



مقاله پژوهشی

تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی نسبی سطح از طریق سری زمانی روزانه و شبانه تصاویر سنجنده‌ی مادیس و مدل‌های ارتفاعی زمین (منطقه مورد مطالعه: مناطق

بیابانی استان سمنان)

محمد آزاد^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، علیرضا صفدری نژاد^۳، علیرضا صیامی^۴

دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۳ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷

چکیده

مهم‌ترین عامل نشر انرژی گرمایی در طول روز تابش یکنواختی را به سطح زمین ندارد. در این مقاله با تنظیم اثر سایه، تمایز در میزان انرژی الکترومغناطیس رسیده به بخش‌های مختلف از سطح زمین در منطقه مورد مطالعه مدل‌سازی شده و در ادامه با محاسبه‌ی اختلاف دمای سطح در طول روز راهکاری به منظور تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی نسبی پیشنهاد شده است. در این روش از سری زمانی دمای سطح برای روز و شب باهدف تعدیل اثر عوامل مخرب جوی در بازیابی دما استفاده شده و با تحلیل‌های مکانی در مدل رقومی ارتفاعی نقشه درصد رخداد سایه در طول روز تولید شده است. واسنجی روش پیشنهادی به کمک واقعیت‌های زمینی شناسایی شده توسط عامل متخصص به اجرا رسیده و نتایج حاکی از دقت ۹۲ درصدی در رده‌بندی نسبی سطح از منظر ظرفیت گرمایی بوده است.

ظرفیت گرمایی کمیته فیزیکی از سطح بوده که با میزان انرژی گرمایی لازم به منظور تغییر دمای آن ارتباط مستقیم دارد. مناطق وسیع با ظرفیت گرمایی بالا بروز شرایط اقلیمی معتدل و وجود سطوح با ظرفیت گرمایی پایین یکی از عوامل بروز شرایط اقلیمی کویری محسوب می‌شوند. اختلاف دمایی ایجاد شده در سطح به‌زای جذب انرژی گرمایی یکنواخت ارتباط معکوسی با ظرفیت گرمایی دارد؛ اما خورشید به‌عنوان

محمد آزاد^(✉)، مهدی مختارزاده^۲، علیرضا صفدری نژاد^۳، علیرضا صیامی^۴

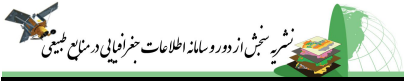
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۲. دانشیار گروه فتوگرامتری و سنس‌ازدور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳. استادیار گروه ژئودزی و مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران
۴. کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

DOI: 10.30495/girs.2022.697077

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: azad.mohammad74@yahoo.com

طرح مسئله:

ظرفیت گرمایی سطح زمین یک شاخص فیزیکی از سطح قلمداد شده که واکنش دمایی آن را در مقابل انرژی جذب شده نشان می‌دهد. این ویژگی یک خاصیت ماهوی بود که در پدیده‌های مختلف متفاوت است. معلوم بودن نقشه ظرفیت گرمایی سطح می‌تواند در مطالعات مرتبط با اقلیم مورد استفاده قرار گرفته و یا



پیشنهادی شامل یک پارامتر تنظیمی به منظور تنظیم اثر هم‌زمان آلودگی و درصد سایه بوده که مقدار آن به کمک داده‌های واقعیت زمینی برآورد می‌شود. بهینه بودن این پارامتر از طریق دقت مرتب‌سازی واقعیت‌های زمینی هنگام برآورد شاخص ظرفیت گرمایی نسبی تعیین می‌شود.

نتایج و بحث:

مطابق با نقشه‌ی زمین‌شناسی، استان سمنان از نه پوشش مختلف جنس خاک تشکیل شده است. با بهره‌گیری از دانش تخصصی عامل خیره و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای؛ مناطق حاوی پوشش‌های خالص از این جنس خاک به عنوان واقعیت زمینی شناسایی شده است. رده‌بندی نسبی پوشش‌های مختلف خاک از منظر تمایز در ظرفیت گرمایی به کمک دانش تخصصی خاک‌شناس صورت پذیرفته است. واقعیت‌های زمینی به دو بخش داده‌های آموزشی و ارزیابی تفکیک‌شده و به کمک داده‌های آموزشی پارامتر تنظیمی روش پیشنهادی کالیبره شده است. نتایج واسنجی حاکی از دقت ۹۲ درصدی در رده‌بندی انواع خاک از منظر ظرفیت گرمایی بوده و در مورد داده‌های ارزیابی، دقت ۹۰ درصدی کسب شده است. تولید شاخص‌های آماری از ظرفیت گرمایی نسبی برای پوشش‌های مختلف از سطح مستخرج از نقشه زمین‌شناسی نیز روند نسبی مورد انتظار در رده‌بندی ظرفیت گرمایی سطح را نشان داد. به نظر می‌رسد در صورت صحت تخمین دمای سطح و مشابه بودن اثر آلودگی در مورد سایر سطوح به‌غیر از خاک، امکان تعمیم روش پیشنهادی در برآورد جایگاه نسبی ظرفیت گرمایی برای سایر سطوح وجود داشته باشد.

