



بررسی تأثیر نیروگاه زمین گرمایی در پوشش گیاهی مناطق اطراف سایت با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

مطالعه موردی: نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

جعفر جعفرزاده^{۱*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

زندگی و توسعه جوامع انسانی مستلزم تولید و مصرف انرژی است، لزوم توجه به محیط‌زیست و فناپذیر بودن منابع فسیلی جهت تولید انرژی، توجه بشر را به استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی معطوف کرده است. انرژی‌های نو از آن جهت اهمیت دارند که جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی می‌باشند. سوخت‌های فسیلی باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی و آب و هوایی شده‌اند. از طرفی دیگر، نیروگاه‌های زمین گرمایی نیز اثرات زیست محیطی بر روی پوشش گیاهی مناطق اطراف نیروگاه می‌توانند داشته باشند. در این تحقیق با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی به بررسی اثرات تخریبی احتمالی نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر بر روی پوشش گیاهی مناطق اطراف سایت نیروگاه پرداخته شده است. بررسی‌های انجام شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ و سنجنده‌های ETM+ و OLI از منطقه مورد نظر و استخراج شاخص SAVI طی دو بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ میلادی نشان داد که میزان شاخص پوشش گیاهی مناطق اطراف سایت نیروگاه به میزان ۶/۶۸ کیلومترمربع کاهش یافته است. همچنین مناطق مسکونی، خاک و آب نیز به ترتیب ۵۳/۶۹، ۱۴/۲۶ و ۰/۲۵۵ درصد افزایش یافته‌اند. مقایسه دو تصویر طبقه‌بندی شده نشان داد که کلاس پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۱۱۸/۱۴ کیلومترمربع داشته که در سال ۲۰۱۷ به ۹۱/۴۵ کیلومترمربع کاهش یافته است. و همچنین کلاس مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۹۵/۷۴ کیلومترمربع داشته که این مقدار در سال ۲۰۱۷ به ۱۲۰/۴۳ کیلومترمربع، کلاس خاک از ۲۹۱/۵۶ کیلومترمربع به ۴۰۵/۸۲ کیلومترمربع و کلاس آب از ۰/۴۳ به ۰/۶۹ کیلومترمربع افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: انرژی زمین گرمایی، شاخص پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای، نیروگاه، مشکین‌شهر.

۱- مقدمه

الگوی زندگی ساده و مقتصدانه انسان دویست سال پیش به الگوی زندگی جاه‌طلبانه و مسرفانه انسان سده بیست و یکم تغییر یافته است (۸، ۲۲ و ۲۵). در حال حاضر یک روز انرژی مصرف شده در جهان از تعداد زیادی از منابع انرژی به دست می‌آید؛ منابع فسیلی مانند بنزین، گاز طبیعی و زغال سنگ ۸۷ درصد از این منابع را تشکیل می‌دهند (۱۲، ۱۶ و ۲۸). نیاز روز افزون به انرژی باعث شده انسان بیش از پیش به استفاده از سوخت‌های فسیلی (زغال سنگ، نفت و گاز) روی آورد (۹، ۱۰، ۱۹). مناطق شمال غرب کشور دارای ویژگی‌های اقلیمی خاص خود هستند. توده‌های هوایی که از سمت شمال‌غرب و غرب و شمال به این منطقه وارد می‌شوند در فصل بهار و زمستان موجب بارش‌های برف و باران می‌شوند (۲۱، ۲۳). مدیریت صحیح اکوسیستم‌های طبیعی بدون آگاهی از وضعیت سلامت اجزاء آن امکان‌پذیر نیست. پوشش گیاهی به عنوان اصلی‌ترین جزء اکوسیستم نقش مهمی در سلامت آن ایفا می‌کند (۲۷). در حال حاضر از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی آب برای تولید برق کم‌هزینه‌ترین و انرژی خورشیدی پرهزینه‌ترین است (۷ و ۱۳). منبع انرژی زمین گرمایی، حرارت طبیعی زمین است که از مواد مذاب یا ماگما نشأت می‌گیرد. این انرژی در اثر تجزیه رادیو اکتیو ایزوتوپ پتاسیم و عناصر دیگری که در پوسته زمین پراکنده‌اند و همچنین به خاطر فشار زیاد حاصل از نیروی وزن ایجاد می‌شود (۲۴). توسعه استفاده از انرژی زمین گرمایی در ایران حدوداً از سال ۱۳۵۳ با انجام یک پروژه اکتشافی در مناطق شمال غربی کشور توسط وزارت انرژی، آغاز شد. در نتیجه این مطالعات چهار منطقه زمین گرمایی که پتانسیل توسعه را داشتند، شناسایی شدند که شامل مناطق سبلان، دماوند، خوی-ماکو و سهند می‌شدند (۲۳). ارزیابی اثرات زیست محیطی به عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی، اثرات احتمالی مثبت و منفی یک پروژه را بر روی محیط زیست مشخص می‌نماید و با ایجاد یک زمینه مستدل برای تصمیم‌گیران، به آنها در رد و یا قبول یک پروژه کمک شایانی می‌کند. لذا هدف از این مطالعه بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین گرمایی می‌باشد. گلستانی‌فر و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین گرمایی پرداختند. ایشان در این مطالعه به اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های زمین گرمایی در جهان و ارزیابی مقدماتی اثرات مثبت و منفی فعالیت‌های احداث نیروگاه زمین گرمایی و تجزیه و تحلیل آن در محیط زیست پرداخته‌اند. نتایج حاصل از اثرات مثبت و منفی پروژه‌های زمین گرمایی نشان می‌دهد که بخش اعظم اثرات مثبت پروژه جنبه اقتصادی داشته و غالب اثرات منفی آن متوجه محیط‌زیست منطقه است. علیزاده و همکاران (۲) در مقاله‌ای به بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین گرمایی (ژئوترمال) بر منابع آب رودخانه خیاوچای مشگین شهر پرداختند. بر اساس مشاهدات اولیه و با توجه به هدایت پساب حاصل از عملیات حفاری ارزیابی اثرات زیست محیطی پروژه زمین گرمایی بر روی رودخانه‌ی خیاوچای تنها منبع تامین آب شرب مشگین شهر ضروری می‌باشد. روش کار این برنامه شامل اندازه‌گیری روزانه بعضی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی و نمونه‌برداری

