

یک رویکرد ترکیبی جهت مکانیابی بهینه انرژی خورشیدی و زمین گرمایی با توجه به معیارهای اقتصادی، محیطی و جمعیتی با استفاده از داده‌های GIS و RS

حسن امامی^{۱*}، سعید اسدزاده^۲

^۱ استادیار گروه نقشه‌برداری - دانشکده فنی و مهندسی مرنند - دانشگاه تبریز

h_emami@tabrizu.ac.ir

^۲ کارشناسی ارشد GIS - دانشکده فنی و مهندسی مرنند - دانشگاه تبریز

saied.asadzadehh@gmail.com

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۹، تاریخ تصویب مرداد ۱۴۰۰)

چکیده

در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی از لایه‌های خروجی الگوریتم سبال همراه با تحلیل چند معیاره از عوامل مختلف محیطی، اجتماعی-اقتصادی، داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، مکانیابی مطلوب توأمان انرژی‌های زمین گرمایی و خورشیدی ارائه گردیده است. شناسایی توأم مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی در کنار هم یا نزدیک هم، نه تنها می‌تواند بعنوان خروجی مکمل هم باشند، بلکه با تلفیق این دو انرژی، نقایص موجود در بهره‌برداری انفرادی از هر یک از آنها را مورد پوشش قرار می‌دهد. شناسایی چنین مناطقی، نیازمند شناخت دقیق عوامل و معیارهای مؤثر آن می‌باشد. برای این منظور، از پانزده لایه اطلاعاتی مختلف، به همراه تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در دو دوره زمانی فصل سرد برای انرژی زمین گرمایی و فصل گرم برای انرژی خورشیدی، مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن در شمال غرب ایران استفاده گردید. ابتدا گروه‌های مختلف داده‌های تحقیق کمی‌سازی، وزندی و سپس با همدیگر ادغام گردیدند. در ادامه، جهت بررسی نتایج از منظر اقتصادی، دو عامل اصلی، مراکز جمعیتی-صنعتی و فواصل از این مراکز، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناطق مناسب جهت بهره‌برداری و احداث نیروگاهها در پنج کلاس نامناسب، ضعیف، متوسط، مناسب و بسیار مناسب مشخص گردیدند. نتایج مجزای انرژی خورشیدی و زمین گرمایی نشان داد به ترتیب، تقریباً ۵۱٪ و ۳۰٪ انرژی خورشیدی و زمین گرمایی در مناطق مناسب و بسیار مناسب، واقع شده‌اند. همچنین نتایج توأم این دو انرژی با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی، و مراکز جمعیتی-صنعتی نشان داد که حدود ۵۹٪ از مناطق بصورت توأم بیانگر مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی هستند. این مناطق در قسمت جنوب، جنوب شرقی، قسمتهایی از مرکز استان و نیز مناطقی از شمال و شمال غرب استان دارای پتانسیل مناسبی از لحاظ انرژی زمین گرمایی و خورشیدی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: انرژی خورشیدی و زمین گرمایی، انرژی‌های تجدید پذیر، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

امروزه تامین انرژی مورد نیاز از اساسی‌ترین نیازهای هر کشور محسوب می‌گردد. با افزایش جمعیت، رشد صنایع و پیشرفت تکنولوژی در جهان، میزان مصرف انرژی به شدت افزایش یافته و کشورها با یک بحران بزرگ در خصوص تامین انرژی مواجه هستند. انرژی یکی از مهمترین پیش نیازهای توسعه و رفاه ملتها است [۱]. انرژی‌های مورد استفاده در جوامع بشری به دو دسته انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌گردند. عمده منابع انرژی متداول امروزی، منابع فسیلی بوده و این منابع علاوه بر محدودیت، توزیع یکنواختی در سراسر کره زمین ندارند [۱]. سوخته‌های فسیلی شامل نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ می‌باشد. مصرف حاملهای انرژی، با تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای در فرآیند تبدیل و در تخریب لایه ازن، محیط‌زیست را به شدت مورد تهدید قرار داده و موجب گرم شدن بیشتر دمای سطح زمین و تغییر اقلیم می‌گردد. در مقابل، انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی آبی، انرژی زمین‌گرمایی^۱ از عمده‌ترین منابع انرژی‌های پاک می‌باشند. استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر بخصوص انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی می‌تواند از بهترین گزینه‌ها برای جایگزینی با سوخته‌های فسیلی باشند. کشور ایران به علت قرارگیری بر روی کمربند گرم دنیا، یکی از بالاترین پتانسیل‌های جذب انرژی خورشیدی را داراست و با میانگین ۳۰۰ روز آفتابی در سال، در زمره کشورهایی قرار دارد که حداکثر دریافت نور را دارند [۱]. از انرژی خورشیدی رسیده به زمین، ۴۳ درصد آن جذب زمین گردیده و ۸ درصد آن منعکس می‌گردد، یعنی در مجموع حدود ۵۱ درصد از انرژی خورشید به سطح زمین می‌رسد. مابقی ۳ درصد در لایه استراتسفر جذب شده، ۲۶ درصد توسط ابرها منعکس گردیده و حدود ۲۰ درصد آن نیز توسط گازهای جوی جذب می‌گردد [۲]. میزان تابش انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان متغیر بوده و در عرض‌های جغرافیایی پایین بیشتر است. بنابراین شناخت مکان‌های مناسب جهت بکارگیری انرژی خورشیدی الزامی می‌باشد. همچنین انرژی زمین‌گرمایی عمدتاً در نواحی زلزله‌خیز، آتشفشانهای جوان و

صفحات تکتونیکی زمین و در عمق بیش از ۳ کیلومتری از سطح زمین، متمرکز شده است (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)^۲). درجه حرارت زمین زیاد بوده و انرژی زمین‌گرمایی درجه حرارتی بیش از ۱۴۰ درجه سانتیگراد را دارا می‌باشد. حرارت زمین به طرق مختلف از جمله فوران آتشفشان، چشمه‌های آب-گرم، آبفشانها و گلفشانها در اثر کاهش چگالی زمین و خاصیت رسانایی، از بخشهای داخلی زمین به سطح آن هدایت می‌شود. حوضچه‌های انرژی زمین‌گرمایی معمولاً به دو دسته، با درجه حرارت کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد و بیشتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد تقسیم می‌گردند. حوضچه‌های با درجه حرارت بالا، مناسب برای تولید برق می‌باشند و حوضچه‌های با درجه حرارت پایین، مناسب جهت استفاده‌های دیگر همچون تولید حمام‌های آب‌گرم می‌باشند [۳]. از آن جهت که انرژی زمین‌گرمایی بر بستر مکانی نمود حرارتی دارد، لذا تصاویر ماهواره‌ای در باند حرارتی قادر به شناسایی آن با توجه به نشانه‌ها و شواهد موجود می‌باشند [۳].

در ایران معمولاً برای تعیین محل منابع زمین‌گرمایی از داده‌های زمین‌شناسی (سنگ‌های آتشفشانی، دهانه‌های آتشفشانی و گسل)، داده‌های ژئوشیمی (چشمه‌های آب-گرم و اسیدی و دگرسانی گرمایی منطقه) و داده‌های ژئوفیزیک (زلزله‌های خرد و توده‌های نفوذی کم‌عمق) استفاده شده است [۴]. یوسفی و همکارانش [۵]، در تحقیقی به منظور مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان تهران، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نمودند. آنها از معیارهای فیزیکی، معیارهای محیط‌زیستی، معیارهای اقتصادی و اجتماعی، معیارهای فنی و ایمنی استفاده کردند و از روش منطبق فازی جهت ارزش‌دهی به مناطق و تولید نقشه استفاده گردید. محققین مختلفی [۱، ۶-۱۰] طی مطالعاتی به منظور تحلیل تناسب مکانی جهت احداث نیروگاه خورشیدی، از سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۳ استفاده نمودند. همچنین پژوهشگران مختلفی [۴، ۹، ۱۱-۱۳]، در مطالعاتی به شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی با استفاده از سیستم اطلاعات

^۲ www.satba.gov.ir

^۳ Analytical Hierarchy process(AHP)

^۱ Geothermal

تغییرات دمای سطح زمین به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که توزیع مکانهای مستعد زمین گرمایی ارتباط نزدیکی با ساختار گسل‌ها دارد. اومیتامو و همکارانش [۱۶]، با استفاده از معیارهای جمعیت، شیب، گسل، مناطق در معرض زمین لغزش، مناطق تحت حفاظت محیط زیستی، مناطق ممنوعه مانند مناطق نظامی و فرودگاهها، گنبد های نمکی، آبخوان ها و تابش خورشیدی، اقدام به وزن دهی معیارها به روش تحلیل سلسله مراتبی نموده و در نهایت، رتبه‌بندی مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه خورشیدی، نیروگاه اتمی، نیروگاه ذغالی و نیروگاه با سوخت های دیگر را شناسایی کردند.

در حال حاضر انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه خوبی در دنیا پیدا کرده و در این شرایط در ایران تاکنون ۶۵۴ مگاوات برق از طریق نیروگاه‌های تجدیدپذیر تولید شده که این میزان کمتر از یک درصد کل ظرفیت برق ایران است. سلیمانخانی [۱۷] در پژوهشی با در نظر گرفتن اهداف سیاست گذاری برای انرژی های تجدیدپذیر و همچنین انواع ابزارهای به کار رفته برای توسعه در دنیا و نیز ابزارهای های بومی، اتخاذ استراتژی مناسب با استفاده از تجربیات دیگر کشورها در قالب شرایط زیست محیطی و چارچوب قانونی ایران به ارائه بسته های حمایتی برای توسعه کاربرد انرژی های تجدید پذیر پرداخته اند. قدیری و همکارانش [۱۸] در تحقیقی اثرات اجرایی شدن سیاست مالیات سبز بر میزان انتشار آلاینده‌ها با تأکید بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته، و برای دوره زمانی شانزده ساله در ایران بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان حاکی از آن بود که اجرای سیاست مالیات سبز بر کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی اثر گذار است و تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر اثری معکوس بر انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد. به عبارتی توسعه و جایگزینی مصرف این انرژی‌ها با انرژی‌های فسیلی می‌تواند منجر به کاهش انتشار آلاینده‌ها شود. منوریان و همکارانش [۱۹] در مطالعه ای توصیف سیاست گذاری توسعه انرژی های تجدیدپذیر در ایران پرداختند و با تجزیه و تحلیل داده ها در سه مرحله کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی انجام دادند و در نهایت، مدل پارادایمی سیاست گذاری در مورد انرژی های تجدیدپذیر ترسیم کردند. امانی و همکارانش [۲۰] در یک مطالعه ای به امکان سنجی و

جغرافیایی پرداختند. در این پژوهش‌ها از داده‌های زمین-شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک و سنجش از دور حرارتی استفاده نموده‌اند. یوسفی و همکارانش [۴]، در پژوهشی دیگر به شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در ایران پرداختند. در این پژوهش پس از مطالعه جامع و انتخاب سه مجموعه داده زمین شناسی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک و تهیه لایه‌های اطلاعاتی و استفاده از روش ادغام بولین در سیستم اطلاعات جغرافیایی، نهایتاً ۱۸ منطقه دارای انرژی زمین-گرمایی را شناسایی نمودند که در کل ایران توزیع شده بود. کین‌هولز و همکارانش [۱۴]، با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی چندطیفی به اکتشاف انرژی زمین-گرمایی در آکوتا، آلاسکا اقدام نمودند، آنها از تصویر مادون قرمز حرارتی مربوط به ماه‌های تابستان برای تخمین دمای سطح زمین و شناسایی ناهنجاری‌های دمای سطح زمین و تولید نقشه جلوه‌های سطحی در ارتباط با انرژی زمین گرمایی از جمله چشمه های آب گرم و آبفشان‌ها استفاده نمودند. قاستیلی و چرابی [۱۵]، معیارهای تابش، نقشه محدودیت و داده نزدیکی به راه را مهم ترین عوامل در ایجاد نیروگاه خورشیدی در کشور عمان تشخیص دادند، سپس لایه های فازی این معیارها را ایجاد کرده و با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و نظر کارشناسان اقدام به وزن دهی لایه ها نموده و با استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به تهیه نقشه مناطق مطلوب جهت احداث نیروگاه خورشیدی نمودند. جنک [۱۰]، در تحقیقی به شناسایی مناطق مناسب برای مزارع بادی و خورشیدی در ایالت کلرادو، با استفاده از تکنیکهای مدل‌سازی چند معیاره سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخت و در مدل‌سازی مزارع خورشیدی، تعداد ساعات آفتابی، تابش، دما و جهت شیب برای تعیین پتانسیل خورشیدی در نظر گرفته شد و مقدار تابش خورشیدی را از یک مدل اقلیمی بدست آوردند. کیون و همکارانش [۱۳]، به شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی با استفاده از سنجنده لندست ۷ و داده های مادون قرمز حرارتی و تجزیه و تحلیل مکانی آن در تینگ چونگ^۱ چین پرداختند. استفاده از داده‌های سنجش از دور حرارتی به عنوان یک تکنیک کارآمد برای اندازه‌گیری

^۱ Tengchong

طراحی ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه خشک پرداختند. در این مطالعه با استفاده از سیستم ها و تکنیک های معماری غیرفعال خورشیدی برای استفاده حداکثری از انرژی های تجدیدپذیر، مقدار انرژی مصرفی کاهش داده می شود. نتایج آنها نشان داد که ساخت ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و خشک امکان پذیر است و برای نیل به ساخت پایدار و سازگار با محیط زیست، گامی موثر به حساب می آید. کریمی و همکارانش [۲۱] رابطه مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در ایران در تحقیقی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در بلند مدت رابطه علیتی وجود ندارد و بین نیروی کار و رشد اقتصادی تنها رابطه یک طرفه وجود دارد. اما در کوتاه مدت، یک رابطه یک طرفه بین رشد اقتصادی و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و همچنین یک رابطه یک طرفه بین نیروی کار و رشد اقتصادی، مصرف انرژی تجدیدپذیر و سرمایه وجود دارد. بنابراین، در بلند مدت، شوک های متغیرهای مستقل، مانند سرانه مصرف انرژی تجدیدپذیر، در برابر رشد اقتصادی متعادل می شود. شکوری و همکارانش [۵] در تحقیقی به ارزیابی اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تولید برق از تکنولوژی های تجدیدپذیر و گازی پرداختند. آنها با محاسبه هزینه انرژی خروجی و هزینه واحد انرژی تولیدی، به مقایسه قیمت های تمام شده برق تولیدی توسط نیروگاه های مختلف سیکل ترکیبی، بادی و فتوولتاییک پرداختند. یافته های آنها نشان داد که هزینه تمام شده تولید برق از سوخت های فسیلی، از هزینه تمام شده تولید برق از نیروگاه های تجدیدپذیر بیشتر است و تکنولوژی های تجدیدپذیر بیشترین انطباق را با معیارهای پایداری دارند. قریشی و همکارانش [۲۲] در تحقیقی، زیرساخت های اساسی و سیاست های مربوط به توسعه انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای در حال توسعه غنی از نفت در مورد ایران پرداختند. داده های کمی نتایج آنها نشان داد که دولت از سرمایه گذاران خارجی حمایت می کند، قرارداد خرید نیرو تأثیرات مثبتی به ترتیب به میزان ۰،۷۴، ۰،۵۲ و ۰/۶۸ بر بازار توسعه انرژی های تجدیدپذیر در ایران دارد. قوچانی و همکارانش [۲۳] در تحقیقی توسعه چشم انداز استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در ایران پرداختند. آنها سناریوهای آینده انرژی های تجدیدپذیر ایران را در سه بعد "برنامه های بلند مدت کسب فناوری"، "تثبیت سیاست"