نتیجه‌گیری:

روش پیشنهاد شده در این مقاله با برآورد اختلاف دمای روزانه و درصد انقطاع در تابش روزانه‌ی خورشید می‌تواند کمی‌تری به منظور برآورد جایگاه نسبی سطوح مختلف از منظر ظرفیت گرمایی برآورد سازد. این شاخص می‌تواند در مطالعات اقلیمی و تحلیل‌های زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. به‌کارگیری پوشش‌های کاملاً متمایز از نظر ظرفیت گرمایی همچون صخره و آب دامنه‌ی تغییرات مناسبی را در واسنجی فراهم آورده است. به نظر می‌رسد شاخص پیشنهاد شده امکان تعمیم به سایر سطوح نیز برخوردار باشد. باین حال صحت و دقت این مدعا می‌تواند در تحقیقات آتی بررسی

به‌عنوان یک‌لایه توصیفگر از سطح زمین در طبقه‌بندی ویژگی‌های زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. در صورت توزیع یکنواخت انرژی گرمایی رسیده به سطح، تغییرات دمای سطح زمین در طول روز نشانه‌ای از ظرفیت گرمایی آن خواهد بود. خورشید به‌عنوان مؤثرترین منبع انتشار انرژی الکترومغناطیس در طول روز محسوب شده که به دلیل وجود موانع و سایه توزیع یکنواختی از تابش را به روی سطح تأمین نمی‌کند. از این رو محاسبه‌ی ظرفیت گرمایی نیازمند مدل‌سازی هم‌زمان تغییرات دمایی و میزان انرژی رسیده به سطح خواهد بود.

هدف:

تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی مطلق نیازمند دسترسی به کمیات فیزیکی مختلف مانند میزان انرژی جذب شده در سطح است. تعیین دقیق مقادیر فیزیکی از انرژی جذب شده در سطح امری پیچیده بوده و از این رو تولید شاخصی که بتواند تمایز در ظرفیت گرمایی سطوح مختلف از زمین را به صورت نسبی برآورد کند به‌عنوان هدف این تحقیق انتخاب شده است. منظور از ظرفیت گرمایی نسبی توسعه‌ی شاخصی بوده که مقدار آن بتواند جایگاه نسبی هر پدیده را از منظر تمایز در ظرفیت گرمایی مشخص سازد. به نظر می‌رسد که توسعه‌ی چنین شاخصی امکان دستیابی به مقادیر مطلق ظرفیت حرارتی را در صورت دسترسی به واقعیت‌های زمینی معتبر تسهیل می‌سازد.

روش تحقیق:

در این تحقیق با مطالعه‌ی انواع پوشش خاک در استان سمنان از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی، پوشش‌های مختلف در صورت خلوص از نظر ظرفیت گرمایی رده‌بندی شدند. این اقدام به کمک دانش تخصصی مرتبط با خاک و از طریق تفسیر هم‌زمان نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. سپس با شناسایی مناطق خالص از هر نوع پوشش اختلاف دمایی روزانه در بازه‌های یک‌ماهه از آن تولید شده است. برای این منظور از سری زمانی تصاویر روز و شب سنجنده مادیس در دو سکوی آکوا و ترا استفاده شده است. به‌طور موازی، به کمک مدل رقومی ارتفاعی نقشه پهنه‌ی سایه‌ها در طول روز بازسازی شده که با تجمع آن‌ها محصول درصد رخداد سایه در طول روز تولید شده است. آلودگی سطح، نقشه درصد سایه و اختلاف دمای روزانه به همراه یک پارامتر تنظیمی اجزای مدل پیشنهادی در برآورد ظرفیت گرمایی نسبی هستند. روش