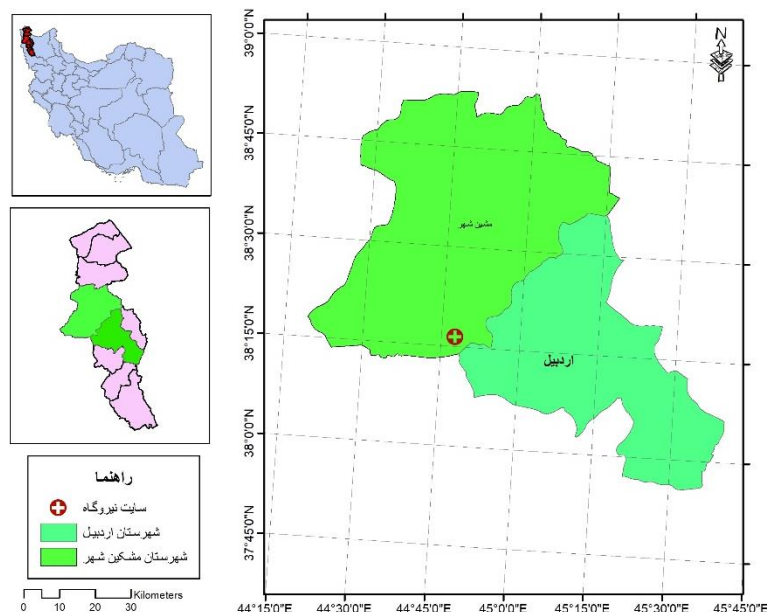
و آنالیز کاتیون‌ها و آنیون‌های عمده (اصلی) و فلزات سنگین در هر ۱۵ روز می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در مدت یکسال کنترل آب خیاوچای فعالیت‌های حفاری تأثیر بیشتری بر کیفیت آب رودخانه و چشمه‌های آب گرم و سرد داشته اما به جز بعضی از فلزات سنگین غلظت اکثر عناصر دیگر نسبت به استاندارد آب آشامیدنی متغیر می‌گردد. یوسفی و همکاران (۲۹) در پژوهشی به ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر (EIA) پرداخته‌اند. مطابق با نتایج تحقیق ایشان، اطلاعات وضعیت موجود در محیط زیست منطقه قبل از شروع فعالیت‌های زمین گرمایی شامل محیط فیزیکی، بیولوژیکی و اجتماعی در طول سال ۱۳۷۹ جمع‌آوری گردیده است. در این مقاله براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های زمین گرمایی در جهان و اطلاعات برداشت شده از منطقه مطالعاتی به ارزیابی مقدماتی اثرات مثبت و منفی فعالیت‌های احداث نیروگاه زمین گرمایی و تجزیه و تحلیل آن در محیط زیست پرداخته شده است. مختاری و همکاران (۱۸) در پژوهشی به پتانسیل‌یابی منابع زمین گرمایی استان آذربایجان شرقی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ پرداختند. این پژوهشگران در مطالعه خود از داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و زمین‌لرزه‌ای استفاده کردند. ایشان برای تجزیه و تحلیل داده‌های مطالعه خود از دو روش تلفیقی دانش محور بولین و هم‌پوشانی وزندار تلفیق استفاده کردند. براساس مطالعات آماری انجام گرفته بر روی نتایج حاصل از دو روش تلفیق به کار گرفته شده و لایه واقعیت زمینی چشمه‌های آبگرم شناخته شده، روش بولین ۱۰۰ درصد سطح لایه واقعیت زمینی را پوشش می‌دهد در حالی که این سطح پوشش در مورد روش هم‌پوشانی وزن دار به ۹۱ درصد می‌رسد که این کاهش ناشی از انعطاف‌پذیری بالاتر این روش نسبت به مدل بولین و کارایی بیشتر این مدل در شرایط کمبود داده و وجود عدم قطعیت در داده‌ها می‌باشد. محمدیاری و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای به تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در بهبهان پرداختند. ایشان در تحقیق خود از اطلاعات باندهای ماهواره لندست سنجنده‌های ETM+ و OLI در دو سال ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ استفاده و مقدار شاخص NDVI برای دو سال محاسبه کردند. همچنین به منظور بررسی تغییرات کیفی پوشش گیاهی مقادیر عددی این شاخص به ۴ کلاس مختلف سربسی شامل اراضی با پوشش عالی، بسیار خوب، خوب و ضعیف طبقه بندی شد. سپس تغییرات رخ داده با استفاده از CROSSTAB مشخص شد. نتایج حاصل از مطالعه این پژوهشگران نشان داد که تغییرات کمی و کیفی پوشش گیاهی در طی ۱۴ سال برای منطقه مورد مطالعه گسترده بوده است. اصل‌هاشمی و حیدری (۴) در مقاله "ارزیابی اثرات زیست محیطی نیروگاه ژئوترمال مشکین شهر" بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های زمین گرمایی، نتایج بررسی مباحث نشان می‌دهد که مناطقی از ایران مستعد برای توسعه انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشند که می‌توان با شناسایی دقیق تر و بهره‌گیری از آنها از مزایای غیرقابل انکار آنها در زمینه بهبود محیط زیست کمک گرفت. ییلماز و کاپتان (۲۸) در تحقیقی با عنوان اثرات زیست محیطی نیروگاه زمین

گرمایی به نحوه تاثیر این نوع نیروگاه‌ها بر روی پوشش گیاهی، منابع آبی، خاک و آب و هوای مناطق اطراف نیروگاه پرداخته‌اند. بریزیتیا (۶) در مقاله‌ای به بررسی اثرات زیست محیطی انرژی زمین گرمایی در نوادای آمریکا پرداخته است. ایشان در تحقیقشان اشاره کرده‌اند که اگر چه انرژی زمین گرمایی بسیار سازگار با محیط زیست نسبت به انواع دیگر تولید انرژی است، اما همچنان جنبه‌هایی از گیاهان انرژی زمین گرمایی وجود دارد که می‌توانند برای محیط زیست مضر باشند. این مقاله با هدف بررسی کلی انرژی زمین گرمایی در سطح جهانی و در داخل ایالات متحده ارائه می‌دهد. بیاتی خطیبی و امیریان (۵) در تحقیقی تغییرات کاربری اراضی را طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۰ با استفاده از تصاویر لندست ۸ بررسی کردند. ایشان در این تحقیق از روش‌های طبقه بندی ML و SVM استفاده کردند. جعفرزاده و حسنی تبار (۱۴) در پژوهشی انطباق الگوهای کاربری اراضی با دمای سطح زمین را با استفاده از سنجش از دور حرارتی بررسی کردند.

هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی امکان تاثیر نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر بر روی پوشش گیاهی مناطق اطراف سایت می‌باشد و این تحقیق در نوع خود بدیع بوده و تا کنون در کشور تحقیق مشابهی در این خصوص صورت نگرفته است. بدیهی است که تحقیق حاضر هیچ‌گونه جنبه سیاه نمایی و یا سیاسی نداشته و صرفاً به بررسی علمی امکان وجود اثرات مضر بر روی پوشش گیاهی تمرکز دارد.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان مشکین شهر با وسعتی حدود ۳۸۰۰ کیلومترمربع بین طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۴ دقیقه شمالی در شمال غربی ایران و در مناطق مرکزی استان اردبیل واقع شده که بیش از ۲۰ درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد. این شهرستان از طرف شمال به شهرستان گرمی، از طرف جنوب به شهرستان سراب، از طرف غرب به شهرستان اهر و هریس و از طرف شرق به شهرستان اردبیل محدود می‌شود. ارتفاع متوسط این شهرستان از سطح دریا ۱۸۲۰ متر می‌باشد. کوه سبلان در ۲۵ کیلومتری این شهر واقع شده است (۲۷). نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر (استان اردبیل، در نزدیکی مشکین شهر)، یکی از نیروگاه‌های ایران از نوع زمین گرمایی با ظرفیت تولید ۵۵ مگاوات است. در این نیروگاه آب از طریق لوله به زیر زمین تزریق می‌شود و با گرمای ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه، آب به بخار تبدیل شد و سپس این بخار به سطح زمین آمده و توربین بخار را به گردش در می‌آورد (شکل شماره ۱). بررسی مطالعات موجود و برنامه ریزی برای نصب و راه اندازی نیروگاه زمین گرمایی مشکین شهر از سوی گروه نیروگاهی دفتر انرژی زمین گرمایی از سال ۷۴ آغاز شد.

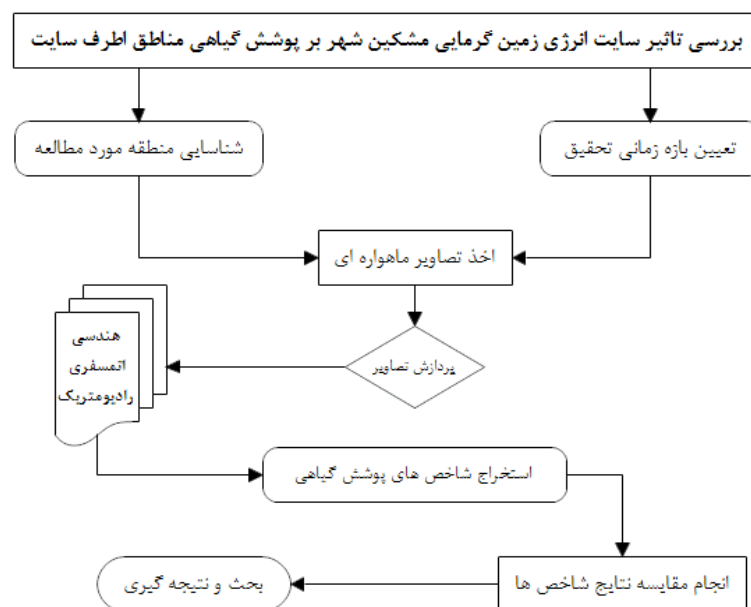


شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان مشکین‌شهر در استان و کشور و همچنین موقعیت سایت نیروگاه زمین گرمایی مشکین‌شهر

Fig (1): Map of the geographic location of Meshkinshahr city in the province and the country, as well as the location of the Meshkinshahr geothermal power plant site

۲-۱- مواد و روش‌ها

در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۰ و OLI مربوط به سال ۲۰۱۷ استفاده شده است. با توجه به پیشینه تحقیق، می‌توان برای ارزیابی میزان و نحوه تغییرات پوشش گیاهی یک منطقه از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دو دوره زمانی استفاده کرد. همچنین از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در این تحقیق مربوط به دامنه‌های کوه سبلان می‌باشد، لذا بیشتر تصاویر ماهواره‌ای دارای پوشش ابر بالا بوده که در بیشتر موارد این میزان ابرناکی از سی درصد بالاتر بوده است که این اشکال باعث محدودیت در بکارگیری تصاویر بیشتر شده است. در این پژوهش از طریق تصحیح رادیومتریکی و ایجاد ماسک ابر در نرم‌افزار انوی، اقدام به کاهش میزان ابرناکی تصویر گردید. هر تصویر ماهواره‌ای خام دارای خطاهایی (هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری) می‌باشد که باید تصحیح گردد. همچنین در این مطالعه جهت حذف این خطاها، تصحیح رادیومتریکی جهت تولید رادیانس و تصحیح اتمسفری روش FLAASH در محیط نرم‌افزار انوی ۵٫۱ استفاده شده است. برای تهیه نقشه پوشش گیاهی از شاخص تعیین پوشش گیاهی SAVI استفاده شده است. شکل شماره ۲ مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۲): روندنمای تحقیق

Fig. (2): Research process

تصحیح رادیومتریکی

به طور کلی، تصحیحات رادیومتریکی وقتی انجام می شود که داده های تصویری در روند ثبت مقادیر روشنایی مربوط به پیکسل ها دارای خطاهایی باشند که می توانند ناشی از عواملی نظیر عدم کارایی تجهیزهای ثبات و تاثیرات اتمسفری باشند از طریق اصلاحات رادیومتری، مقادیر روشنایی تصویر تغییر می یابد (۱۴). برای به دست آوردن مقادیر رادیومتری مورد نیاز و همچنین شاخص های پوشش گیاهی از تصاویر لندست، باید مقادیر اعداد رقومی (DN) تصاویر به بازتاب (رادینانس) سطح زمین تبدیل شوند. برای انجام این کار، می بایست ابتدا مقادیر اعداد رقومی به تابش طیفی در محل روزنه سنجنده اپتیک (L_λ) تبدیل شود. سپس با تقسیم تابش بر مقدار نور تابشی، میزان بازتاب را محاسبه کرد. با تبدیل تابش به بازتاب، تفاوت در تابش خورشید به سبب برداشت تصاویر در سری زمانی متفاوت، از بین می رود. روابط ریاضی به کار رفته برای استخراج مقادیر تابش و بازتاب در روابط ۱ و ۲ آمده است:

$$L_\lambda = LMIN_\lambda + \left(\frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) \times Q_{cal} \quad (1)$$

که در این رابطه؛ L_λ برابر است با تابش طیفی در روزنه سنجنده؛ Q_{cal} برابر با مقدار پیکسل کالیبره و کوانتیزه شده بر حسب درجات روشنایی و با واحد $W/m^2.sr.\mu m$ ؛ $LMAX_\lambda$ برابر است با تابش طیفی در مقیاس Q_{calmax} ؛ $LMIN_\lambda$ برابر است با تابش طیفی در مقیاس Q_{calmin} است.

$$\rho = \frac{\Pi L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda \cos \theta_s} \quad (۲)$$

که در این رابطه؛ ρ برابر است با بازتاب سطح که بدون واحد است. L_λ برابر است با تابش طیفی در روزنه سنجنده؛ d برابر است با فاصله زمین تا خورشید؛ $ESUN_\lambda$ برابر است با میانگین تابش‌های فرااتمسفری خورشید؛ θ_s برابر است با زاویه زنیت خورشیدی بر حسب درجه (۱۵).