و "جذب سرمایه خارجی" ارائه دادند. نتایج آنها نشان داد که موفقیت برنامه ریزی و اجرای سیاست های انرژی های تجدیدپذیر متکی به انتخاب سیاست هایی است که با اهداف ملی، توانایی های فنی و اقتصاد کشور سازگارترین هستند. بنابراین، لازم است که به طور دقیق محدودیت ها، موانع، امکانات و فناوری های موجود، تحریم های بین المللی و سرمایه گذاری خارجی به طور مفصل شناخته شود تا برنامه جامع انرژی های تجدیدپذیر به طور کارآمد توسعه داده و با موفقیت اجرا شوند. سلیمانی [۲۴] در مطالعه ای به مروری بر سیاست های انرژی و انرژی های تجدیدپذیر در ایران پرداختند. آنها با استفاده از دو رویکرد، تلاش کردند روندهای مصرف انرژی، سیاست و توسعه انرژی های تجدیدپذیر و ارتباط علی بین انرژی های تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر و رشد اقتصادی را ارزیابی کند. این مطالعه در ابتدا وضعیت کنونی سیاست انرژی و انرژی را قبل از اعمال تجزیه و تحلیل علیت برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای مورد تحقیق، مورد بررسی قرار دادند. یافته ها آنها نشان داد که فناوری های تجدیدپذیر هنوز نقش مهمی در تامین انرژی ایران ندارند. بدیهی است که ایران، دارای منابع فراوان انرژی تجدیدپذیر و تجدید ناپذیر، به ویژه منابع تجدید ناپذیر، با چالش هایی مانند آلودگی هوا، تغییرات آب و هوایی و امنیت انرژی روبرو است. به عنوان صادرکننده و مصرف کننده برجسته سوخت های فسیلی، همچنین در تلاش است تا از انرژی تجدیدپذیر به عنوان بخشی از ترکیب انرژی خود در جهت امنیت و پایداری انرژی استفاده کند. با توجه به ویژگی های جغرافیایی مطلوب، ایران دارای منابع تجدیدپذیر متنوع و در دسترس است که جایگزینهای مناسبی برای کاهش وابستگی به سوخت های فسیلی ارائه می دهد.

تحقیقات پیشین بصورت مجزا انرژی خورشیدی و انرژی زمین گرمایی را مورد ارزیابی قرار داده اند و در هیچ کدام از تحقیقات قبلی، از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) در کنار سایر لایه های اطلاعاتی استفاده نشده است. لذا مقاله حاضر، از سه منظر دارای تفاوت های اساسی با تحقیقات قبلی می باشد اول اینکه در این تحقیق، پایش و ارزیابی انرژی خورشیدی و انرژی زمین گرمایی بصورت توأمان و بعنوان مکمل هم مورد مطالعه قرار گرفته اند. بدیهی است شناسایی و مکانیابی مطلوب توأم این مناطق در کنار هم یا نزدیک هم نه تنها می توانند بعنوان خروجی

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. سوم اینکه، بمنظور بررسی جامع در این تحقیق، گروههای مختلف داده‌های زمین‌شناسی، محیطی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی، ابتدا کمی‌سازی و سپس با همدیگر ادغام گردیده‌اند. سپس، جهت بررسی اقتصادی بودن نتایج، با در نظر گرفتن دو عامل اصلی، مراکز جمعیتی- صنعتی و فاصله مناطق استخراجی از این مراکز، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناطق مناسب جهت بهره‌برداری و احداث نیروگاهها مشخص گردید. لذا تحقیق حاضر در پی آشکارسازی و مکانیابی مطلوب همزمان انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی در شمال غرب ایران متمرکز شده است و علاوه بر شناسایی مناطق مستعد این انرژی‌ها به صورت مجزا با استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارزیابی توأم مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی در منطقه مورد مطالعه را مورد ارزیابی قرار داده است. لذا شناسایی توأم مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی در کنار هم یا نزدیک هم، نه تنها می‌تواند بعنوان خروجی مکمل هم باشند، بلکه با تلفیق دو لایه حاصل، جهت امکان سنجی توأم این دو انرژی در منطقه به منظور پوشش نقایص موجود در بهره‌برداری انفرادی از هر یک از دو انرژی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- منطقه مورد مطالعه، داده‌های تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق، شمال غرب کشور می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده ۴۵ درجه و ۷ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

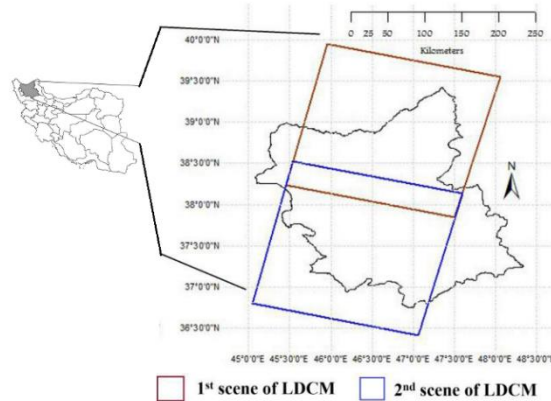
مکمل هم باشند، بلکه تلفیق دو لایه حاصل جهت امکان سنجی توأم این دو انرژی در منطقه، پوشش نقایص موجود در بهره‌برداری انفرادی از هر یک از دو انرژی را فراهم می‌آورد. ثانیاً در مطالعات مختلف قبلی با استفاده از نقشه آنامولی دمای سطح، که مناطق مستعد زمین‌گرمایی را شناسایی و تعیین کرده‌اند، در اغلب این روشها با مدل‌های مختلفی نظیر مدل‌های سویج^۱ و کولبو^۲ اثر خورشید در سطح زمین را مدلسازی کرده و با نقشه دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده‌های حرارتی مقایسه نموده و نقشه آنامولی دمای سطح را تعیین کرده‌اند [۲۵-۲۷]. در این تحقیق، بجای استفاده از مدل‌های مذکور، از شارهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده شده است. در این تحقیق، با ترکیب نقشه مشاهداتی دمای سطح حاصل از سنجنده با شارهای 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) و مقدار تابش جذب شده خورشیدی توسط سطح (R_{solar})، می‌باشد. این شارهای گرمایی و حرارتی الگوریتم سبال، تاثیرات حرارتی ناشی از خورشید را در هر پیکسل دمای مشاهداتی مدلسازی کرده و اثرات آنرا به حداقل می‌رسانند. در این ترکیب، هر پیکسلی با دمای مشاهداتی حداکثر و شارهای گرمایی و حرارتی حداقل، بعنوان مناطق مستعد وجود منابع انرژی زمین‌گرمایی انتخاب شدند. در این تحقیق نیز، با ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی حاصل از الگوریتم سبال با نقشه‌های 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 بازتابندگی تصحیح توپوگرافی و جوی 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 تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، مدل حرارتی حاصل در اثر این عوامل تعدیل می‌گردد. مثلاً اگر در پیکسلی دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده دمای حداکثری را نشان می‌-

^۱ Savage

^۲ Coolbaugh

جدول ۱- داده های تحقیق

تاریخ اخذ داده	مسیر و گذر	داده های تحقیق	
۲۰۱۶/۰۲/۲۵	۳۳ و ۱۶۸	۸	لندست ۸ فصل سرد
۲۰۱۶/۰۲/۲۵	۳۴ و ۱۶۸	۸	لندست ۸ فصل گرم
۲۰۱۷/۰۷/۲۱	۳۳ و ۱۶۸		
۲۰۱۷/۰۷/۲۱	۳۴ و ۱۶۸		
۲۰۱۴/۰۹/۲۳	-		مدل رقومی ارتفاعی
۱۳ ایستگاه اداره کل هواشناسی استان متوسط ۱۰ سال اخیر			لایه ساعات آفتابی
سایر لایه های اطلاعاتی از نیرو شرکت برق منطقه ای، لایه راه‌ها از اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی و ...			



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

۲-۲- داده های تحقیق و پیش پردازش آنها

در این تحقیق از سه دسته داده شامل تصاویر ماهواره-ای لندست ۸، مدل ارتفاعی رقومی زمین مربوط به سنجنده رادار شاتل^۱ مربوط به محدوده مورد مطالعه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و سایر داده‌ها و لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز که از ارگانها و سازمان‌های مربوط مطابق جدول (۱)، تهیه گردیدند، استفاده شده است. از تمامی باندهای انعکاسی لندست ۸ شامل هشت باند انعکاسی بدون باند پانکروماتیک، برای محاسبه گسیلمندی سطح، شاخص‌های گیاهی موردنظر در لایه های سبال، تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و ... استفاده گردید و از باند ده حرارتی لندست ۸ برای محاسبه دمای سطح و شارهای انرژی گرمایی حاصل از سبال در این تحقیق استفاده شده است. علت استفاده از تصاویر مربوط به فصل سرد سال برای شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی این است که در آن فصل مقدار تاثیر انرژی خورشیدی رسیده به زمین، بر روی دمای سطح زمین به حداقل مقدار ممکن رسیده و قسمت اعظم ناهنجاری دما، ناشی از انرژی زمین‌گرمایی درون زمین باشد تا امکان شناسایی مناطق مستعد زمین‌گرمایی مهیا گردد. علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات مربوط به سایر لایه‌های مورد استفاده در این تحقیق، نظیر لایه ساعات آفتابی، لایه خطوط نیرو و لایه راه‌ها به ترتیب از اداره کل هواشناسی، شرکت برق منطقه ای و اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی اخذ گردید.

در انرژی خورشیدی لایه های اطلاعاتی شامل: ساعات آفتابی، پوشش گیاهی، سایه، شیب، انرژی خالص دریافتی زمین، جهت شیب، انرژی جذب شده به زمین، فاصله از خطوط نیرو، کل انرژی رسیده به زمین، فاصله از راه‌ها، دمای سطح زمین و ارتفاع مورد استفاده قرار گرفتند و در انرژی زمین‌گرمایی لایه های اطلاعاتی: دمای سطح زمین، ارتفاع، چشمه های آب گرم، فاصله از گسل، انرژی تابش خالص دریافتی زمین، کاربری زمین، انرژی جذب شده به زمین، پوشش گیاهی، کل انرژی رسیده به زمین، فاصله از خطوط نیرو، شیب و فاصله از راه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

بدهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین، انجام تصحیح رادیومتریکی (اتمسفری و توپوگرافی) تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. در این تحقیق، برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید و مشتقات لازم نظیر شیب، تغییرشیب و سایه استخراج گردید. در این تحقیق، این تصحیحات با استفاده از نرم‌افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی^۲ ATCOR3 که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه‌نویسی زبان تعاملی داده^۳ استوار بوده و از پایگاه داده مدل‌های انتقال تابش^۴ MODTRAN5 استفاده می‌کند، انجام گرفت [۲۸]. این نرم افزار با در نظر گرفتن تمام شرایط و حالت‌های مختلف اتمسفر، توسط مرکز هوا - فضای آلمان^۵ در محیط برنامه نویسی نرم افزاری ENVI/IDL پیاده‌سازی شده است. تحقیقات مختلفی [۲۹، ۳۰] این نرم افزار را با نرم‌افزارهای معروف دیگر

^۲ Atmospheric/topographic correction

^۳ Interactive Data Language

^۴ MODerate resolution atmospheric TRANsmission

^۵ DLR - German Aerospace Center

^۱ Shuttle Radar Topographic Mission(SRTM)

سازد. دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلمندی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. تصاویر ماهواره ای مربوط به فصل گرم سال، جهت استفاده در خصوص آشکارسازی و مکانیابی انرژی خورشیدی، استخراج گردید. در این خصوص، با اخذ اطلاعات روزها وساعات آفتابی از ایستگاههای هواشناسی منطقه، از تصاویر یاد شده، برای تهیه مدل رقومی زمین در منطقه مورد مطالعه، از داده های مدل رقومی ارتفاعی حاصل از رادار شاتل^۴ استفاده شد. به این ترتیب تصاویر فاقد پوشش ابر و اطلاعات لازم اولیه تهیه گردید. پس از تهیه مدل رقومی منطقه، نقشه شیب، تغییر شیب و نقشه سایه که از آن بیشتر در انرژی خورشیدی استفاده می گردد و لایه های اطلاعاتی دیگر، تهیه شد. از لایه های تهیه شده هم به عنوان لایه های اطلاعاتی و هم جهت تصحیح توپوگرافی استفاده گردید. در مرحله دوم به منظور شناسایی مناطق مستعد، بعد از پیش پردازش، تصحیحات رادیومتریکی (شامل تصحیح اتمسفری و تصحیح توپوگرافی) بر روی تصاویر لندست ۸ انجام گرفت. بعد از اتمام این مراحل، میزان بازتابندگی در سطح زمین بدست آمده که با استفاده از آن می توان تمام محاسبات را در سطح زمین انجام داد. بعد از پیش پردازش تصاویر، دمای سطح زمین محاسبه گردید. برای این منظور نیاز به محاسبه یکسری مؤلفه ها بود. این مؤلفه ها شامل دما در سطح سنجنده، گسیلمندی و موارد دیگر بود، نهایتاً دمای سطح زمین محاسبه گردید. لایه مربوطه به صورت نسبی وزن دار گردیده که خروجی این لایه در مورد تصاویر مربوط به فصل سرد سال در واقع مناطق مستعد زمین گرمایی می باشد. پس از تولید لایه مذکور، برای تصاویر سرد و گرم سال، نقشه لایه اطلاعاتی همچون سایه، شیب، ارتفاع، جهت شیب از مدل رقومی ارتفاعی و لایه های فواصل و شاهد دیگر نیز از منابع مختلف تهیه شده و از سیستم اطلاعات جغرافیایی، جهت انجام تحلیل های زمانی و مکانی و خروجی گرفتن از نتایج استفاده گردید. مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، با استفاده از سنجش از دور و با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین،

تصحیح اتمسفری مقایسه کرده اند و آن را بهترین و بالاترین دقت در تصحیحات اتمسفری معرفی کرده اند. همچنین در مطالعه دیگری [۳۱] دقت حاصل از این نرم افزار را با داده های زمینی اعتبارسنجی کرده اند و اعلام نمودند که خطای محاسبه بازتابندگی زمینی در این نرم افزار برای همه پدیده های سطح زمین تقریباً 0.004 می- باشد. پایگاه داده MODTRAN مورد استفاده در ATCOR، شامل طیف گسترده ای از انتقال تابشی از قبل محاسبه شده برای شرایط مختلف آب و هوایی، زاویای مختلف خورشید و سنجنده تهیه شده است. در این نرم- افزار تصحیح اتمسفری و توپوگرافی اطلاعات مربوط به سنجنده و تصویر (نظیر زاویه زینت 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 [۲۸] و نوع مدل اتمسفری و هواویز نیز از روی طول جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تاریخ اخذ تصاویر تعیین گردید [۳۲، ۳۳] و به نرم افزار معرفی شد و نهایتاً تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی تصاویر انجام گرفت. بعد از تصحیح اتمسفری و توپوگرافی تصاویر، مقادیر بازتابندگی در سطح زمین بدست می آید که در این تحقیق تمامی محاسبات لازم بر روی این بازتابندگی انجام گرفت.