واژگان کلیدی: ظرفیت گرمایی، دمای سطح، سنجنده‌ی مادیس،
مدل رقومی ارتفاعی

گردد. دسترسی به سایت‌های واسنجی با مقادیر معلوم از ظرفیت
گرمایی مطلق می‌تواند در توسعه‌ی مدل‌های تبدیل‌کننده‌ی شاخص
نسبی به شاخص مطلق ظرفیت گرمایی مؤثر باشد.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: آزاد، م.، مختارزاده، م.، صفدری‌نژاد، ع.، صیامی ع. تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی نسبی سطح از طریق سری زمانی روزانه و شبانه تصاویر سنجنده‌ی مادیس و مدل‌های ارتفاعی زمین (منطقه مورد مطالعه: مناطق بیابانی استان سمنان). نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۵(۳): ۱۱۸-۹۵.

۱. مقدمه

دمای سطح زمین (Land Surface Temperature) یک کمیت محیطی مهم در کاربردهای مرتبط با علوم زمین محسوب می‌شود (۵). تعیین رطوبت خاک (۵)، آشکارسازی جزایر حرارتی (۱۶)، پهنه‌بندی ویژگی‌های زمین‌شناختی (۲۸)، برآورد دمای هوا (۲۳)، تخمین شاخص‌های خشک‌سالی و فرسایش خاک (۲۱)، تعیین میزان تبخیر و تعرق خاک و گیاهان (۹) و تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی سطح نمونه‌ای از کاربردهایی بوده که نیازمند دسترسی به دمای سطح زمین هستند. ظرفیت گرمایی کمیتی محیطی است که به‌طور مستقیم واکنش دمایی سطح به‌ازای جذب یا از دست رفت انرژی گرمایی را نشان می‌دهد. این موضوع می‌تواند محور ایجاد تمایز بین پدیده‌های سطح زمین قرار گیرد. دانش به این کمیت می‌تواند در طبقه‌بندی سطح زمین، مطالعات اقلیمی، کشف و پهنه‌بندی معادن فلزی، تخمین کمیت‌های محیطی مانند رطوبت خاک، تراکم پوشش گیاهی و شناسایی جزایر حرارتی مورد استفاده قرار گیرد.

غلامی‌بیدخانی و همکاران (۷) به‌کمک نقشه دمای سطح به‌دست‌آمده از سنجنده‌ی مادیس راهکاری به‌منظور تخمین رطوبت خاک پیشنهاد داده‌اند. در این راهکار، به‌کمک شاخص‌های زاویه شیب، تفاضلی نرمال شده آب، خشک‌سالی و نقشه‌ی دمای سطح و با بهره‌گیری از تمامی پتانسیل محدوده طیف الکترومغناطیسی در قالب ترکیبی رگرسیون از شاخص‌های طیفی یک مدل بهینه برای تخمین رطوبت خاک ارائه داده‌اند. کفاش و همکاران (۱۳) با تلفیق تصاویر سنجنده مادیس و لندست ۸ راهکاری به‌منظور رسیدن به نقشه دمای سطح با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا ارائه داده‌اند. در این راهکار، برای برآورد دمای شب در بازه‌ی کمتر از قدرت تفکیک زمانی سنجنده لندست از تکنیک‌های رگرسیون خطی بین محصول دمای سطح سنجنده مادیس استفاده شده است. هدایتی و همکاران (۱۰) از محصولات شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته، شاخص ساخت‌وساز تفاضلی نرمال شده، نقشه دمای سطح از سنجنده

مادیس، مدل رقومی ارتفاعی و همچنین محصول پهنه‌بندی آب سنجنده لندست به‌منظور شناسایی و تولید نقشه سطوح شالیزاری بهره برده‌اند. در این راستا با توجه به خصوصیات فنولوژیکی گیاه برنج از طریق روش‌های شیء‌منا و بهره‌گیری از توابع فازی به طبقه‌بندی تصاویر و استخراج اراضی شالیزاری پرداخته شده است. محمود و همکاران (۱۹) به‌کمک داده‌های شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته، شاخص وضعیت پوشش گیاهی، نقشه دمای سطح از سنجنده مادیس و مشاهدات ایستگاه هواشناسی از طریق تحلیل‌های سری زمانی، تحلیل رگرسیون خطی و محاسبه ناهنجاری‌ها به بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی و میزان خشک‌سالی پرداخته‌اند.