تصحیح خطای اتمسفری

خطای اتمسفری در اثر جذب و پراکنش ذرات اتمسفر پیش می‌آید. خطاهای اتمسفری باعث محو جزئیات تصویر می‌شوند و به این وسیله از قدرت تفکیک مکانی سنجنده نیز می‌کاهند. بیشترین اثر اتمسفری مربوط به پراکنش است که وابستگی زیادی به طول موج دارد، بنابراین اثر اتمسفر در باندهای مختلف یک سنجنده با هم یکسان نیست. هر چه طول موج بیشتر شود اثر پراکنش اتمسفری نیز کمتر خواهد شد. جهت دستیابی به بازتاب واقعی زمینی و همچنین تصحیح اتمسفری تصاویر، از الگوریتم FLAASH در نرم‌افزار ENVI 5/1 استفاده شد. برنامه FLAASH از معادله استاندارد برای تابش طیفی در سنجنده که برای محدوده‌های طول موج خورشیدی (به غیر از محدوده حرارتی) در سطوح لامبرتی در نظر گرفته شده است، استفاده می‌کند که از رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1-\rho_e S} \right) + L_a \quad (۳)$$

که در این رابطه؛ L برابر است با رادیانس طیفی در سنجنده بر حسب $\mu W/m^2.sr.\mu m$ ؛ ρ بازتابندگی سطحی پیکسل؛ ρ_e انعکاس میانگین سطح برای پیکسل و محدوده اطراف آن؛ S آلبدوی نیمکره اتمسفری؛ L_a تاب بازگشتی متفرق شده از جو می‌باشد. ضرایب A و B نیز ضرایب وابسته به شرایط هندسی و جوی هستند که ارتباطی با سطح ندارند.

شاخص‌های گیاهی

شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی شده‌اند. اساس کار این شاخص‌ها بر روی اختلاف بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد، دلیل این امر خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگدانه‌های موجود در کلروفیل است، که باعث می‌شود گیاهان انعکاس کمتری در این باند و انعکاس شدید در باند مادون قرمز نزدیک داشته باشند (۱ و ۳).

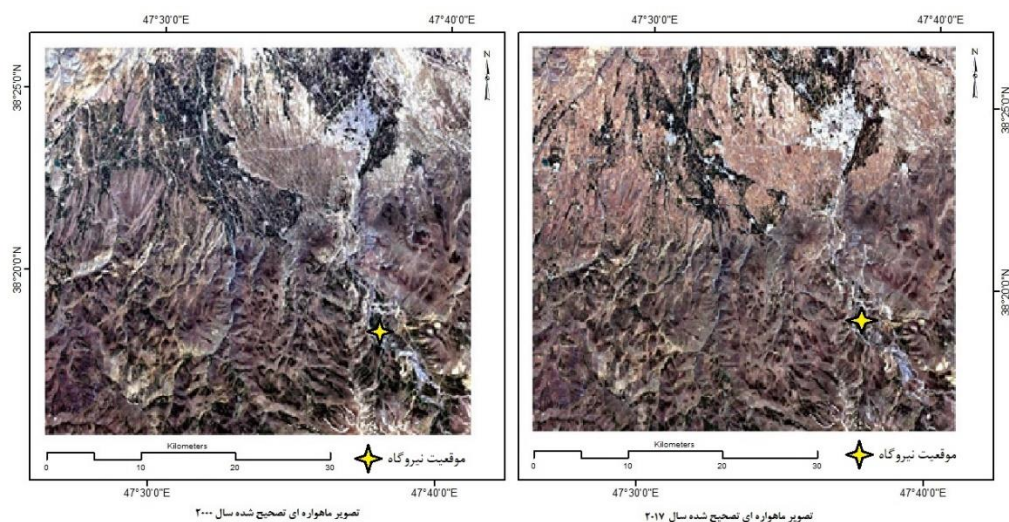
شاخص پوشش گیاهی تعدیل شده بر حسب خاک SAVI توسط هیوت (۱۱) با هدف حداقل کردن اثرات خاک زمینه در انعکاسات پوشش گیاهی پیشنهاد شد، این شاخص از طریق زیر محاسبه می‌شود:

$$SAVI = ((IRS3 - IRS2) / (IRS3 + IRS2 + L)) * (1 + L) \quad (4)$$

که در این معادله، L فاکتور تعدیل کننده اثر خاک می‌باشد. مقدار آن برای پوشش گیاهی تنک برابر ۱، برای پوشش متوسط برابر ۰/۵ و برای پوشش گیاهی انبوه یا صفر یا ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود. هدف از ایجاد این شاخص، حذف اثر تیرگی خاک می‌باشد (۱۱). در این تحقیق با توجه به میزان تراکم پوشش گیاهی، مقدار ۱ برای L در نظر گرفته شده است.