۳- روش تحقیق

۳-۱- کلیات و مراحل روش تحقیق

در تحقیق حاضر از دو سری تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به داده های حرارتی و داده های انعکاسی استفاده گردید. تصاویر مربوط به تاریخ فصل سرد یا نزدیک به فصل سرد سال، جهت پتانسیل یابی انرژی زمین گرمایی استفاده گردید. در این تاریخ به دلیل حداقل بودن تأثیر گرمای هوا در دمای سطح زمین، بیشتر ناهنجاری دمای سطح زمین، ناشی از گرمای داخل زمین بوده و امکان شناسایی این مناطق در فصل سرد سال را بهتر میسر می

^۱ Azimuth angle

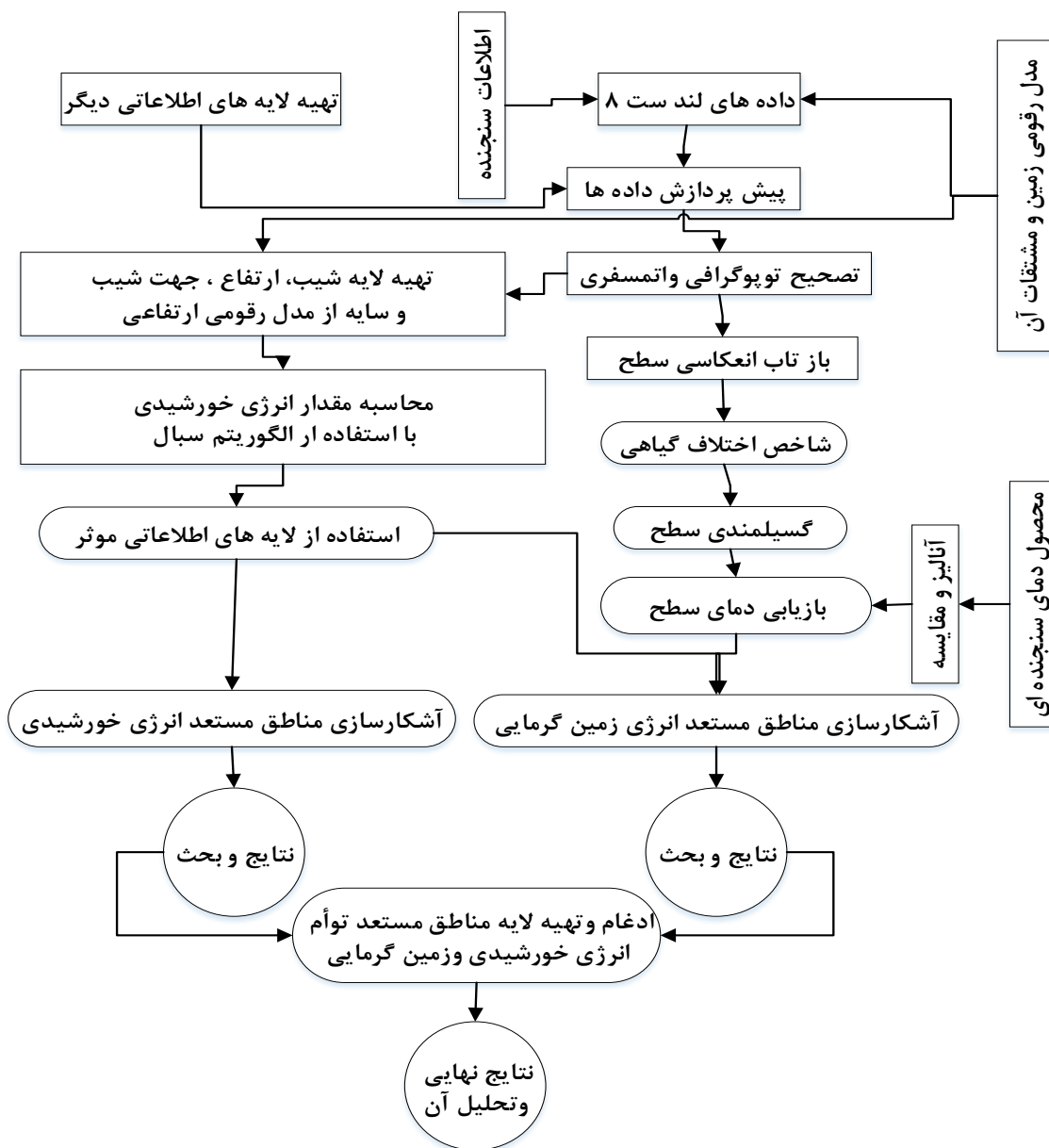
^۲ Metafile of image

^۳ Dense dark vegetation (DDV)

^۴ Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM)

محاسبه گردیده و مناطق مستعد انرژی خورشیدی شناسایی گردید. در این قسمت لایه های اطلاعاتی مختلف حاصل از الگوریتم سبال، شامل انرژی تابش خالص دریافتی زمین، انرژی جذب شده به زمین و کل انرژی رسیده به زمین، تهیه شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. نهایتاً با تلفیق لایه های اطلاعاتی موثر، نقشه نهایی مناطق مستعد تهیه شد. به عبارت دیگر بعد از شناسایی مناطق مستعد با استفاده از سنجش از دور، با تهیه نقشه های فواصل و ایجاد محدودیت و همچنین تهیه لایه های اطلاعاتی دیگر، ارزیابی و تحلیل دقیق تر مناطق مستعد از لحاظ صحت نتایج با استفاده از نقشه های مرجع مبین مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین

گرمایی در کشور و نیز با استفاده از لایه چشمه های آب گرم منطقه به عنوان اصلی ترین جلوه سطحی انرژی زمین گرمایی در سطح زمین، انجام گرفته و نیز تحلیل مبنی بر مقرون به صرفه بودن مناطق شناسایی شده از لحاظ اقتصادی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و لایه فاصله از مرکز جمعیتی انجام گرفت. در ادامه به منظور شناسایی مناطق مستعد توأم انرژی زمین گرمایی و خورشیدی، دو لایه نهایی، با هم تلفیق و نقشه مناطق توأم انرژی زمین گرمایی و خورشیدی تهیه گردیدند. شکل (۲) فلوجارت روش تحقیق را در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی و خورشیدی نشان می دهد.



شکل ۲- روند انجام تحقیق

۲-۳- تئوری الگوریتم‌های تحقیق

عنوان مجموع سه جزء تابش دیگر بصورت معادله (۲) بیان کرد [۳۶].

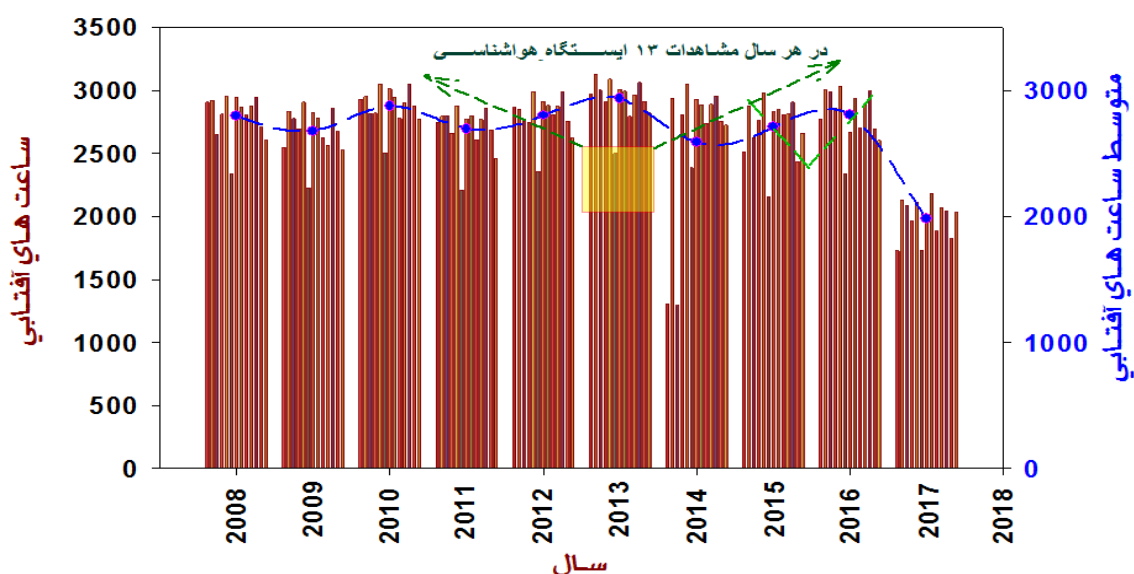
$$R_n = R_{solar} + R_{atm} - R_{surface} \quad (2)$$

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. جزئیات و روابط ریاضی مورد استفاده در محاسبه المانهای الگوریتم سبال در [۳۶] بطور مفصل بیان شده است. سپس بمنظور برآورد دمای سطح زمین، ابتدا گسیلمندی سطح، با استفاده از روش مبتنی بر اختلاف شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI Based Emissivity Method) محاسبه گردید. سپس، با معلوم بودن گسیلمندی سطح، دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم های تک بانندی [۳۷] استفاده گردید. لایه دمای سطح زمین به عنوان یک فاکتور مؤثر، در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین- گرمایی و خورشیدی به کار گرفته شد.

بعد از عملیات پردازش و تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر، الگوریتم سبال بر روی تصاویر اجرا گردید. الگوریتم سبال یکی از الگوریتم‌های کاربردی می‌باشد که از ۲۵ زیر مدل مختلف تشکیل شده است و قادر است متغیرها و شارهای انرژی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند [۳۴، ۳۵]. معادله (۱) شکل عمومی این الگوریتم را نشان می‌دهد.

$$R_n = H + G + LE \quad (1)$$

در این معادله R_n تشعشعات خالص دریافتی توسط سطح زمین، H شار گرمای محسوس میان سطح زمین و لایه پایین جو، LE مقدار شار گرمای نهان مابین سطح و جو به علت عمل تبخیر و G توصیفگر شار گرمایی مابین لایه‌های مختلف خاک یا بعبارتی انرژی خالص هدایت شده به زمین است. همچنین، الگوریتم سبال قادر است شارهای انرژیهای گرمایی مختلف را در سطح زمین محاسبه کند. بعبارتی، معادله عمومی (۱) را می‌توان به



شکل ۳- ساعات آفتابی ۱۰ ساله سیزده ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ایستگاههای هواشناسی استفاده گردید. برای این منظور مجموع ساعات آفتابی ماهانه درازمدت ۱۳ ایستگاه هواشناسی استان آذربایجان شرقی و غربی شامل ایستگاه هواشناسی اهر، بستان آباد، بناب، تبریز، جلفا، سراب، سهند، کلیبر، مراغه، مرند، ملکان، میانه و هریس اخذ و پس از بررسی، آمار مجموع ساعات آفتابی از متوسط ۱۰

همچنین در این تحقیق، متوسط دمای هوا از روی دادهای هواشناسی به تاریخ تصاویر لندست، در نظر گرفته شد و لایه ساعات آفتابی به عنوان مهم‌ترین پارامتر اقلیمی در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و مکانیابی نیروگاههای خورشیدی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تهیه لایه ساعات آفتابی از آمار دراز مدت سالانه ساعات آفتابی

ساله تهیه گردید. زیرا همانطوری که در نمودار (آبی رنگ) شکل (۳) مشاهده می‌گردد متوسط ساعتهای آفتابی سالیانه تقریباً یکسان و مشابه هم می‌باشد. جهت تهیه لایه فاصله از خطوط انتقال برق و نیز لایه فاصله از راهها، ابتدا لایه برداری خطوط انتقال برق از شرکت برق منطقه- ای آذربایجان و لایه برداری راهها از اداره کل راه و شهرسازی استان آذربایجان شرقی اخذ و پس از تبدیل به مختصات جهانی مرکاتور معکوس، قسمت مربوط به منطقه مورد مطالعه از لایه مربوطه استخراج گردیده، سپس لایه رستری فاصله از خطوط انتقال برق و لایه فاصله از راهها تهیه گردید.

۴- یافته های تحقیق و بحث

۴-۱- آماده سازی و ارزش گذاری لایه ها

بدیهی است روشهای وزندهی مختلفی جهت ارزیابی اهمیت معیارها وجود دارد که تفاوت این روشها در اصول تئوری، دقت، سهولت کاربرد و قابل فهم بودن آنها برای تصمیم گیران میباشد. ساده ترین روش برای ارزیابی وزن معیارها رتبه بندی آنها براساس اهمیت و اولویتهای تصمیم گیرنده است [۳۸]. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته برای وزندهی استفاده شده است که خود روش تحلیل سلسله مراتبی به شیوه های مختلفی، از جمله تحلیل سلسله مراتبی نه-درجه ای، روش تحلیل سلسله مراتبی مثلثی یا فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی ساختار یافته اجرا می‌شوند. از آنجاییکه در روش نه-درجه ای تمامی پارامترها دو به دو مقایسه می‌گردد، در نتیجه با افزایش پارامترها تعداد مقایسات به سرعت افزایش می‌یابد. بنابراین برای کاهش تعداد مقایسات روش ساختار یافته ارائه شده است. پس از آماده سازی لایه ها، وزن هر لایه براساس میزان اهمیت و تأثیر لایه در شناسایی مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و اخذ نظریه کارشناسان در این خصوص، تعیین گردید. جامعه آماری این تحقیق، شامل مدیران و کارشناسان خبره برق منطقه ای آذربایجان در بخش تولید انرژی های تجدیدپذیر و همچنین کارشناسان خبره سازمان جهاددانشگاهی آذربایجان شرقی می باشد که دارای تجربه کافی در تولید انرژی های تجدیدپذیر بودند، استفاده گردید. پس از

مصاحبه با حدود ۲۰ نفر از خبرگان به اشباع نظری رسید. ابزار گردآوری اطلاعات پژوهش پرسشنامه باز و مصاحبه می‌باشد. تحلیل داده های کیفی حاصل از مصاحبه ها با استفاده از کدگذاری با رویکرد باز و محوری و با نرم افزار MAXQDA انجام گردید. نمونه ای از شکل های حاصل از آماده سازی لایه ها در بخش بعدی نشان داده شده است که از ذکر همه آنها بدلیل محدودیت در تعداد صفحات مجله صرف نظر می‌گردد.