از منظر تئوری، ظرفیت گرمایی به میزان انرژی گرمایی موردنیاز برای تغییر دمای یک پدیده به میزان یک درجه‌ی سانتی‌گراد اطلاق می‌شود (۲۷). این ویژگی به‌طور مستقیم به ساختارهای ماهوی، هدایت‌پذیری گرمایی و جرم پدیده‌ها مرتبط بوده و تولید نقشه‌ی آن برای سطح زمین می‌تواند در مطالعه‌ی چرخه‌ی تبادل انرژی میان زمین و جو مؤثر باشد (۱۸). پدیده‌های با ظرفیت گرمایی بالا همانند آب‌های عمیق، بزرگ‌ترین منابع انرژی حرارتی زمین محسوب شده که در طول شب یا فصول سرد سال تعادل گرمایی را برای جو فراهم می‌آورند. در مقابل، سطوح با ظرفیت گرمایی پایین دامنه‌ی تغییرات دمایی شدیدتری را برخوردار بوده و منجر به بروز شرایط اقلیمی کویری می‌شوند (۴). از این‌رو، تولید نقشه ظرفیت گرمایی سطح علاوه بر ایجاد تمایز بین ساختارهای زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی، می‌تواند به‌عنوان شاخصی در پهنه‌بندی اقلیم‌ها مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی سطح بر مبنای اختلاف دمایی روز و شب در دستور کار قرار دارد. تصاویر اخذشده توسط سنجنده‌ی مادیس (MODIS) در دو سکوی ترا (Terra) و آکوا (Aqua) به‌دلیل برخورداری از توان تفکیک زمانی بالا امکان اخذ تصاویر حرارتی در شب و روز را فراهم می‌آورند.

بخش‌های مختلف نقشه‌ی زمین‌شناسی را در منطقه مورد مطالعه تشکیل می‌دهند.

رخنمون‌های سنگی به‌عنوان پدیده‌هایی با کمترین ظرفیت گرمایی شناخته شده که قابلیت حفظ دما را برای مدت طولانی برخوردار نیستند. بافت یکپارچه و ماهیت غیرمتخلخل مناطق سنگی سرعت بالاتری را برای هدایت گرمایی در این نوع پوشش از زمین فراهم می‌سازند. شن و ماسه به دلیل بافت و دانه‌بندی درشت رفتاری نزدیک به مناطق سنگی یکپارچه داشته اما به دلیل ماهیت متخلخل از هدایت گرمایی کمتری در مقایسه با مناطق سنگی برخوردارند. کاهش هدایت گرمایی توان حفظ دمای سطح را برای زمان بیشتری فراهم آورده و این موضوع باعث شده تا در رده‌بندی نسبی، این دسته از خاک در رده دوم از منظر ظرفیت گرمایی قرار گیرد. خاک‌های خشک بیابانی با داشتن دانه‌بندی ریز و تخلخل اندک از ظرفیت گرمایی کمی برخوردارند. وجود این نوع از خاک در مناطق بیابانی یکی از عوامل بروز تغییرات دمایی شدید در طول شبانه‌روز محسوب می‌شود. عدم امکان رشد گیاهان به دلیل کمبود مواد آلی در خاک‌های بیابانی دلیل دیگری برای انتخاب جایگاه سوم برای این‌گونه از خاک از منظر ظرفیت گرمایی است. وقوع خاک‌های کم‌عمق و نارس در اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان سمنان با داشتن بافتی متخلخل متشکل از سنگریزه و مواد آلی شرایط افزایش نسبی ظرفیت گرمایی را در رده‌بندی نسبی برای آن‌ها فراهم می‌آورد؛ اما جوان خاک‌ها به دلیل سطح مواد آلی بیشتر و همچنین تخلخل بیشتر هدایت گرمایی کمتری داشته و در رده‌بندی نسبی در جایگاه ششم قرار گرفته‌اند؛ و البته ناگفته نماند که این دسته از خاک‌ها تنوع بالایی در دانه‌بندی را برخوردار بوده که در انتخاب واقعیت‌های زمینی تلاش شده تا با بهره‌گیری از تجربه عامل خبره نمونه‌های صحیح با حفظ جایگاه نسبی مدنظر قرار گیرد. به عبارت بهتر، نمونه‌های واقعیت زمینی واقع شده در این نوع از خاک‌ها با دقت بیشتر از نظر تشابه در بافت انتخاب شده‌اند. خاک‌های شور نیز با داشتن بافتی متشکل از دانه‌بندی ریز و کمبود مواد آلی، فاقد پوشش گیاهی بوده و ماهیتی شبیه به