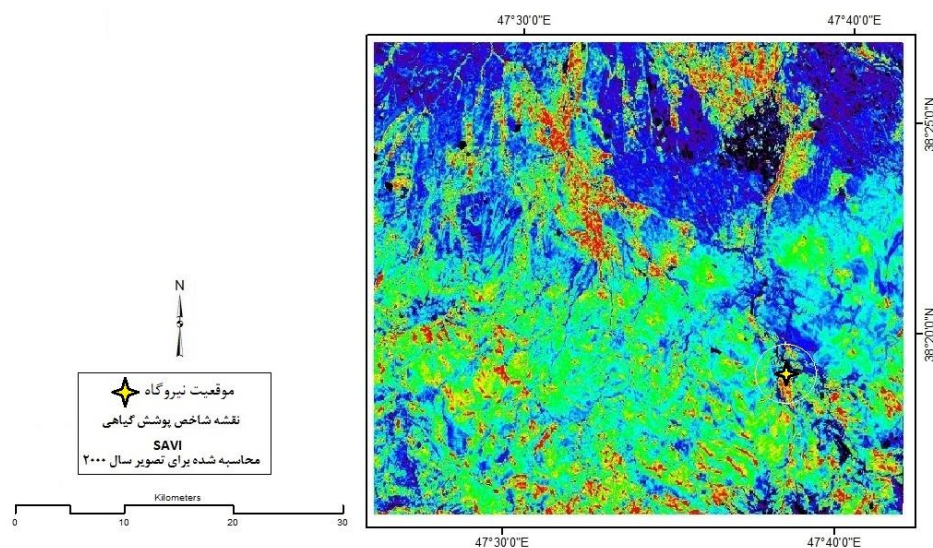
یافته‌های پژوهش

در این مطالعه برای بررسی تاثیر سایت زمین گرمایی مشکین شهر بر پوشش گیاهی اطراف سایت از تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده‌های OLI و TM مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ و از نرم‌افزار پردازش تصاویر ماهواره‌ای انوی ۵/۱ استفاده شد. شکل (۳) تصاویر تصحیح شده منطقه مورد مطالعه مربوط به ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ می‌باشند.



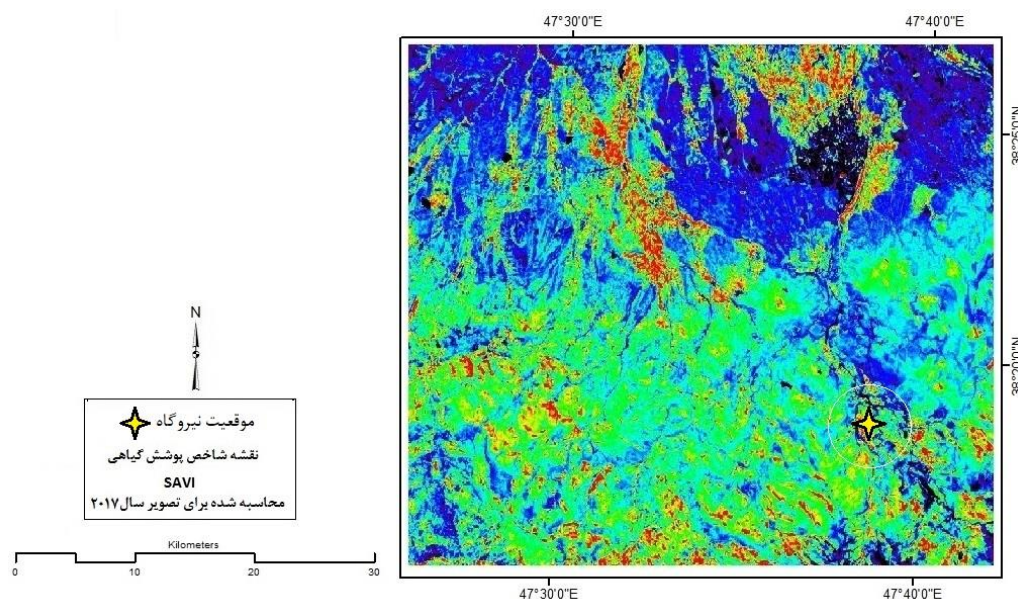
شکل (۳): تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده آگوست سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰
Fig. (3): Corrected satellite images of August 2000 and 2017

در شکل ۴ و ۵ به ترتیب شاخص پوشش گیاهی SAVI را برای دو دوره‌ی زمانی از ماه آگوست سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ نشان داده شده است.



شکل (۴): شاخص پوشش گیاهی SAVI محاسبه شده برای تصویر آگوست سال ۲۰۰۰ (رنگ‌ها با استفاده از پالت رنگ نرم‌افزار انوی اعمال شده است)

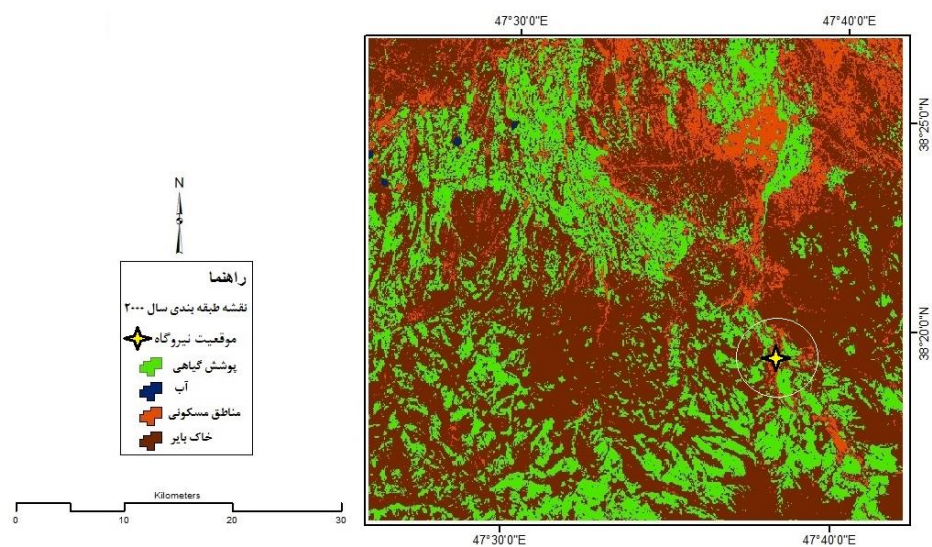
Fig. (4): SAVI vegetation index calculated for the image of August of 2000 (colors are applied using the color palette of Envi software)



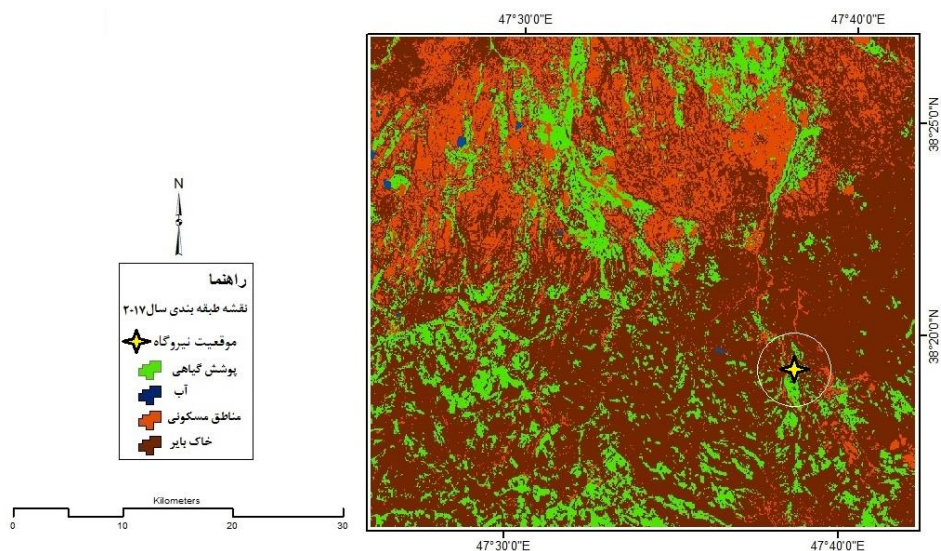
شکل (۵): شاخص پوشش گیاهی SAVI محاسبه شده برای تصویر سال ۲۰۱۷ (رنگ‌ها با استفاده از پالت رنگ نرم‌افزار انوی اعمال شده است)