۴-۱-۱- لایه های حاصل از الگوریتم سبال

در شناسایی مناطق مستعد زمین گرمایی و انرژی خورشیدی در منطقه مورد مطالعه، سه لایه انرژی تابش خالص دریافتی زمین^۱، انرژی تابشی جذب شده به زمین^۲ و کل انرژی رسیده به سطح زمین^۳ برحسب وات برمترمربع، از لایه های حاصل از الگوریتم سبال به عنوان لایه های موثر در این تحقیق، مورد استفاده قرار گرفت. خروجی نهایی در هر مورد برای تصاویر مربوط به فصل گرم و سرد سال تهیه شده و جهت تلفیق با سایر لایه های اطلاعاتی طبقه بندی گردیدند. در لایه انرژی تابشی جذب شده به زمین، شکل های (۴ الف و ب)، کمترین مقدار این انرژی به عنوان مطلوب ترین حالت برای انرژی زمین گرمایی و بیشترین آن به عنوان مطلوب ترین حالت برای انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار گرفت.

در این لایه، کمترین انرژی تابشی جذب شده به زمین به عنوان مطلوب ترین حالت برای انرژی زمین گرمایی و بیشترین انرژی تابشی رسیده به زمین به عنوان مطلوب ترین حالت برای انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار گرفت. درصد و مساحت تشکیل دهنده انرژی تابشی جذب شده در هر کلاس در شکل (۵) برای انرژی خورشیدی و انرژی زمین گرمایی نمایش داده شده است.

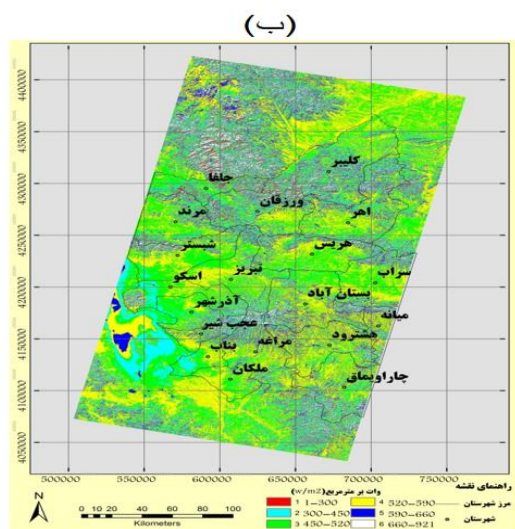
همچنین در بررسی لایه کل انرژی رسیده به سطح زمین حاصل از الگوریتم سبال، در فصل گرم سال (انرژی خورشیدی)، بیشترین مساحت در کلاس چهارم و بالاترین رنج در کلاس ششم با بالاترین ارزش قرار دارد که این مناطق در قسمتهای مختلف استان پراکنده شده اند. در مقابل، در لایه مربوط به تصاویر فصل سرد سال در

^۱ Net radiation

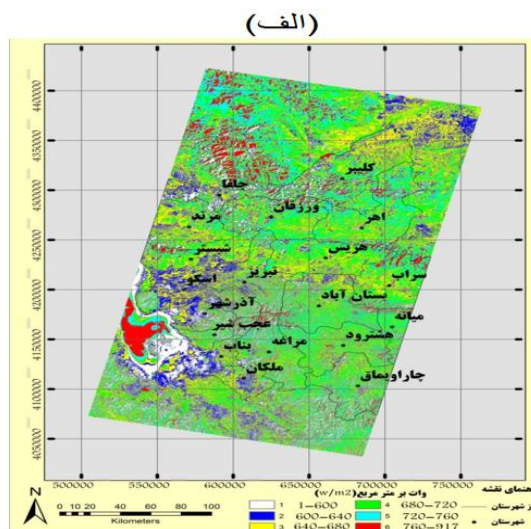
^۲ Absorb. Rsolar

^۳ Global radiation

درصد را از لحاظ مساحت دارا می‌باشند. شکل (۶) درصد و مساحت تشکیل دهنده در هر دو انرژی را نشان می‌دهد.

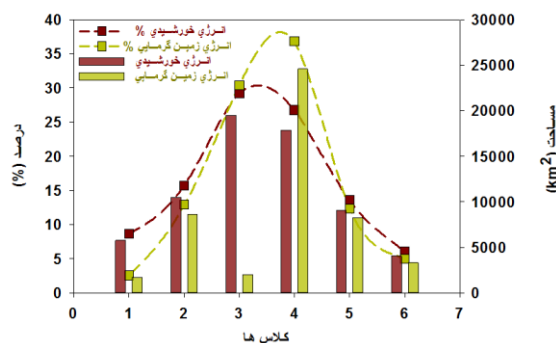


انرژی زمین گرمایی، بالاترین رنج در کلاس ششم با بالاترین ارزش و کمترین رنج در کلاس اول با کمترین ارزش قرار دارد. در این لایه مناطق مطلوب تر کمترین

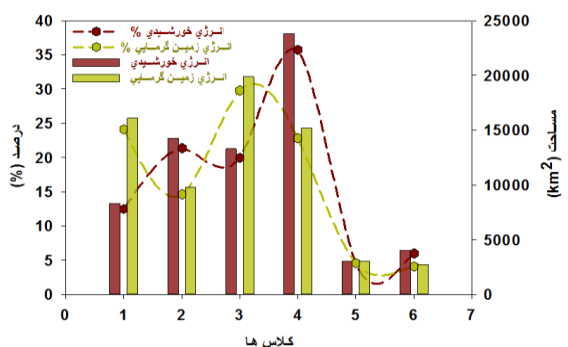


شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی انرژی تابشی جذب شده به سطح زمین (الف) برای انرژی خورشیدی (ب) برای انرژی زمین گرمایی

با رنج ۴۰۰-۱۵۰ وات بر مترمربع می‌باشد. در مقابل، در لایه تصاویر مربوط به فصل سرد سال برای انرژی زمین گرمایی، کلاس ششم با رنج ۹۳۰-۵۵۰ وات بر مترمربع به عنوان مطلوب‌ترین کلاس، کمترین مساحت را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده و بالاترین مساحت مربوط به کلاس سوم با رنج ۱۵۰-۵۰ می‌باشد. کلاس اول با کمترین رنج به عنوان نامطلوب‌ترین کلاس و سایر کلاس‌ها نیز از لحاظ ارزش حد فاصل کلاس ششم و اول قرار دارند.



شکل ۵- درصد و مساحت انرژی تابشی جذب شده به سطح زمین



شکل ۶- درصد و مساحت کل انرژی رسیده به سطح زمین

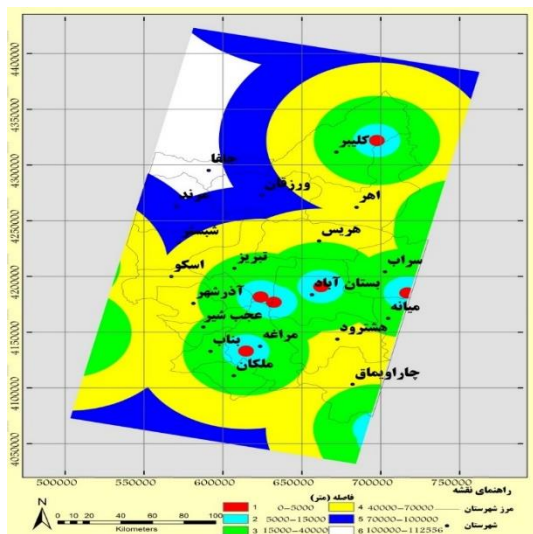
۴-۱-۲- لایه ساعات آفتابی

لایه ساعات آفتابی، بر اساس آمار ۱۰ ساله ساعات آفتابی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، مطابق شکل (۸) تهیه و در شش کلاس با توجه به رنج میزان ساعات آفتابی

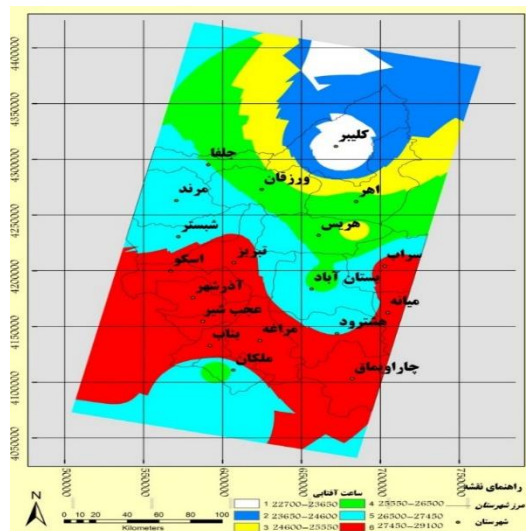
علاوه بر آن در لایه سوم حاصل از الگوریتم سبال، لایه انرژی خالص دریافتی زمین، مطابق شکل (۷)، برای تصاویر گرم مربوط به انرژی خورشیدی، کلاس ششم با بالاترین رنج انرژی خالص دریافتی، به عنوان مطلوب‌ترین کلاس، کمترین مساحت را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده و بالاترین مساحت مربوط به کلاس چهارم

منطقه، از کمترین تا بیشترین مقدار طبقه بندی گردید. در تهیه این لایه از روش درونیابی معکوس فاصله وزندار استفاده شد و تعریف همسایگی بر اساس روش شعاع جستجو انتخاب گردید.

گرم به عنوان مناطق مستعدتر برای وجود انرژی زمین-گرمایی در نظر گرفته شدند.



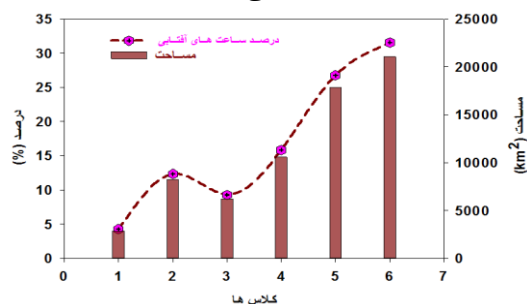
شکل ۱۰- نقشه طبقه‌بندی فاصله از چشمه‌های آب گرم



شکل ۸- نقشه طبقه بندی ساعات آفتابی

از این لایه به عنوان لایه اعتبارسنجی، صرفاً در اعتبار-سنجی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی مورد استفاده قرار گرفت.

شکل (۹) درصد و مساحت متوسط ساعتهای آفتابی ۱۰ سال در هر کلاس نشان می دهد.



شکل ۹- درصد و مساحت متوسط ساعتهای آفتابی ۱۰ سال

۴-۱-۴- لایه دمای سطح زمین

لایه دمای سطح زمین به عنوان یک فاکتور مؤثر در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی و خورشیدی به کار گرفته شد. این لایه بویژه در شناسایی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی به عنوان تاثیر گذارترین لایه مورد استفاده قرار گرفت. لایه دمای تهیه شده برای فصل گرم سال نیز به عنوان لایه تاثیرگذار در شناسایی مناطق مستعد انرژی خورشیدی مورد استفاده قرار گرفت. با داشتن گسیلمندی سطح، دمای سطح با استفاده از الگوریتم های تک باندهای^۱ و دوباندهای^۲ قابل محاسبه و بازیابی است. با اینکه در الگوریتم دو باندهای، استفاده از دو باند حرارتی مجاور هم، باعث به حداقل رسیدن خطا در بازیابی دمای سطح می گردد [۱۹]، ولی بدلیل اینکه باند ۱۱ حرارتی لندست ۸ دارای بایاس و خطای بزرگ در محاسبه دماست [۳۹]. از این رو ناچار به استفاده از الگوریتم های تک باندهای یعنی فقط باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ هستیم. در این تحقیق برای محاسبه گسیلمندی سطح از روش مبتنی بر شاخص گیاهی و برای دمای سطح زمین، از

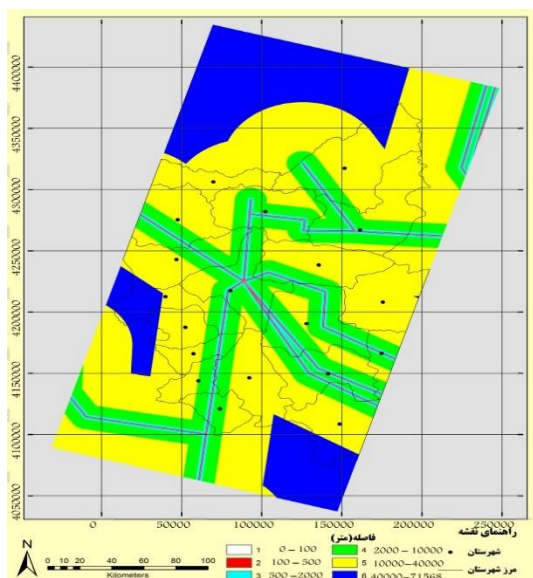
۴-۱-۳- لایه فاصله از چشمه‌های آب گرم

توزیع مکانی مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی که دارای ناهنجاری‌های حرارتی مثبت نسبت به اطراف خود می‌باشند، در ارتباط بسیار نزدیک با سایر شواهد حضور منابع زمین گرمایی بویژه چشمه‌های آب گرم می‌باشد. چشمه‌های آب گرم به عنوان مهم ترین جلوه‌های سطحی وجود این انرژی می‌باشند که به عنوان لایه اصلی، صرفاً در اعتبارسنجی مناطق مستعد این انرژی مورد استفاده قرار گرفت. لایه فاصله از چشمه‌های آب گرم برای تصاویر فصل سرد سال در انرژی زمین گرمایی، مطابق شکل (۱۰)، تهیه گردید. در این لایه مناطق نزدیکتر به چشمه‌های آب

^۱ Single channel algorithm

^۲ Split windows algorithm

به عنوان یک مزیت تلقی می‌گردد که موجب کاهش هزینه‌های انتقال انرژی می‌گردد. دوری مکان مورد نظر برای استقرار صنعت از خطوط انتقال نیرو، سبب افت ولتاژ در طول مسیر گردیده و کاهش راندمان کلی را موجب می‌گردد [۴۰].