تاکنون از پتانسیل توان تفکیک زمانی بالای تصاویر سنجنده‌ی مادیس در کاربردهای مختلف استفاده شده است. تخمین ضریب گسیلمندی سطح به کمک تصاویر حرارتی روز و شب (۲۶)، پایش‌های مرتبط با سبزی‌نگی و آلودگی سطح در مطالعات مرتبط با خشک‌سالی (۱۴) و آتش‌سوزی، بازیابی الگوهای فنولوژیکی گیاهان (۱۰)، سنجش روند تغییرات رطوبت خاک و بسترهای آبی در کاربردهای هیدرولوژی (۱)، سنجش و پایش جزایر حرارتی، پایش روند گسترش هواویزهای جوی (۱۱) و مواردی از این دست نمونه‌ای از کاربردهای قلمداد شده که نیازمند به‌کارگیری سری‌های زمانی داده‌های سنجش‌ازدوری هستند.

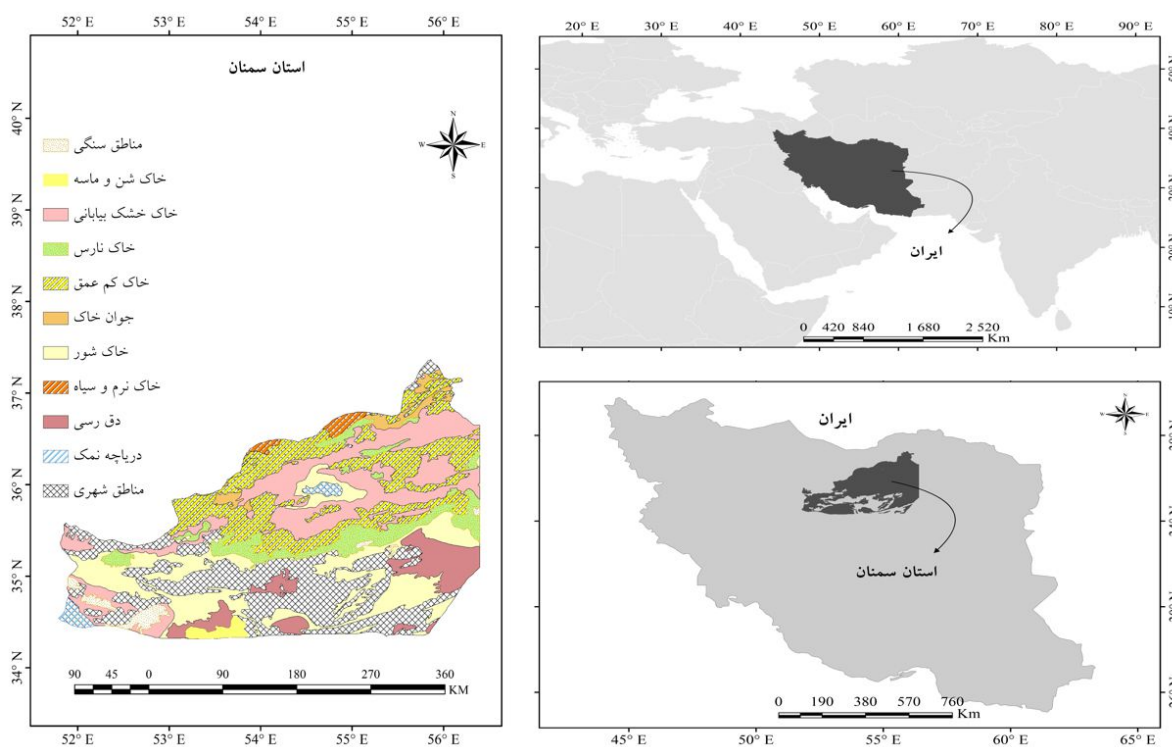
هدف این مقاله تولید نقشه ظرفیت گرمایی نسبی سطح با استفاده از پتانسیل تصاویر روز و شب سنجنده‌ی مادیس است. فرض اصلی این تحقیق وجود ارتباط معنادار میان تفاوت دمای روز و شب سطح زمین با کمیت ظرفیت گرمایی بوده و مهم‌ترین جنبه‌های نوآورانه در این تحقیق شامل: ۱- به‌کارگیری سری زمانی تصاویر روز و شب به‌منظور کاهش اثرات مرتبط با شرایط آب و هوایی، ۲- لحاظ کردن اثر مربوط به وقوع سایه در طول روز در تنظیم میزان انرژی گرمایی جذب شده و ۳- ارائه ایده‌ی مربوط به تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی مطلق به کمک یک فرایند واسنجی (Calibration)، است.

