*, vol. 6, pp. 11244-11266, 2014.
- [33] Q. Weng and P. Fu, "Modeling annual parameters of clear-sky land surface temperature variations and evaluating the impact of cloud cover using time series of Landsat TIR data," *Remote Sensing of Environment*, vol. 140, pp. 267-278, 2014.
- [34] J. A. Sobrino, J. C. Jiménez-Muñoz, and L. Paolini, "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5," *Remote Sensing of environment*, vol. 90, pp. 434-440, 2004.
- [35] O. Rozenstein, Z. Qin, Y. Derimian, and A. Karnieli, "Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm," *Sensors*, vol. 14, pp. 5768-5780, 2014.
- [36] J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook, N. G. Raqueno, B. L. Markham, and R. G. Radocinski, "Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration," *Remote Sensing*, vol. 6, pp. 11607-11626, 2014.
- [37] J. C. Jimenez-Munoz, J. Sobrino, D. Skokovic, C. Mattar, and J. Cristobal, "Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data," *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE, vol. 11, pp. 1840-1843, 2014.
- [38] C. Du, H. Ren, Q. Qin, J. Meng, and J. Li, "Split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 TIRS data," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2014 IEEE International, 2014, pp. 3578-3581.
- [39] C. Du, H. Ren, Q. Qin, J. Meng, and S. Zhao, "A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 data," *Remote Sensing*, vol. 7, pp. 647-665, 2015.
- [40] J. Sobrino, J. Jiménez-Muñoz, G. Sòria, M. Gómez, A. B. Ortiz, M. Romaguera, et al., "Thermal remote sensing in the framework of the SEN2FLEX project: field measurements, airborne data and applications," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, pp. 4961-4991, 2008.
- [41] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), vol. 108, 2003.
- [42] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino, "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data," *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 108, 2003.
- [43] Emami H, Mojaradi B, Safari A. An Alternative Scaling Method for Cross-Validation of Land Surface Temperature from Remote Sensing Data: A Case Study of Fars Province *Journal of Geomatics Science and Technology*, (JGST).. 2016; 6 (1) :1-17
- [44] W. G. Bastiaanssen, M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag, "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation," *Journal of hydrology*, vol. 212, pp. 198-212, 1998.
- [45] W. G. Bastiaanssen, H. Pelgrum, J. Wang, Y. Ma, J. Moreno, G. Roerink, et al., "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 2: Validation," *Journal of hydrology*, vol. 212, pp. 213-229, 1998.
- [46] R. L. Rudnick, W. F. McDonough, and R. J. O'Connell, "Thermal structure, thickness and composition of continental lithosphere," *Chemical Geology*, vol. 145, pp. 395-411, 1998.
- [47] X. Ou, Z. Jin, L. Wang, H. Xu, and S. Jin, "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*, vol. 20, pp. 109-118, 2004.
- [48] R. Richter and D. Schlöpfer, "ATCOR-2/3 user guide, version 8.3. 1," Zurich, Switzerland, vol. 238, 2014