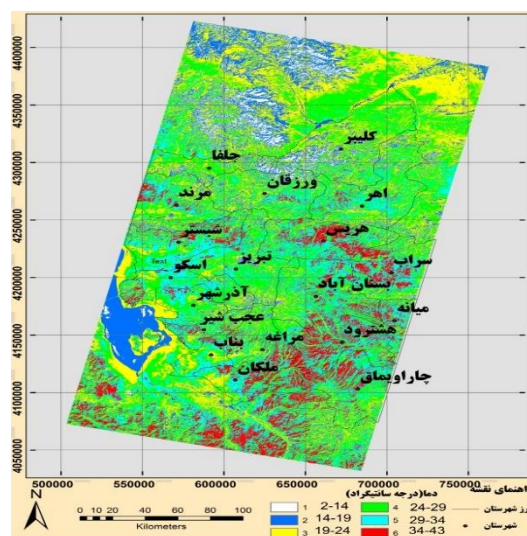
شکل ۱۳- نقشه طبقه‌بندی فاصله از خطوط انتقال نیرو

علاوه بر آن رعایت حداقل فاصله لازم از این خطوط الزامی می‌باشد. محدودیت فاصله از خطوط نیرو ۱۰۰ متر می‌باشد، به نحوی که کلاس مربوط به فاصله کمتر از ۱۰۰ متر از خطوط نیرو به دلیل قرارگیری در حریم این خطوط به عنوان کلاس نامناسب و سایر کلاس‌ها بر اساس نزدیکی به این خطوط وزن دهی می‌گردند [۴۱].

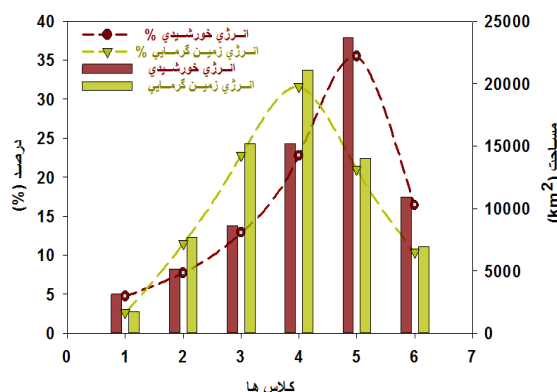
۴-۱-۶- لایه فاصله از راه‌های ارتباطی

نزدیکی به راه‌های ارتباطی به دلیل سهولت در دسترسی به محل، موجب کاهش هزینه‌های حمل تجهیزات در زمان احداث و بهره‌برداری از انرژی گردیده و در عین حال سبب کاهش هزینه رفت آمد کارکنان و پرسنل پشتیبانی می‌گردد. بنابراین، رعایت حداقل فاصله از راه‌های ارتباطی به عنوان حریم راه ضروری می‌باشد. محدودیت فاصله از راه‌های ارتباطی ۵۰۰ متر می‌باشد و مناطق با فاصله کمتر از ۵۰۰ متر به عنوان مناطق نامناسب می‌باشد [۴۱]. در این تحقیق، لایه فاصله از راه‌های ارتباطی برای تصاویر فصل گرم و فصل سرد سال پس از تهیه، مطابق شکل (۱۴)، بر اساس میزان فاصله به ۶ کلاس طبقه بندی گردید.

روش تک باندی [۳۷] استفاده گردید. در شکل (۱۱) و (۱۲)، لایه دمای سطح زمین در ۶ کلاس مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نقشه طبقه بندی دما



شکل ۱۲- درصد و مساحت لایه دمای سطح زمین

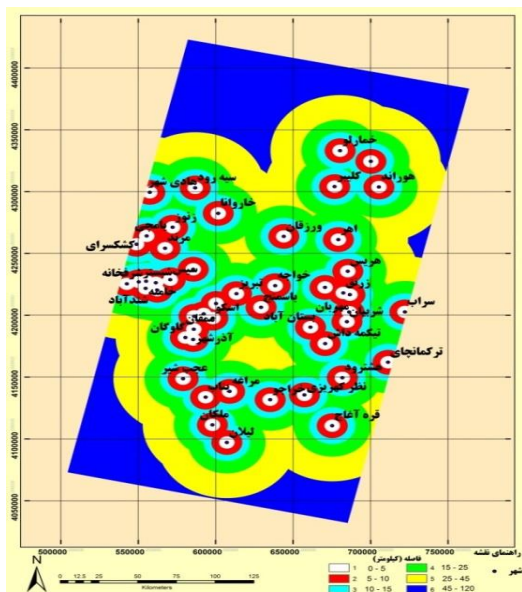
کلاس با بالاترین رنج دما به عنوان مطلوب‌ترین کلاس با ارزش بالاتر و کلاس با رنج دمای کمتر به عنوان نامناسب‌ترین کلاس در نظر گرفته شده است. در مقابل، نتایج مربوط به فصل سرد سال نشان می‌دهد مناطق با دمای سطحی بالا، کلاس با بیشترین رنج دمایی به عنوان بهترین و مطلوب‌ترین کلاس از لحاظ ارزش و کلاس با کمترین دما به عنوان کم ارزش‌ترین کلاس در نظر گرفته شده است و سایر کلاس‌ها نیز از لحاظ ارزش در حد فاصل این دو کلاس قرار دارند.

۴-۱-۵- لایه فاصله از خطوط نیرو

برق تولیدی در هر نیروگاه برای توزیع در شبکه، نیاز به خطوط انتقال نیرو دارد. نزدیکی به خطوط انتقال نیرو

۴-۱-۸- لایه فاصله از مناطق مسکونی

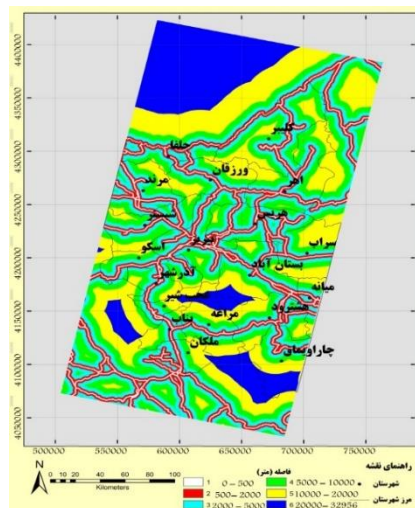
به منظور تحلیل مناطق مناسب احداث نیروگاه از لحاظ اقتصادی بودن، توجه به فاصله از مراکز جمعیتی و صنعتی امری ضروری می‌باشد. علاوه بر آن رعایت فاصله مناسب از شهرها و مراکز جمعیتی نیز لازم بوده و فاصله ۵۰۰۰ متری از شهرها و مراکز جمعیتی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شد [۴۳]. طبق استاندارد انرژی پاک ایران، فاصله تا ۲۵ کیلومتر تا شهرها و مراکز صنعتی برای احداث نیروگاه مقرون به صرفه می‌باشد و فاصله بیشتر از ۴۵ کیلومتر از مناطق شهری نامناسب می‌باشد [۴۱]. در این تحقیق، پس از تهیه لایه فاصله از مراکز جمعیتی، مطابق شکل (۱۶)، در ۶ کلاس طبقه بندی گردید. کلاس اول به دلیل قرارگیری در حریم شهر به عنوان کلاس نامناسب با وزن کمتر و کلاس بعدی به دلیل نزدیکی به شهرها، بهترین کلاس و به تناسب، کلاس‌های بعدی با افزایش فاصله از شهرها دارای وزن کمتر می‌باشند.



شکل ۱۶- نقشه طبقه‌بندی فاصله از مناطق مسکونی

۴-۱-۹- لایه کاربری اراضی

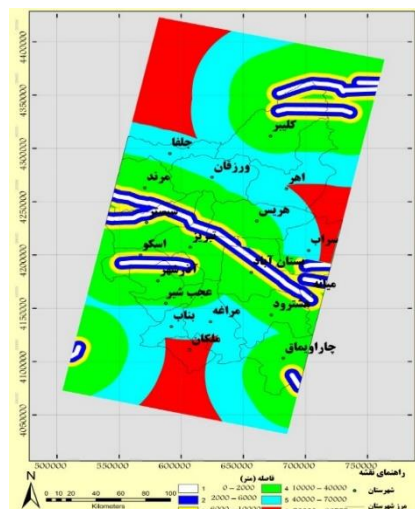
لایه کاربری اراضی مطابق شکل (۱۷)، طبقه بندی و آماده گردید.



شکل ۱۴- نقشه طبقه‌بندی فاصله از خطوط انتقال نیرو

۴-۱-۷- لایه فاصله از گسل‌ها

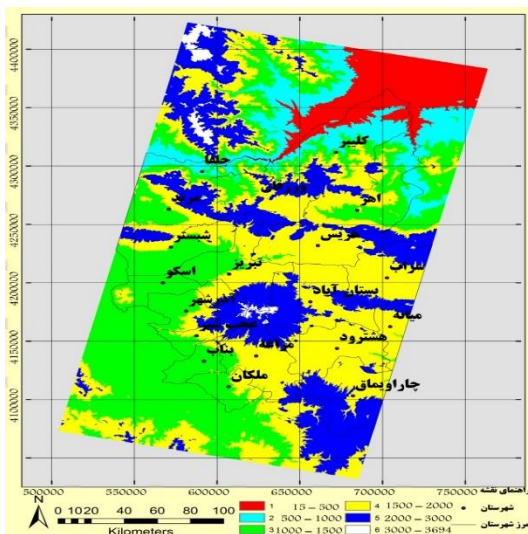
گسل اصلی در منطقه مورد مطالعه، مطابق شکل (۱۵)، گسل تبریز می‌باشد که به عنوان گسل ترکیبی بوده و از به هم پیوستن چند گسل دیگر تشکیل شده است [۴۲]. رعایت فاصله و حریم مناسب از گسل‌های فعال به منظور حصول اطمینان از امنیت تاسیسات احداثی امری ضروری می‌باشد. در این خصوص رعایت حریم ۲۰۰۰ متری از گسل‌های فعال امری لازم می‌باشد [۴۳]. این لایه برای تصاویر فصل گرم، بر اساس فاصله از گسل‌ها در ۶ کلاس طبقه بندی گردید و وزن کلاس‌ها بر اساس افزایش فاصله از گسل تعیین گردید. همچنین، برای تصاویر فصل سرد سال مربوط به انرژی زمین‌گرمایی نیز، کلاسی به دلیل قرارگیری در حریم گسل دارای کمترین وزن و کلاس‌های بعدی با توجه به نزدیکی به حریم گسل‌ها، به ترتیب دارای بیشترین ارزش از لحاظ پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی در نظر گرفته شدند.



شکل ۱۵- نقشه طبقه‌بندی فاصله از گسل‌ها

۴-۱-۱۱- لایه ارتفاع

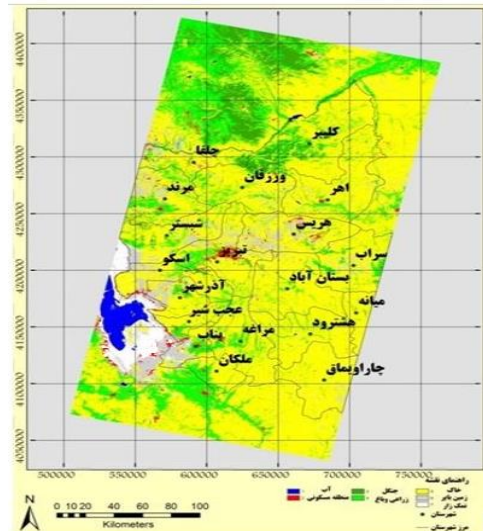
هر چند افزایش یا کاهش ارتفاع برابر با افزایش یا کاهش جذب تابش خورشیدی می‌باشد [۱]، ولی با توجه به محدودیت انتقال تجهیزات و میزان هزینه لازم جهت انتقال تجهیزات احداث نیروگاه‌های بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و زمین‌گرایی و نیز جهت سهولت رفت و آمد کارکنان چه در مرحله ساخت و چه بهره‌برداری، رعایت ارتفاع مجاز از سطح دریا امری لازم و ضروری می‌باشد. معمولاً مناطق با ارتفاع بالاتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا به عنوان مناطق نامناسب تلقی می‌گردد [۴۱]. در این تحقیق پس از تهیه لایه ارتفاع از تصاویر مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه، لایه ارتفاعی برای تصاویر فصل گرم و سرد سال مطابق شکل (۱۹)، در هر مورد به ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید و کلاس با ارتفاع کمتر از ۵۰۰ متر از سطح دریا به عنوان مناطق بسیار مناسب و کلاس‌های با ارتفاع بیشتر در درجه‌های بعدی در نظر گرفته شدند.



شکل ۱۹- نقشه طبقه بندی ارتفاع

۴-۱-۱۲- لایه شیب

شیب یکی از لایه‌های تاثیرگذار در احداث نیروگاه بوده و با افزایش شیب، توان اراضی برای کاربری صنعتی کاهش می‌یابد [۴۰]. علاوه بر آن میزان شیب در میزان جذب انرژی خورشیدی نقش بسزایی دارد [۱]. مناطق با شیب بالای ۱۰ درصد عملاً مناطق ضعیف و نامناسب برای احداث نیروگاه می‌باشند [۴۳]. پس از تهیه لایه شیب، لایه مربوطه مطابق شکل (۲۰)، بر اساس رنج شیب به ۶

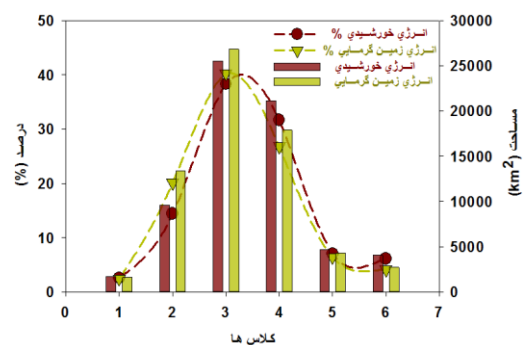


شکل ۱۷- نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی

زمین‌های نمکی و آبی دارای کمترین ارزش وزنی و به عنوان نامناسبترین کلاس‌ها و کلاس ششم با کاربری زمین بایر، با ارزش‌ترین و سایر کلاسها با کاربریهای خاک، زمین-های زراعی و کشاورزی، جنگل و مناطق مسکونی به ترتیب در اولویت‌های بعدی از لحاظ ارزش قرار گرفتند.