۲. منطقه مورد مطالعه و روش‌شناسی

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق بیابان‌های استان سمنان انتخاب شده است. تنوع کافی در جنس خاک به دلیل وجود مناطق معدنی متعدد، ماهیت کویری این منطقه که منجر به تغییرات کندتر پوشش زمین ناشی از سبزی‌نگی و بارش شده و دسترسی به نقشه‌های زمین‌شناسی عوامل اثرگذار در انتخاب این منطقه در مطالعه حاضر می‌باشند. شکل ۱ پهنه‌ی جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه را به همراه نقشه‌ی زمین‌شناسی آن نشان می‌دهد. مطابق با نقشه زمین‌شناسی ارائه شده در شکل ۱، نه پوشش متفاوت از خاک به همراه دریاچه‌ی نمک

سطح آب زیرزمینی شور در مناطق هم‌جوار آن‌ها از هدایت گرمایی بسیار پایینی برخوردار بوده و به‌همین علت در بالاترین جایگاه ظرفیت گرمایی مربوط به خاک قرار گرفته‌اند (۲۹). در این رده‌بندی نسبی، متناسب با ویژگی‌های مورد انتظار فیزیکی از آب، بالاترین ظرفیت حرارتی به سطوح آبی اختصاص یافته است. در ادامه این بخش مبانی نظری مرتبط با کمیت محیطی ظرفیت حرارتی و همچنین جزئیات روش پیشنهادی تشریح شده است.

خاک‌های بیابانی دارند ولی به دلیل بالا بودن ترکیبات نمکی و تخلخل اندک به دلیل رسوب بلورهای نمک جایگاه هفتم را به خود اختصاص داده است. خاک‌های نرم و سیاه نیز که به‌عنوان پدیده‌ای بارنگ تیره و دانه‌بندی درشت در منطقه قابل شناسایی می‌باشند، از میزان تخلخل بالایی برخوردار بوده و این امر سبب هدایت گرمایی اندک آن‌ها می‌گردد. امکان رشد گیاهان به دلیل بالا بودن مواد آلی در این خاک‌ها نیز به‌عنوان یک دلیل مهم در بالا بودن ظرفیت گرمایی این خاک‌ها محسوب می‌شود. دق‌رسی‌ها نیز با داشتن دانه‌بندی رسی و ریز و بالا بودن میزان



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و شمای کلی از نقشه‌ی زمین‌شناسی مرتبط با آن

Fig1. The study area and a general view of the geological map related to it

$$E_a(t) = \int_{\lambda=0}^t \int_{t=0}^t E_{sun}^s(\lambda, t) \times (1 - R(\lambda)) \times S(t) d\lambda dt \quad [1]$$

در رابطه‌ی ۱، E_{sun}^s توان تابشی خورشید در واحد سطح در طول موج λ و در زمان t از روز بوده که در آن ضریب تضعیف ناشی از قابلیت عبور جو و زاویه‌ی تابش لحاظ شده است.

جذب انرژی الکترومغناطیس تابیده‌شده توسط خورشید مؤثرترین عامل افزایش انرژی گرمایی انباشت شده در پدیده‌های سطح زمین در طول روز محسوب می‌شود (۶). از منظر تئوری و باکمی ساده‌سازی، مجموع انرژی جذب‌شده توسط سطح زمین تا زمان t از بازه‌ی یک روز ($E_a(t)$) را می‌توان به‌کمک رابطه‌ی ۱ توصیف نمود.

از روز و برآورد مقدار عددی صورت کسر در رابطه‌ی ۳ امکان برآورد ظرفیت گرمایی سطح وجود خواهد داشت.