Fig. (5): SAVI vegetation index calculated for the image of 2017 (colors are applied using the color palette of Envi software)

تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ در نرم‌افزار انوی تصحیح هندسی و رادیومتریک شد. سپس با به کارگیری فرمول $n(n-1)$ که در این فرمول n مربوط به تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی است (۲۰)، تعداد ۱۲ نقطه تعلیمی برای هر کلاس تعیین شده و در نهایت با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال شباهت، تصاویر ماهواره‌ای در چهار طبقه پوشش گیاهی، خاک بایر، آب و مناطق مسکونی طبقه‌بندی شد. لازم به ذکر است که مناطق جاده و راه‌های مواصلاتی نیز در طبقه مسکونی جای گرفته‌اند. همچنین به دلیل اینکه منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات بالای دامنه کوه سبلان واقع شده است، طبقه خاک بایر شامل مناطق پوشش گیاهی بسیار کم تراکم و با پوشش خاک بدون گیاه نشان داده شده است. نتایج طبقه‌بندی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ در شکل‌های شماره ۶ و ۷ نشان داده شده است.



شکل (۶): تصویر طبقه‌بندی شده به روش حداکثر احتمال شباهت سال ۲۰۰۰
Fig. (6): Image classified by maximum likelihood similarity method in 2000



شکل (۷): تصویر طبقه‌بندی شده به روش حداکثر احتمال شباهت سال ۲۰۱۷
Fig. (7): Image classified by the maximum likelihood similarity method in 2017

همچنین جدول ۱ دقت کلی و ضریب کاپا را برای نتایج طبقه‌بندی برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ نشان می‌دهد.
جدول ۲ دقت تولیدکننده و دقت کاربر را برای نتایج طبقه‌بندی تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ نشان می‌دهد.

جدول (۱): دقت کلی و ضریب کاپای تصاویر طبقه‌بندی شده

Table (1): Overall accuracy and Kappa coefficient of classified images

سال ۲۰۱۷	سال ۲۰۰۰	
۹۵	۹۵	دقت کلی (درصد)
۰/۸۵	۰/۸۹	ضریب کاپا

جدول (۲): دقت کاربر و دقت تولیدکننده تصویر طبقه‌بندی شده‌ی سال ۲۰۰۰

Table (2): User's accuracy and producer's accuracy of the classified image of 2000

دقت تولیدکننده سال ۲۰۰۰	دقت کاربر سال ۲۰۰۰	دقت تولیدکننده سال ۲۰۱۷	دقت کاربر سال ۲۰۱۷	
۹۷	۹۴/۶۳	۹۵/۵۶	۷۶/۶۸	پوشش گیاهی
۹۴/۸۴	۱۰۰	۹۶	۹۱/۵۵	آب
۹۳/۸۴	۶۵/۱۳	۹۰/۹۳	۸۱/۶۴	مناطق مسکونی
۹۴/۱۸	۹۸/۵۳	۹۴/۰۹	۹۸/۹۴	خاک بایر

مقایسه دو تصویر طبقه‌بندی شده نشان داد که کلاس پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۱۱۸/۱۴ کیلومترمربع داشته که در سال ۲۰۱۷ به ۹۱/۴۵ کیلومترمربع کاهش یافته است. و همچنین کلاس مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۹۵/۷۴ کیلومترمربع داشته که این مقدار در سال ۲۰۱۷ به ۱۲۰/۴۳ کیلومترمربع، کلاس خاک از ۲۹۱/۵۶ کیلومترمربع به ۴۰۵/۸۲ کیلومترمربع و کلاس آب از ۰/۴۳ به ۰/۶۹ کیلومترمربع افزایش یافته است. نتایج حاصل در جدول ۳ آمده است.

جدول (۳): نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و میزان تغییرات کلاس‌های طبقه‌بندی شده بر حسب کیلومترمربع

Table (3): Classification results of satellite images and the number of changes of the classified classes in terms of square kilometers

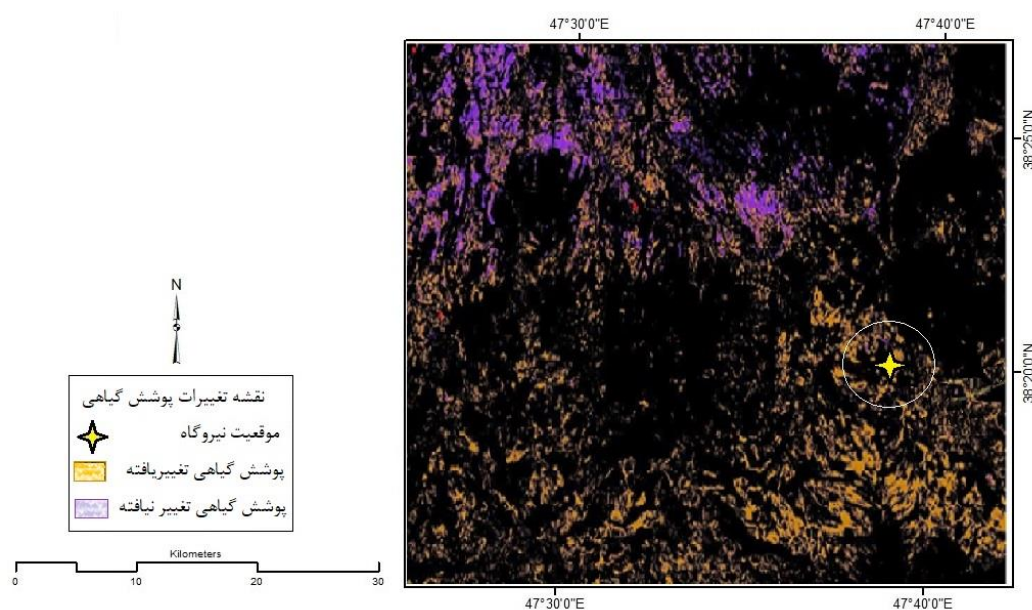
پوشش گیاهی	آب	مناطق مسکونی	خاک بایر	
۸۳/۱۰	۰/۰۱	۲۵/۷۸	۲/۲۷	پوشش گیاهی
۰/۱۱	۰/۴۱	۰/۱۶	۰/۰۱	آب
۲۶/۶۱	۰۰۰	۶۵/۶۸	۲۸/۰۴	مناطق مسکونی
۶۸/۳۱	۰/۰۱	۳۶/۴۲	۲۹۹/۹۵	خاک بایر
۱۷۸/۱۳	۰/۴۳	۶۶/۵۶	۳۹۱/۵۶	کلاسهای نهایی
۹۵/۰۳	۰/۰۲	۹۱/۶۲	۳۸/۷۰	تغییرات کلاسها
-۶۶/۹۸	۰/۲۵	۱۳/۱۳	۵۸/۶۰	تغییرات دو تصویر