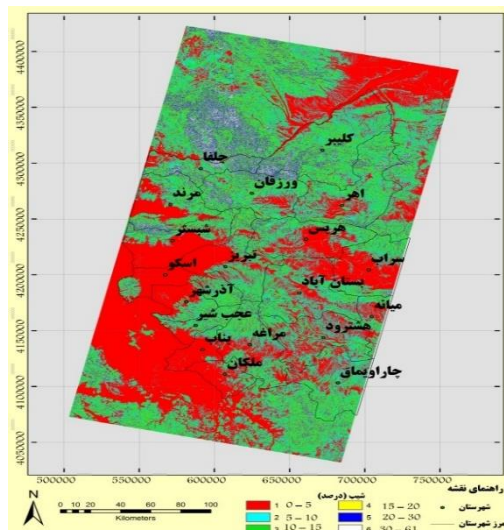
۴-۱-۱۰- لایه پوشش گیاهی

پس از تهیه، لایه پوشش گیاهی بر اساس شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده به ۶ کلاس، طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری گردید، به نحوی که در هر مورد (انرژی خورشیدی و زمین‌گرایی) برای تصاویر فصل سرد و گرم سال، مناطق با رنج شاخص بین ۰ تا ۱- که مربوط به مناطق آبی می‌باشد به دلیل عدم امکان برای احداث و بهره‌برداری از انرژی دارای کمترین ارزش و کلاس‌های با رنج کمتر که بیانگر پوشش کم گیاهی می‌باشد، دارای ارزش بالاتر و به ترتیب با افزایش رنج شاخص پوشش گیاهی ارزش کلاس‌ها کاهش می‌یابد. شکل (۱۸) درصد و مساحت‌های تشکیل دهنده هر کلاس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- درصد و مساحت‌های تشکیل دهنده هر کلاس

کلاس طبقه‌بندی گردید و مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد به عنوان مناطق بسیار مناسب، ۵-۱۰ درصد به عنوان مناطق مناسب، و مناطق با شیب بالاتر دارای ارزش کمتر در نظر گرفته شدند.



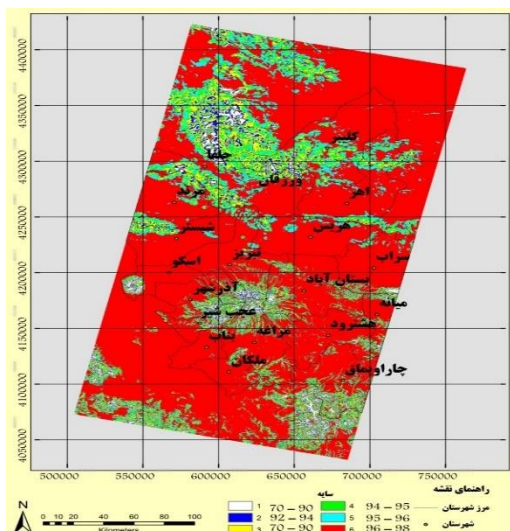
شکل ۲۰- نقشه طبقه بندی شیب

۴-۱-۱۳- لایه جهت شیب

جهت شیب در میزان جذب تابش خورشیدی موثر می‌باشد [۱]. جهت گیرنده‌های خورشیدی باید به گونه‌ای باشد که در طول روز از بیشترین مقدار دریافت انرژی خورشیدی بهره‌مند شوند. لذا جهاتی که رو به جنوب و جنوب شرقی می‌باشند از اهمیت بیشتری نسبت به سایر جهات برخوردار خواهند بود [۴۰]. لایه جهت شیب تهیه شده از تصاویر فصل گرم، بر اساس جهت به ده کلاس با توجه به ترکیب جهت‌های مختلف جغرافیایی، طبقه‌بندی گردید و کلاس‌های مربوط به جهات جنوبی و جنوب شرقی نسب به سایر کلاس‌ها، دارای ارزش بالاتری در نظر گرفته شده‌اند. کلاس با رنج ۲۰۲/۵ - ۱۵۷/۵ درجه با جهت جنوبی به عنوان با ارزش‌ترین لایه با وزن ۶ و کلاس برای زمین‌های هموار و جهت‌های شمالی دارای ارزش کمتری می‌باشند. در لایه جهت شیب تهیه شده از تصاویر سرد سال برای انرژی زمین‌گرمایی، جهت‌های شمالی که انرژی خورشیدی کمتری دریافت می‌کند، به دلیل تاثیر کم خورشید، دارای ارزش بالاتری نسبت به جهت‌های جنوبی می‌باشند و برعکس.

۴-۱-۱۴- لایه سایه

مهم‌ترین عامل از نظر کنترل انرژی خورشید، ابرناکی آسمان می‌باشد. ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را بر می‌گردانند [۴۰]. پس از تهیه لایه سایه برای تصاویر مربوط به فصل گرم سال، این لایه در ۶ کلاس طبقه‌بندی گردید که وضعیت یکنواختی در بیشتر نقاط استان از این نظر حاکم می‌بود، شکل (۲۱).



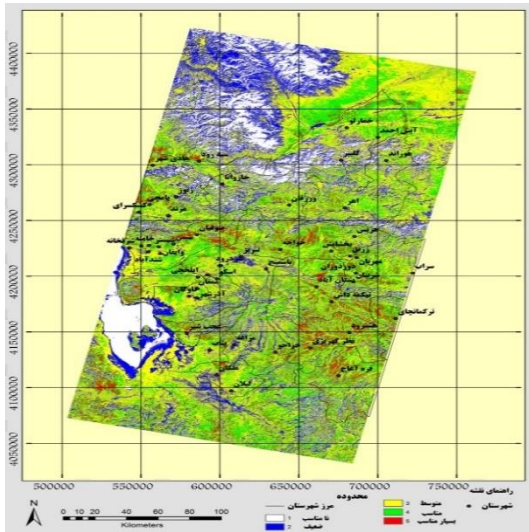
شکل ۲۱- نقشه طبقه بندی لایه سایه

۴-۲- وزن دهی به معیارها و لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و وزن دهی به کلاس‌های هر لایه، وزن هر لایه بر اساس میزان اهمیت و تاثیر لایه در شناسایی مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و اخذ نظریه کارشناسان در تحقیقات مختلف تعیین گردید. پارامتر سازگاری وزنها کمتر از ۲ درصد بود. نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی و تعیین وزن معیارها مطابق شکل (۲۲) بر حسب درصد مشخص گردید.

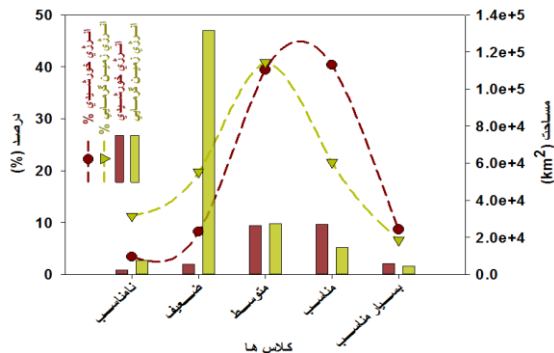
پس از تعیین وزن لایه‌ها و معیارهای اطلاعاتی تأثیرگذار، بر اساس میزان اهمیت آنها، تلفیق وزن دار لایه‌های اطلاعاتی انجام گرفت و هر کدام از لایه‌ها بر اساس میزان تاثیر خود در مکانیابی نهایی مناطق مستعد، با سایر لایه‌ها تلفیق گشتند.

(۲۳) ارائه گردیده است. همچنین مناطق مستعدتر انرژی زمین گرمایی مطابق شکل (۲۴) تهیه گردید.



شکل ۲۴- نقشه مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی

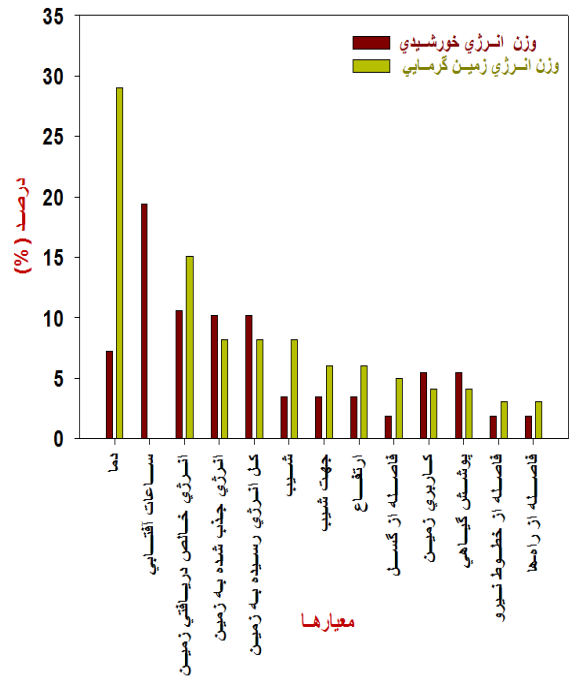
همانطور که در شکل (۲۴) دیده می شود. محدوده این انرژی در بیشتر مناطق استان، بویژه در جنوب و جنوب شرقی استان، قسمت های مرکزی و نیز مناطقی از شمال غربی و شمال شرقی استان پراکنده گشته اند. شکل (۲۵) درصد و مساحت های تشکیل دهنده مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی را نشان می دهد.



شکل ۲۵- درصد و مساحت های تشکیل دهنده مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی

۴-۴-۱- اعتبار سنجی نتایج حاصل برای انرژی خورشیدی

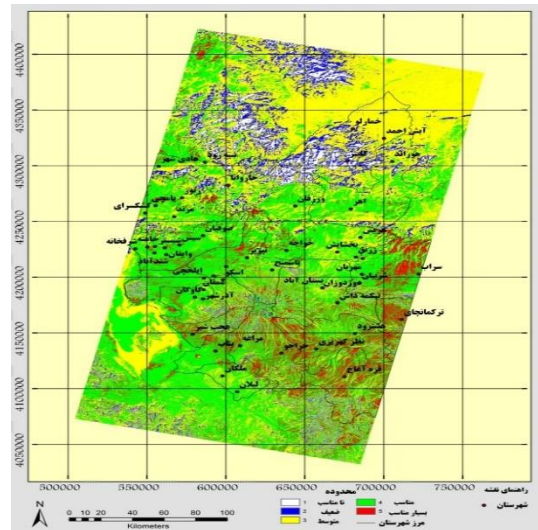
در مورد اعتبار سنجی نتایج، لازم به توضیح است که داده ها و اطلاعات میدانی حداقلی، در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، زیرا تعیین نیروگاههای زمین گرمایی و خورشیدی در مرحله تحقیق بوده و تا امروز، فقط یک



شکل ۲۲- وزن معیارها مطابق بر حسب درصد

۴-۳- تلفیق لایه های اطلاعاتی وزن دار

با تلفیق لایه های اطلاعاتی وزن دار، مطابق شکل (۲۳)، لایه مناطق مستعد انرژی خورشیدی تهیه گردید. نقشه مناطق مستعد به ۵ کلاس بسیار مناسب، مناسب، متوسط، ضعیف و نامناسب تقسیم بندی گردیدند.



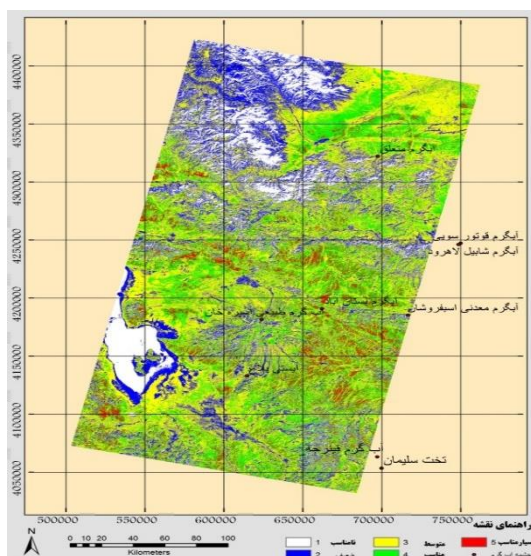
شکل ۲۳- نقشه مناطق مستعد انرژی خورشیدی

مطابق شکل (۲۳) بیشتر مناطق مستعدتر برای انرژی خورشیدی، در جنوب و جنوب شرقی استان واقع گردیده و قسمتی نیز در بخش مرکزی استان واقع گردیده است. مساحت و درصد مربوط به هر یک از محدوده ها در شکل

۴-۴-۲- اعتبارسنجی نتایج انرژی زمین گرمایی

برای اعتبارسنجی نتایج مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی، هم از نقشه تهیه شده توسط ساتبا و هم از لایه چشمه های آب گرم منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. در مرحله اول، از لایه چشمه های آب گرم منطقه مورد مطالعه به عنوان مهم ترین جلوه های سطحی انرژی زمین گرمایی در سطح زمین، استفاده شد. براساس شکل (۲۷) مربوط به موقعیت چشمه های آب گرم، ملاحظه گردید که مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی (کلاسهای مناسب و بسیار مناسب) مطابقت خوبی با موقعیت چشمه های آب گرم منطقه دارند که از گوگل ارث حاصل شده است.

همچنین در مرحله دوم، برای اعتبارسنجی نتایج مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی، از نقشه کلی تهیه شده بروش زمین شناسی توسط ساتبا مورد مطالعه و ارزیابی بصری قرار گرفت. در این تحقیق نتایج مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی بیشتر در جنوب و جنوب شرقی منطقه، همچنین قسمت های مرکزی و نیز مناطقی از شمال غربی و شمال شرقی پراکنده گشته اند.

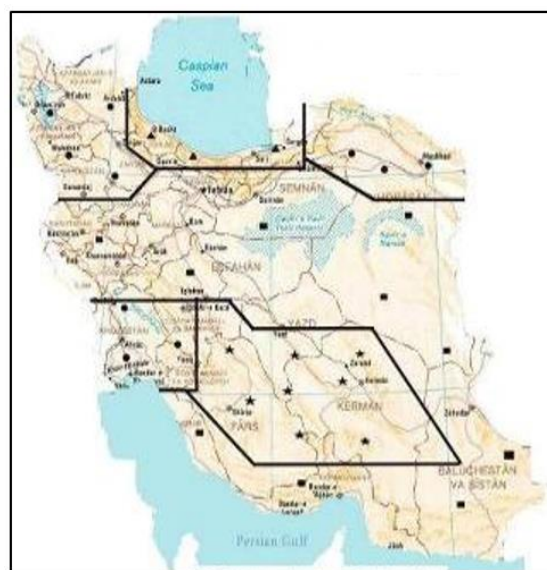


شکل ۲۷- انطباق نتایج مناطق زمین گرمایی با چشمه های آب گرم

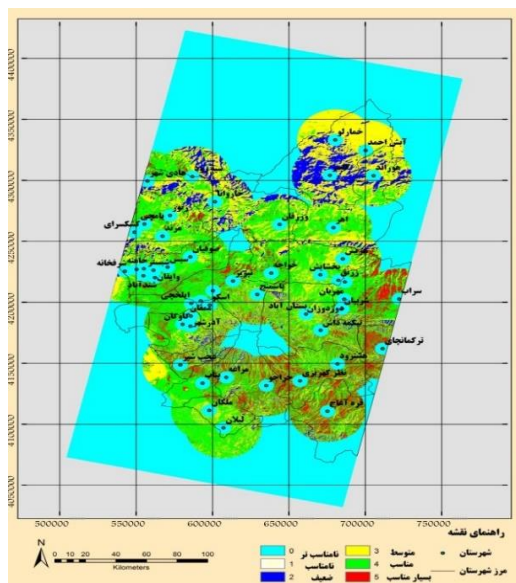
نقشه مناطق مستعد انرژی زمین گرمایی به خوبی با شکل (۲۸)، که مربوط به پتانسیل انرژی زمین گرمایی زمین شناسی در ایران بوده و توسط سازمان ساتبا ارائه گردیده مطابقت بالایی دارد.