در صورت توزیع یکنواخت نور تابیده‌شده به سطح و یکسان بودن ویژگی‌های بازتابندگی و گسیلمندی برای تمامی موقعیت‌های سطح زمین، صورت کسر در رابطه‌ی ۳ را می‌توان برای تمامی موقعیت‌های سطح زمین یکسان تصور نمود. در این شرایط، اختلاف دمای سطح ارتباط معکوس با ظرفیت گرمایی داشته و امکان مقایسه‌ی نسبی موقعیت‌های مختلف از سطح زمین از نظر تمایز در ظرفیت گرمایی به راحتی از طریق برآورد اختلاف دمای سطح در دو مقطع زمانی از روز میسر خواهد بود؛ اما تمایز در میزان نور رسیده به سطح ناشی از وجود ابر، اثر توپوگرافی و سایه‌ها از یک سو و تمایز در میزان آلودگی و گسیلمندی برای موقعیت‌های مختلف سطح زمین از سوی دیگر، منجر به تمایز در مقادیر صورت کسر در رابطه ۳ برای موقعیت‌های مختلف می‌گردد. بدیهی است که محاسبه‌ی مقدار تفاضل انرژی جذب‌شده از انرژی تابیده‌شده برای موقعیت‌های مختلف از سطح زمین پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌های مختلفی را به دنبال داشته و به همین دلیل در این تحقیق تلاش شده تا با تنظیم تمایز مقادیر صورت کسر در رابطه‌ی ۳ برای موقعیت‌های مختلف از سطح زمین، امکان مقایسه‌ی نسبی آن‌ها از منظر تمایز در ظرفیت گرمایی فراهم آید. برای این منظور رابطه‌ی ۳ به شکل رابطه‌ی ۵ تغییر یافته است.

$$TC(x, y) = \mu(x, y) \times \frac{E_a^b - E_e^b}{\Delta T(x, y)} \quad [5]$$

در رابطه‌ی ۵، $E_a^b - E_e^b$ معادل با تبادل انرژی یک جسم ایده آل با بیشترین مقدار ظرفیت گرمایی در شرایط عدم انقطاع در نور رسیده به سطح حدفاصل دو مقطع زمانی از روز بوده که به دلیل عدم امکان شناسایی و اندازه‌گیری آن در صحنه‌ی تصویر، مقداری ثابت برای آن فرض می‌شود. این موضوع باعث شده که رویکرد پیشنهاد شده در این پژوهش ماهیتی نسبی را در برآورد ظرفیت گرمایی برخوردار باشد.

$R(\lambda)$ بازتابندگی سطح با فرض لامبرتی بودن و $S(t)$ میزان تضعیف یا انقطاع در نور رسیده به سطح تحت تأثیر عواملی مانند سایه در زمان t می‌باشند (۱۲). سطح زمین نیز متناسب با میزان دما و گسیلمندی به‌طور پیوسته در حال نشر انرژی الکترومغناطیس است. مجموع انرژی تابش شده توسط سطح تا زمان t از بازه‌ی یک روز ($E_e(t)$) را می‌توان به کمک رابطه‌ی ۲ توصیف نمود.

$$E_e(t) = \int_{t=0}^t \int B(T(t), \lambda) \times \varepsilon(\lambda) d\lambda dt \quad [2]$$

در رابطه‌ی ۲، $B(T, \lambda)$ توان تابشی نیم‌کره‌ای جسم سیاه در واحد سطح در دمای T و در طول موج λ دمای سطح در زمان t از روز و $\varepsilon(\lambda)$ نیز گسیلمندی سطح در طول موج λ است (۱۲). تفاضل میان مجموع انرژی جذب‌شده و تابیده‌شده از سطح، مبین تراز انرژی پتانسیل حرارتی بوده و علامت آن تعیین‌کننده‌ی روند گرمایش یا سرمایش خواهد بود. سرعت سرمایش یا گرمایش سطح نیز تابعی از ظرفیت گرمایی بوده که رابطه‌ی ۳ ارتباط اختلاف دمای ایجاد شده در سطح تا زمان t از روز با ظرفیت گرمایی و تراز انرژی مبادله شده تا آن زمان را نشان می‌دهد.

$$\Delta T(t) = \frac{E_a(t) - E_e(t)}{TC} \quad [3]$$

در رابطه‌ی ۳، $\Delta T(t)$ اختلاف دمایی به وجود آمده در سطح در زمان t از روز ناشی از تراز انرژی انباشت شده در سطح و TC ظرفیت گرمایی سطح می‌باشند. بر این اساس دمای سطح در هر لحظه از روز را می‌توان به کمک رابطه‌ی ۴ پیش‌بینی نمود (۸).