در نهایت با استفاده از نرم افزار ENVI، تصاویر طبقه بندی شده برای دو دوره با هم مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج در جدول ۴ و شکل ۸ آورده شده است:

جدول (۴): میزان تغییرات کلاس های طبقه بندی شده برای دو دوره (بر حسب کیلومتر مربع)
Table (4): Changes in classified classes for two periods (in square kilometers)

نتایج سال ۲۰۱۷	نتایج سال ۲۰۰۰	
۹۱/۴۵	۱۱۸/۱۴	پوشش گیاهی
۰/۶۹	۰/۴۳	آب
۱۲۰/۴۳	۹۵/۷۴	مناطق مسکونی
۴۰۵/۸۲	۲۹۱/۵۶	خاک بایر

با توجه به داده های جدول ۴ می توان میزان تغییرات کلاس های طبقه بندی شده را بر حسب مقیاس کیلومترمربع مشاهده کرد. بر اساس این جدول، میزان تغییرات پوشش گیاهی سال ۲۰۱۷ نسبت به سال ۲۰۰۰ منفی بوده و به مقدار تقریباً ۶۷ کیلومترمربع می باشد و نیز میزان تغییرات خاک بایر به شدت افزایش نشان می دهد که چیزی در حدود ۳۹۰ کیلومتر مربع می باشد. همچنین طبق گزارش سازمان هواشناسی کشور و گزارش وضعیت آب و هوای شهرستان مشکین شهر، جهت بادهای غالب در این شهرستان در جهت جنوب غربی می باشد.



شکل (۸): نقشه تغییرات پوشش گیاهی برای دو دوره به همراه موقعیت نیروگاه زمین گرمایی

Fig (8): Vegetation changes map for two periods along with the location of the geothermal power plant

بنابراین می‌توان با استناد میزان و جهت تغییرات پوشش گیاهی (با توجه به تصویر ۸ که مناطق از بین رفته پوشش گیاهی به رنگ نارنجی نشان داده شده است) اظهار داشت که نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر می‌تواند یکی از عوامل کاهش میزان پوشش گیاهی منطقه اطراف سایت نیروگاه باشد. میزان کاهش پوشش گیاهی در اطراف سایت و در جهت باد غالب در شکل ۸ نشان داده شده است (رنگ نارنجی).

۴- نتیجه‌گیری

شاخص‌های گیاهی از پرکاربردترین نمونه‌های محاسبات باندی می‌باشند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، بررسی انواع پوشش گیاهی، وضعیت سبزی‌نگی یک منطقه طی دوران‌های مختلف به کار می‌روند. شاخص‌های گیاهی اساساً به صورت کسری یا خطی، سیگنال‌های باندهای رادیومتری را ترکیب می‌کنند. نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر در سال ۱۳۷۷ شمسی (۱۹۹۷ میلادی) تأسیس شده است و تا به امروز به فعالیت خود ادامه می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که میزان پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه طی دوره‌ی ۱۷ ساله کاهش داشته است. بررسی‌های انجام شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ و سنجنده‌های ETM+ و OLI از منطقه مورد نظر و استخراج شاخص SAVI طی دو بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ میلادی نشان داد که میزان شاخص پوشش گیاهی مناطق اطراف سایت نیروگاه زمین‌گرمایی به میزان ۶/۶۸ کیلومترمربع کاهش یافته است. همچنین مناطق مسکونی، خاک و آب نیز به ترتیب ۵۳/۶۹، ۱۴/۲۶ و ۰/۲۵۵ درصد افزایش یافته‌اند. مقایسه دو تصویر طبقه‌بندی شده نشان داد که کلاس پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۱۱۸/۱۴ کیلومترمربع داشته که در سال ۲۰۱۷ به ۹۱/۴۵ کیلومترمربع کاهش یافته است و همچنین کلاس مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۹۵/۷۴ کیلومترمربع داشته که این مقدار در سال ۲۰۱۷ به ۱۲۰/۴۳ کیلومترمربع، کلاس خاک از ۲۹۱/۵۶ کیلومترمربع به ۴۰۵/۸۲ کیلومترمربع و کلاس آب از ۰/۴۳ به ۰/۶۹ کیلومترمربع افزایش یافته است. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده از تحقیق، میزان کاهش پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به میزان تقریبی ۶۷ کیلومترمربع می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که از آنجایی که منطقه مورد مطالعه از لحاظ مساعدت برای کشاورزی و یا تاسیسات ساختمانی به علت قرار گرفتن در ارتفاعات و دامنه کوه سبلان مناسب نمی‌باشد، بنابراین این کاهش میزان پوشش گیاهی را می‌توان به نوعی با فعالیت نیروگاه زمین‌گرمایی مشکین‌شهر مرتبط دانست اگر چه نمی‌توان به طور یقین این اظهار نظر مطابق با تحقیق را تأیید کرد.