نیروگاه زمین گرمایی در منطقه آذربایجان (سرعین اردبیل) ایجاد گردیده است. لذا برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از انرژی خورشیدی، که بیشتر مناطق مستعدتر در جنوب و جنوب شرقی و قسمتی نیز در بخش مرکزی استان واقع گردیده است، از دو منظر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مرحله اول، انطباق مناطق استخراجی با آمار مجموع ساعات آفتابی ۱۰ ساله ایستگاههای هواشناسی استان مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد در مناطق مستعد شناسایی شده (جنوب و جنوب شرقی)، آمار ساعات دارای مقدار عددی بالاتر می باشد. همچنین در مرحله دوم، نتایج حاصل از انرژی خورشیدی از منظر سنجش از دور، با نقشه کلی پیشنهادی سازمان انرژی های تجدید پذیر و بهره وری انرژی برق ساتبا که از منظر عوامل زمین شناسی ارائه گردیده بود، مورد ارزیابی بصری قرار گرفت که سازگاری و مطابقت ناحیه ای بالایی را داراست.

همانطور که مشاهده می گردد، پتانسیل تابش انرژی خورشیدی در ایران که توسط سازمان انرژی های تجدید پذیر و بهره وری انرژی برق (ساتبا) ارائه گردیده است، منطقه شمال غرب ایران در رده متوسط از لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی می باشد همچنین، مطابق شکل (۲۶)، بیشتر مناطق مستعد برای انرژی خورشیدی، در جنوب و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده است و قسمتی نیز در بخش مرکزی آن واقع شده است که انطباق خوبی با نقشه خروجی این تحقیق دارد.

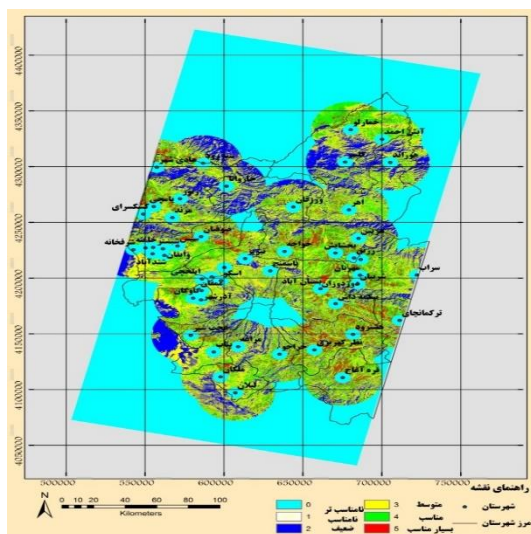


شکل ۲۶- پتانسیل انرژی خورشیدی از منظر زمین شناسی (ساتبا)

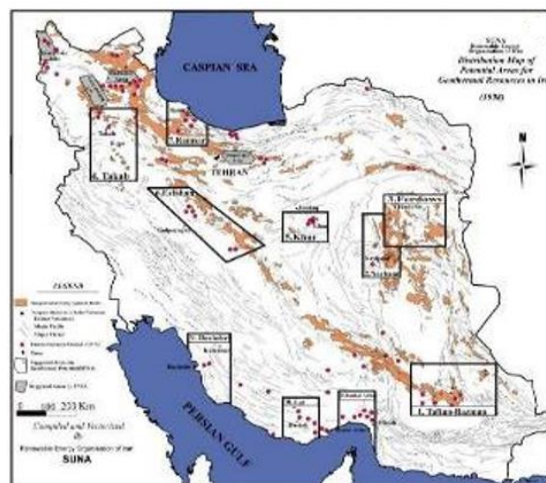


شکل ۲۹- نتایج مناطق مستعد انرژی خورشیدی از منظر اقتصادی

در عین حال مطابق شکل (۲۹)، مناطق مستعد انرژی خورشیدی بیشتر در مناطق جنوب و جنوب شرقی و نیز قسمتی از مناطق مرکزی منطقه پراکنده شده و اطراف شهرهای مراغه، عجب‌شیر، بناب در جنوب، اطراف سراب، ترکمنچای، میانه و قره‌آغاج در جنوب شرقی و اطراف تبریز در مرکز و مرند در شمال جزو مناطق مستعد این انرژی حاصل گردید. همین روند مطابق شکل (۳۰) برای مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی نیز انجام گرفت، مناطق اطراف شهرهای سراب، میانه و ترکمنچای و هشتگرد و قره‌آغاج در جنوب شرقی منطقه، مناطق مرکزی چون بستان‌آباد و خواجه و قسمت‌های از شمال تبریز، مناطق شمالی شامل قسمت‌هایی از اطراف اهر، ورزقان و هادی-شهر دارای پتانسیل مناسب انرژی زمین‌گرمایی می‌باشند.



شکل ۳۰- نتایج مناطق مستعد زمین‌گرمایی از منظر اقتصادی

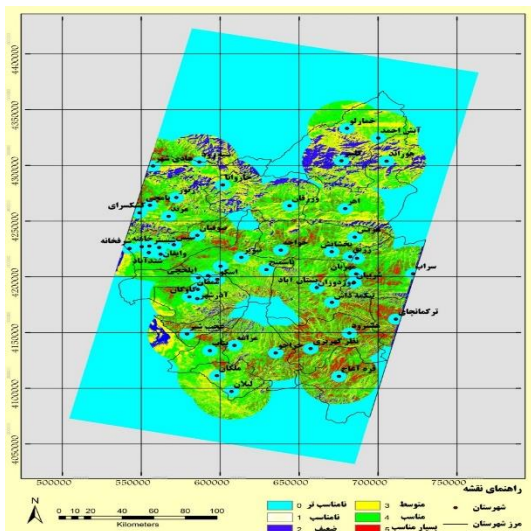


شکل ۲۸- نقشه کلی مناطق مستعد زمین‌گرمایی زمین‌شناسی (ساتبا)

بر این اساس نتایج حاصل این تحقیق از منظر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، با مطالعات انجام شده بروش زمین‌شناسی توسط سازمان انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) دارای سازگاری و مطابقت ناحیه‌ای و منطقه‌ای خوبی است.

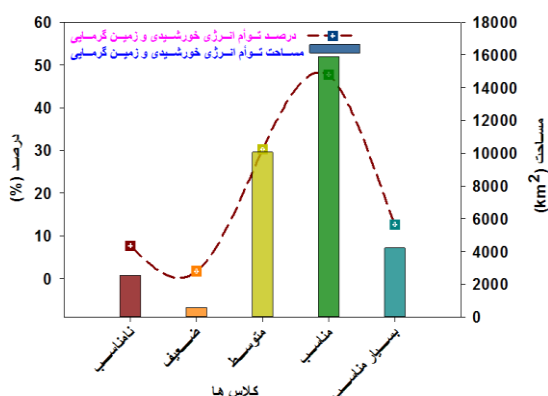
۴-۵- تحلیل اقتصادی بودن مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین‌گرمایی

با توجه به اهمیت نزدیکی فاصله نیروگاهها به مراکز مصرف که موجب کاهش اتلاف انرژی و همچنین کاهش هزینه انتقال انرژی می‌گردد، مناطق مستعد انرژی خورشیدی با لایه فاصله از مناطق مسکونی مورد تحلیل قرار گرفت و در نهایت، مطابق شکل (۲۹)، نقشه نهایی مناطق مستعد تهیه گردید. با توجه به اینکه فاصله بالاتر از ۲۵ کیلومتر از مراکز جمعیتی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد، لذا در این تحقیق، مناطقی که در فاصله کمتر از ۵ کیلومتر (حریم شهرها و مراکز جمعیتی) از مراکز جمعیتی و همچنین در فاصله بیش از ۲۵ کیلومتر قرار دارند، به عنوان مناطق نامناسب‌تر، که جهت بهره‌برداری و ایجاد تجهیزات اصلاً مناسب نمی‌باشند از مناطق مستعد حذف گردیدند. بقیه مناطق در ۵ کلاس مناطق نامناسب، ضعیف، متوسط، مناسب و بسیار مناسب طبقه‌بندی گردیدند.



شکل ۳۲- مناطق مستعد توأم انرژی خورشیدی و زمین گرمایی

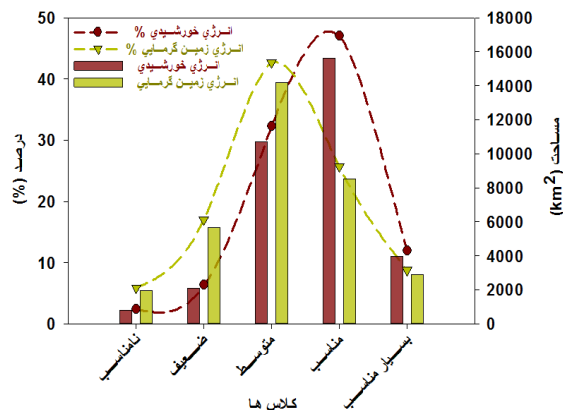
نتایج نشان می‌دهد، همچنان نقاط جنوب، جنوب شرقی، قسمتهایی از مرکز منطقه مورد مطالعه و نیز مناطقی از شمال و شمال غرب آن دارای پتانسیل مناسبی هم از لحاظ انرژی زمین گرمایی و هم انرژی خورشیدی می‌باشند. پس از کسر حریم ۵ کیلومتری مراکز جمعیتی و نیز حذف مناطق با فاصله بالای ۲۵ کیلومتر از مراکز جمعیتی به دلیل مقرون به صرفه نبودن از لحاظ اقتصادی، باقیمانده مناطق مستعد، در ۵ کلاس از لحاظ پتانسیل لازم، طبقه بندی گردید و مناطق نامناسب، ضعیف، متوسط، مناسب و بسیار مناسب، مشخص گردیدند.



شکل ۳۲- مقادیر کمی توأم انرژی خورشیدی و زمین گرمایی

مقادیر کمی نتایج، نشان می‌دهد که حدود ۵۹ درصد از مناطق بصورت توأم بیانگر مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی هستند که در نقاط جنوب، جنوب شرقی، قسمتهایی از مرکز استان و نیز مناطقی از شمال و شمال غرب استان دارای پتانسیل مناسبی از لحاظ انرژی زمین گرمایی و خورشیدی می‌باشند.

مقادیر کمی نتایج مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی از منظر اقتصادی در شکل (۳۱) بصورت درصدی و مساحت تشکیل دهنده هر کلاس نمایش داده شده است.



شکل ۳۱- مقادیر کمی نتایج مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی از منظر اقتصادی

همانطور که در شکل (۳۱) مشاهده می‌گردد در مجموع حدود ۵۱ درصد از نتایج انرژی خورشیدی در مناطق مناسب و بسیار مناسب، و حدود ۳۰٪ از نتایج انرژی زمین گرمایی در مناطق مناسب و بسیار مناسب واقع شده‌اند.

۶-۴- نتایج مناطق مستعد توأم انرژی خورشیدی و زمین گرمایی

شناسایی مناطق مستعد توأم انرژی زمین گرمایی و خورشیدی در منطقه می‌تواند به عنوان یک نوآوری، در کاهش هزینه احداث نیروگاهها و همچنین افزایش کارایی در بهره‌برداری هر چه بیشتر انرژی بسیار مؤثر باشد. لذا در این تحقیق، پس از شناسایی مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی به صورت مجزا، با تلفیق دو لایه نهایی مناطق مستعد، اقدام به شناسایی توأم مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی گردید. با انجام این امر در نقشه نهایی تهیه شده، در واقع همزمان پتانسیل هر نقطه از نظر انرژی زمین گرمایی و خورشیدی مطابق شکل (۳۲)، مشخص گردید.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

هدف از این تحقیق، ارائه یک رویکرد ترکیبی از لایه های خروجی الگوریتم سبال همراه با تحلیل چند معیاره از عوامل مختلف محیطی، اجتماعی- اقتصادی، داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی، در مکانیابی مناطق مستعد توأمان انرژیهای زمین‌گرمایی و خورشیدی می باشد. شناسایی و مکانیابی مطلوب توأمان این مناطق در کنار هم یا نزدیک هم نه تنها می توانند بعنوان خروجی مکمل هم باشند، بلکه با تلفیق دو لایه حاصل جهت امکان سنجی توأم این دو انرژی در منطقه به منظور پوشش نقایص موجود در بهره‌برداری انفرادی از هر یک از دو انرژی را فراهم می‌آورد. بدیهی است شناسایی چنین مناطقی، نیازمند شناخت دقیق عوامل و معیارهای مؤثر آن می‌باشد. برای این منظور، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی سنجنده رادار شاتل و در مجموع از پانزده لایه اطلاعاتی از زمین‌شناسی، محیطی و تصاویر ماهواره‌ای و از یک لایه (فاصله از مناطق مسکونی) نیز جهت تحلیل اقتصادی بودن نتایج استفاده گردید. سپس با توجه به اهمیت آنها، این لایه‌ها با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، ارزش‌گذاری و وزن‌دهی گردیدند. سپس با تلفیق لایه‌های وزن‌دار، آشکارسازی و مکانیابی مناطق مستعد انرژیهای زمین‌گرمایی و خورشیدی تهیه گردید.

این تحقیق، از سه منظر دارای تفاوت‌های اساسی با تحقیقات قبلی می‌باشد. اول اینکه، پایش و ارزیابی انرژی خورشیدی و انرژی زمین‌گرمایی بصورت توأمان و بعنوان مکمل هم مورد مطالعه قرار گرفته اند. دوم، در اغلب مطالعات مختلف قبلی با استفاده از نقشه آنامولی دمای سطح، مناطق مستعد زمین‌گرمایی را شناسایی و تعیین کرده اند، در اغلب این روشها با مدل‌های مختلفی نظیر مدل های سویچ و کولبو اثر خورشید در سطح زمین را مدلسازی کرده و با نقشه دمای مشاهداتی حاصل از سنجنده های حرارتی مقایسه نموده و نقشه آنامولی دمای سطح را تعیین کرده اند. در این تحقیق، بجای استفاده از مدل‌های مذکور، از شارهای گرمایی و حرارتی حاصل از الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) استفاده شده است. سوم، بمنظور بررسی جامع در این تحقیق، گروه‌های مختلف داده‌های زمین‌شناسی، محیطی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی، ابتدا کمی‌سازی گردیده‌اند و

سپس به کمک تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با همدیگر ادغام گردیده‌اند. همچنین، جهت بررسی اقتصادی بودن نتایج حاصل، با در نظر گرفتن دو عامل اصلی، مراکز جمعیتی- صنعتی و فاصله مناطق استخراجی از این مراکز، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناطق مناسب جهت بهره‌برداری و احداث نیروگاهها مشخص گردید.

جهت اعتبارسنجی نتایج حاصل، با توجه به اینکه داده‌ها و اطلاعات میدانی حداقلی در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد، زیرا تعیین نیروگاههای زمین‌گرمایی و خورشیدی در مرحله تحقیق می باشد، لذا برای اعتبار سنجی نتایج انرژی زمین‌گرمایی، در مرحله اول، از لایه چشمه های آب گرم منطقه مورد مطالعه به عنوان مهم ترین جلوه های سطحی انرژی زمین‌گرمایی در سطح زمین، استفاده شد. براساس موقعیت چشمه های آب گرم در منطقه مورد مطالعه، ملاحظه گردید که مناطق مستعد انرژی زمین‌گرمایی مطابقت خوبی با موقعیت چشمه های آب گرم منطقه دارند. در مرحله دوم، نتایج حاصل نشان می دهد که مناطق مستعدتر انرژی زمین‌گرمایی در بیشتر مناطق استان، بویژه در جنوب و جنوب شرقی استان، قسمت های مرکزی و نیز مناطقی از شمال غربی و شمال شرقی استان پراکنده گشته اند. که بر این اساس نتایج حاصل این تحقیق از منظر سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، با مطالعات انجام شده بروش زمین شناسی توسط سازمان انرژی های تجدید پذیر و بهره وری انرژی برق (ساتبا) دارای سازگاری و مطابقت ناحیه ای و منطقه‌ای خوبی است. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از انرژی خورشیدی در این تحقیق، که بیشتر مناطق مستعدتر در جنوب و جنوب شرقی و قسمتی نیز در بخش مرکزی استان واقع گردیده است، از دو منظر مورد ارزیابی قرار گرفته است. در مرحله اول، انطباق مناطق استخراجی با آمار مجموع ساعات آفتابی ده ساله ایستگاههای هواشناسی مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین در مرحله دوم دوم، نتایج حاصل از انرژی خورشیدی از منظر سنجش از دور در این پژوهش، با نقشه پیشنهادی سازمان انرژی های تجدید پذیر و بهره وری انرژی برق ساتبا که از منظر عوامل زمین‌شناسی و محیطی ارائه گردیده است، مورد ارزیابی قرار گرفت که سازگاری و مطابقت ناحیه ای بالایی را دارا بودند. همچنین، جهت

چاه‌های نفت رها شده در تولید انرژی های زمین گرمایی بعنوان مکمل انرژی خورشیدی استفاده شود. زیرا استفاده از چاه های نفت رها شده به عنوان نیروگاه زمین گرمایی ایده ی کاربردی خوبی است در این روش ۵۰ درصد از هزینه های اولیه حل شده و مسائل مربوط به مسدود کردن چاه های نفت از بین می‌رود. مسئله اصلی این است که اکثر چاه های نفت در مناطقی که زمین‌گرادیان دمای زیاد دارد بنا نشده اند. در این موارد نیز می توان از آن ها برای گرم کردن آب برای مصارف خانگی و صنعتی استفاده نمود. تحقیق، توسعه و سرمایه گذاری بر روی این موارد و موارد مشابه می تواند به روش های اقتصادی تر در حوزه رقابتی انرژی های تجدیدپذیر منجر شود که به صرفه بودن برخی از آن ها به طور قطع اثبات شده است و پیش بینی می شود با توجه به عزم جهانی برای استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در آینده به طور فراگیر مورد استفاده و سرمایه گذاری واقع گردند.

بررسی اقتصادی بودن، نتایج حاصل با در نظر گرفتن مراکز جمعیتی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مناطق مناسب جهت بهره‌برداری و احداث نیروگاهها مشخص گردید. مقادیر کمی نتایج، نشان می دهد که حدود ۵۹ درصد از مناطق بصورت توأم بیانگر مناطق مستعد انرژی خورشیدی و زمین گرمایی هستند که در نقاط جنوب، جنوب شرقی، قسمتهایی از مرکز استان و نیز مناطقی از شمال و شمال غرب استان دارای پتانسیل مناسبی از لحاظ انرژی زمین گرمایی و خورشیدی می باشند.

در ایران، بزرگترین مشکل برای توسعه انرژیهای تجدیدپذیر عدم فعال شدن قانون‌های بالادستی مربوطه به دولت و مدیران تصمیم گیر است. بایستی مدل‌های تأمین مالی توسعه انرژیهای تجدیدپذیر تغییر کند. همچنین در کنار این سیاست های تاثیرگذار، پیشنهاد می شود از تصاویر بزرگ مقیاس پهپاد ها یا تصاویر ماهواره با قدرت تفکیک مکانی بالا برای مطالعه دقیق تومان انرژی های تجدیدپذیر استفاده گردد. همچنین پیشنهاد می گردد از

مراجع

- [1] Ahmadi, H., J. Morshedi, and F. Azimi.,(2016) "Site selection of solar power plant using Geospatial Information System and climatic data (Case study: Ilam province)". *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(1): p. 41-57, (Persian).
- [2] J. C. Holzhaider, M. D. Sibley, A .H. Taylor, P. J. Singh, R. D. Gray, and G. R. Hunt,(2011) "The social structure of New Caledonian crows," *Animal Behaviour*, vol. 81, pp. 83-9.
- [3] Kaabi Nejadian, A. and S.A.A. Jafarymosavy, (2010) "Potential of solar energy use and reducing greenhouse gases emissions in Ahvaz". *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 2(1) (Persian).
- [4] H. Yousefi, S. Ehara, and Y. Noorollahi, "Geothermal potential site selection using GIS in Iran, (2007)" in *Proceedings of the 32nd workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University, Stanford, California, pp. 174-82.
- [5] H. Shakouri,G. A. Kazemi, S. Abdolhpour, and S.-M.-R. Goldansaz,(2020) "Economic, Social and Environmental Assessment of Electricity Generation from Renewable and Gas Technologies," *Iranian Journal of Energy*, vol. 23, pp. 7-33, 2020
- [6] Sadeqi Z, Dalalbashi Esfahani Z, Horri H R,(2013) "Prioritize the Factors Affecting the Location of Renewable Energy Plants (Solar and Wind Energy) in Kerman Province Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making Techniques." *quarterly journal of energy policy and planning research*. 1 (2) :93-110, (Persian).
- [7] Esmaeel, T., Rezaei Abdolali, A, Alavi Panah , S.K, Jahantab,Z., Rahmati, A.,(2015), "Estimation of the instantaneous short wavelength solar radiation using satellite images of MODIS (Case study: Central regions of Iran)", *RS & GIS for Natural Resources* ,Vol. 6, Issue 1, (Persian).
- [8] al-Madrasi,S.A., and Marzban, M.,(2014), "Estimation of Solar Radiation Potential Using Remote Sensing Data Case Study (Yazd Province)", *National Conference on the Application of Advanced Models of Spatial Analysis (Remote Sensing and GIS) in Land Use Planning*, Yazd Islamic Azad University, (Persian).
- [9] Ahmadizadeh, S.R., Arasteh, F., Fana'i Kheirabad, G.A., Ashrafi, A.,(2014), "Identification of Geothermal Potentials Using Thermal Remote Sensing In South Khorasan", *Environmental Research*, Vol. 5, No. 10, p 135 – 144, 2014, (Persian).
- [10] J. R. Janke, "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado,(2010)," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2228-2234.

- [11] C. Kienholz, A. Prakash, and A. Kolker, (2009), "Geothermal exploration in Akutan, Alaska, using multitemporal thermal infrared images," in AGU Fall Meeting Abstracts.
- [12] O. A. Omitaomu, B. R. Blevins, W. C. Jochem, G. T. Mays, R. Belles, S. W. Hadley, et al., (2012), "Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites," *Applied Energy*, vol. 96, pp. 292-301.
- [13] Q. Qin, N. Zhang, P. Nan, and L. Chai, (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*, vol. 13, pp. 552-559.
- [14] A. M. P. von Bayern, R. J. P. Heathcote, C. Rutz, and A. Kacelnik, (2009), "The role of experience in problem solving and innovative tool use in crows," *Current Biology*, vol. 19, pp. 1965-1968.
- [15] E. C. Teeling, M. S. Springer, O. Madsen, P. Bates, S. J. O'Brien, and W. J. Murphy, (2005), "A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record," *Science*, vol. 307, pp. 580-584-580.
- [16] The Alex Foundation, (2007), "Alex the African grey parrot and subject of landmark studies of bird intelligence dies at 31," ed. Waltham, MA: The Alex Foundation .
- [17] Soleimankhani, A., (2021), "Identification of policy instruments for renewable energy development in iran.", *Art of Green Management*, 1(1): 73-86, (Persian).
- [18] Ghaderi, S., Khanzadi, A. and Karimi, M.S., (2021), "Evaluating and Analyzing the Effects of Green Tax Policy Enforcement on Renewable Energies Development in Iran.", *Journal of Development and Capital*, 5(2): 105-121, (Persian).
- [19] A. Monavariyan, S. Vatankhah Moghaddam, Shah Hoseini, Mohammad Ali, S. K. Vaezi, and Y. Noorollahi, (2020), "Designing of Policy Making Model of Renewable Energy Development in Iran," *Public Policy*, vol. 6, pp. 115-134.
- [20] Amani, N. and Moghadas Mashhad, M., (2020), The Feasibility of Construction of Zero-Energy Building in the Cold and Semi-Arid Climate (Case Study: Mashhad). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(5): 57-71, (Persian)
- [21] M. Karimi, K. Sohaili, and S. Barzegari, (2020), "The Relationship between Renewable Energy Consumption and Economic Growth in Iran," *Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 22, pp. 31-47.
- [22] A. H. Ghorashi and H. Maranlou, (2021), "Essential infrastructures and relevant policies for renewable energy developments in oil-rich developing countries: Case of Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 141, p. 110839.
- [23] M. Ghouchani, M. Taji, A. S. Cheheltani, and M. S. Chehr, (2021), "Developing a perspective on the use of renewable energy in Iran," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 172, p. 121049.
- [24] S. Solaymani, "A Review on Energy and Renewable Energy Policies in Iran, (2021), " *Sustainability*, vol. 13, p. 7328.
- [25] Kiavarz Moghaddam, M., (2017), Land Surface Thermal Anomaly Detection Based on Satellite Thermal Band Normalization. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 0(0): 55-65.
- [26] M. Eneva, M. Coolbaugh, S. C. Bjornstad, and J. Combs, (2007), "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.
- [27] S. L. Savage, R. L. Lawrence, S. G. Custer, J. T. Jewett, S. L. Powell, and J. A. Shaw, (2010), "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.
- [28] R. Richter and D. Schläpfer, (2013), "Atmospheric/Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 8.3. 1, February 2014)," ed.
- [29] I. Manakos, K. Manevski, C. Kalaitzidis, and D. Edler, (2011), "Comparison between atmospheric correction modules on the basis of worldview-2 imagery and in situ spectroradiometric measurements," in 7th EARSeL SIG Imaging Spectroscopy Workshop, pp. 11-13.
- [30] T. Fuyi, S. Mohammed, K. Abdullah, H. Lim, and K. Ishola, (2013), "A comparison of atmospheric correction techniques for environmental applications," in 2013 IEEE International Conference on Space Science and Communication (IconSpace), pp. 233-237.
- [31] B. Pflug and M. Main-Knorn, (2014), "Validation of atmospheric correction algorithm ATCOR," in Remote Sensing of Clouds and the Atmosphere XIX; and Optics in Atmospheric Propagation and Adaptive Systems XVII, p. 92420W.

- [32] T. Cooley, G. Anderson, G. Felde, M. Hoke, A. Ratkowski, J. Chetwynd, et al., (2002), "FLAASH, a MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation, (2002),". IGARSS'02. IEEE International in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002, pp. 1414-1418.
- [33] F. U. s. Guide, (2004), "ENVI FLAASH Version 4.1, September, Research Systems," 2004ed: Inc.
- [34] W. G. Bastiaanssen, M. Menenti, R. Feddes, and A. Holtslag, (1998),"A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation," Journal of hydrology, vol. 212, pp. 198-212.
- [35] 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, vol. 212, pp. 213-229.
- [36] R. Richter and D. Schläpfer, (2014), "ATCOR-2/3 user guide, version 8.3. 1," Zurich, Switzerland, vol. 238.
- [37] J. C. Jiménez-Muñoz and J. A. Sobrino,(2003), "A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data," Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), vol. 108.
- [38] M. R. McDevitt, R. J. Kligman, and T. E. Withee, (2002), "Application of GIS to a parking study in Newton,"
- [39] J. A. Barsi, J. R. Schott, S. J. Hook, N. G. Raqueno, B. L. Markham, and R. G. Radocinski, (2014), "Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration," Remote Sensing, vol. 6, pp. 11607-11626.
- [40] Hosseinzadeh, M., Khairkhan Z., , Saberi, M.A., (2013) "Spatial Approach Analysis for the Construction of Solar Power Plants Using GIS and AHP method (Case Study of Khuzestan Province)", Third Conference on Renewable Energy and Distribution of Iran , Isfahan ,University of Isfahan, (Persian).
- [41] Usefi H, Kasaeian A, Ranjbaran P, Katouli M H. (2017), "A Review of the Criteria for Locating of Solar Power Plants in Iran",. Geospatial Engineering Journal (GEJ); 8 (2):25-38, (Persian).
- [42] Keynejad, S., Mokhtari, A., Fathianpour, N. and Irannajadi, M., (2012)," Potential mapping of East-Azerbaijan geothermal resources in 1:250000 scale by geological and exploration data in GIS environment". Advanced Applied Geology, 2(1): 105-116.
- [43] Sahragard N, arianejad H, kamangar M. , (2016), Locating solar thermal power plant to provide a sustainable energy using fuzzy logic. IJE, 19 (1).