۵-منابع

- 1- Abdullahi, A; Samani, A, Pashajnejad, M. (2013). Calculation of plant indices in order to distinguish poor areas in terms of vegetation. Application of advanced models of spatial analysis in land surveying. Course 1. [In Persian]
- 2-Alizadeh, S; Jahandideh, Gh.; Alizadeh, M, Alizadeh, V. (2008). Investigating the environmental effects of the geothermal power plant on the water resources of Khiauchai River in Meshgin Shahr. The 12th National Environmental Health Conference, Tehran. Shahid Beheshti University of Medical Sciences. [In Persian]
- 3-Aronoff, S. (2012). Remote sensing for managers. Translated by Darwish Safat, Ali Asghar; Pirbawqar, Mehtab and Manijeh Rajabpourrahmati. Tehran University Press, second edition. 710 p. [In Persian]
- 4-Asl Hashemi, A., Heydari, H. (2013). Environmental Impact Assessment of Meshkinshahr Geothermal Power Plant, Conference on Climate Change and a Way to a Sustainable Future, Tehran, Jamiat Hamian Zamin Non-Governmental Organization. [In Persian]
- 5-Bayati Khatibi, M., Amirian, Y. (2022). Land use classification and calculation of changes from 1392 to 1400 using Landsat 8 satellite data. *Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Environmental Sciences*, 2(3), 25-48. doi: 10.22034/rsgj.2022.15375
- 6-Berrizbeitia, Luis D. (2014). Environmental Impacts of Geothermal Energy Generation and Utilization. *Department of mines, minerals and energy chapter 170*. Vol. 33 Iss. 21 - June 12, 2017.
- 7-Chen, Z., Chang, R., Guo, H., Pei, X., Zhao, W., Yu, Z., & Zou, L. (2022). Prediction of Potential Geothermal Disaster Areas along the Yunnan–Tibet Railway Project. *Remote Sensing*, 14(13), 3036.
- 8-Ferreira, B., Silva, R.G., & Iten, M. (2022). Earth Observation Satellite Imagery Information Based Decision Support Using Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(15), 3776.
- 9-Fridleifsson, B, Ingvar and R. Bertani and E. Huenges and L. Rybach. (2008). The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. *Luebeck, Germany*. pp. 59–80.
- 10-Glassley, E. William. (2010). Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press.
- 11-Huete, A. R., Post, D.F. and Jackson, R.D., (1984). Soil spectral effects and 4-space vegetation discrimination. *Journal of remote sensing of Environment*, 15:155-165.
- 12-Idroes, R., Yanis, M., & Idroes, G.M. (2021). A low-cost UAV based application for identify and mapping a geothermal feature in ie jue manifestation, Seulawah Volcano, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 20(80), 135-142.

- 13-Ioannou, K., & Myronidis, D. (2021). Automatic detection of photovoltaic farms using satellite imagery and convolutional neural networks. *Sustainability*, 13(9), 5323.
- 14-Jafarzadeh, J, Hasani Tabar, S M. (2021). The use of thermal remote sensing in extracting the temperature of the earth's surface and checking its compliance with land use patterns. *Journal of Remote Sensing and Geographical Information System in Environmental Sciences*, 1(1), 51-66.[In Persian]
- 15-Khairkhah Zarkash, M, Mahbubian, A, Hasadi, H. (2013). Comparison of surface albedo estimates obtained from Landsat and Moody's images. *Journal of remote sensing and geographic information system in natural resources*. Third year. Number 3. (12 pages - from 49 to 60). [In Persian]
- 16-Mahwa, J., Li, D.J., Ping, J.H., Leng, W., Tang, J.B., & Shao, D.Y. (2022). Mapping the spatial distribution of fossil geothermal manifestations and assessment of geothermal potential of the Tangyin rift, Southeast of Taihang Mountain in China. *Journal of Mountain Science*, 19(8), 2241-2259.
- 17-Mohammadyari, F.; Tavakoli, M.; Pourkhabaz, H., Aghdar H. (2013). Preparation of vegetation map and monitoring its changes using remote sensing techniques and geographic information system (case study of Behbahan city). *Geographical information magazine* (Sepehr). Volume 23, Number 92, pp. 23-34. [In Persian]
- 18-Mokhtari, A.; Kinjad, S.; Fathianpour, N.; Irannejadi, M. (2013). Finding the potential of geothermal resources in East Azerbaijan province on a scale of 1:250,000 using geological and exploration data in GIS environment. *Journal of Advanced Applied Geology*. No. 3. Volume 1. pp. 115-105. [In Persian]
- 19-Moraga, J., Duzgun, H. S., Cavour, M., & Soydan, H. (2022). The Geothermal Artificial Intelligence for geothermal exploration. *Renewable Energy*, 192, 134-149.
- 20-Nazmfar, H., Jafarzadeh, J. (2018). Classification of Satellite Images in Assessing Urban Land Use Change Using Scale Optimization in Object-Oriented Processes (A Case Study: Ardabil City, Iran). *J Indian Soc Remote Sens* **46**, 1983-1990 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0850-7>
- 21-Ngene, T., Mukhopadhyay, M., & Ampana, S. (2022). Reconnaissance investigation of geothermal resources in parts of the Middle Benue Trough, Nigeria using remote sensing and geophysical methods. *Energy Geoscience*, 3(4), 360-371.
- 22-Razaghi, A. (2011). Geothermal energy and its applications. *Nashay Alam magazine*. Second year. No. 1. pp. 35-30. [In Persian]
- 23-Rezazadeh, Y, Alijani, B. (2016). Synoptic statistical analysis of damaging cold waves in northwestern Iran. *Scientific Research Journal of Geography and Planning*. Year 21. Number 61. pp. 183-202. [In Persian]

- 24-Sanyal, K. S. and W. J. Morrow and J. S. Butler. 2010. Cost of Electricity from Enhanced Geothermal Systems. Thirty-Second Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, California.
- 25-Sobouti, Y. (2018). Climate and its changes in the 20th and 21st centuries. Nasha Alam magazine. First year. No. 2. P. 5. [In Persian]
- 26-Statistical Yearbook. 2013. Population and housing census. Aedebil province. [In Persian]
- 27-Tarish, A. B., Sali, A., Shariff, A. R. M., Hanafi, M., Ismail, A., & Mohammed, I. A. (2021, November). Thermal Satellite Imagery Analysis and Emissivity Characteristics for the Prediction of Oil Reservoirs Existence. In *2021 7th International Conference on Space Science and Communication (IconSpace)* (pp. 227-232). IEEE.
- 28-Yilmaz. Ersel; and Mustafa Ali Kaptan. 2017. Environmental impact of geothermal power plants in Aydın, Turkey. *E3S Web of Conferences* 19, 02028. DOI: 10.1051/e3sconf/20171902028.
- 29-Yousefi, H; Noorollahi, Y, Tika, S. (2018). Evaluation of the environmental effects of Meshkinshahr Geothermal Power Plant (EIA). Fourth National Energy Conference, Tehran. National Energy Committee of the Islamic Republic of Iran. *Deputy of Electricity and Energy Affairs of the Ministry of Energy*. [In Persian]