$$T(t) = T(0) + \Delta T(t) \quad [4]$$

در این روابط از انرژی گرمایی هدررفته ناشی از همرفتی میان هوا و سطح زمین صرف‌نظر شده و هدایت گرمایی سطح زمین به لایه‌های زیرین نیز به‌عنوان یکی از ویژگی‌های تأثیرگذار بر میزان ظرفیت گرمایی سطح تصور شده است. بر این اساس با محاسبه‌ی اختلاف دمای سطح در دو مقطع زمانی

مادیس (MOD35) شناسایی و حذف شده است. به منظور تخمین ضریب گسیلمندی سطح در روش پنجره‌ی مجزا از رویکرد آستانه‌گذاری شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI) استفاده شده که مقادیر درجات خاکستری باندهای طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک در آن از طریق بسته‌ی نرم‌افزاری مربوط به تصحیح اتمسفری FLAASH در محیط نرم‌افزار ENVI به بازتابندگی تبدیل شده است. از سوی دیگر، پارامتر A در رابطه‌ی ۶ از طریق شناسایی نزدیک‌ترین محصول آلبدوی مادیس (MCD43A3) برای مقاطع یک‌ماهه تأمین می‌گردد (۱۵). نقشه‌ی SP نیز از طریق شبیه‌سازی روند تشکیل سایه‌ها در مدل رقومی ارتفاعی به‌ازای الگوی متوسط حرکت خورشید در بازه‌ی یک‌ماهه تولید می‌شود (۱۷ و ۲۰). آخرین بخش از روند پیشنهادی به تنظیم پارامتر β اختصاص داشته که در یک‌روند جستجو و به‌کمک واقعیت‌های زمینی شناسایی شده توسط عامل متخصص برآورد می‌شوند. با این اوصاف، تولید نقشه‌های A و SP و همچنین تنظیم وزن در رابطه‌ی ۶ گام‌های اصلی در روند واسنجی راهکار پیشنهادی در این تحقیق محسوب می‌شوند. در ادامه این بخش به ترتیب گام‌های تولید نقشه‌ی SP به‌کمک مدل رقومی ارتفاعی (بخش ۲.۱)، برآورد آلبدوی سطح و تخمین اختلاف دمای سطح به‌صورت پایدار نسبت به نویز (بخش ۲.۲) و روند واسنجی β به‌کمک واقعیت زمینی و نقشه‌های زمین‌شناسی (بخش ۲.۳) تشریح شده است.

۲.۱. تولید نقشه‌ی SP به‌کمک مدل رقومی ارتفاعی

در این بخش نقشه‌های رخدادهای سایه از طریق رویکرد هندسی ارائه شده در (۲۴) به‌ازای موقعیت‌های مختلف خورشید در طول روز تولید می‌شوند. در روش ارائه‌شده (۲۴) لبه‌های مستعد تولید سایه از مدل رقومی ارتفاعی شناسایی شده و متناسب با زاویه ارتفاعی (Eiv.) و آزیموت (Az.) خورشید پهنه‌ی سایه مربوط به هر موقعیت از لبه‌های مستعد سایه شناسایی می‌شوند. مطابق با شکل ۲، سازوکار بازسازی هندسی پهنه‌ی سایه‌ها مبتنی بر شناسایی مناطقی است که متناسب با

$\mu(x, y)$ ضریب مربوط به تأثیر گسیلمندی، آلبدو و میزان تضعیف نور رسیده به سطح برای موقعیت (x, y) ، $\Delta T(x, y)$ و $TC(x, y)$ نیز به ترتیب اختلاف دمای اندازه‌گیری شده حداثی دو مقطع زمانی از روز و ظرفیت گرمایی سطح در موقعیت (x, y) می‌باشند. در این رابطه، $\mu(x, y)$ به‌صورت مجموع وزن‌داری از دو شاخص آلبدو و مدت‌زمان نور رسیده به سطح در طول روز (به‌صورت درصد) به شکل رابطه‌ی ۶ تعریف می‌شود.

$$\mu(x, y) = \beta \times (1 - A(x, y)) + (1 - \beta) \times SP(x, y) \quad [6]$$

در رابطه‌ی ۶، $A(x, y)$ آلبدوی سطح، $SP(x, y)$ درصدی از نور خورشید که در بازه‌ی زمانی یک روز بدون هیچ مانعی به سطح رسیده و β پارامتر تنظیم‌کننده اهمیت آلبدو و درصد سایه هستند. تمامی پارامترهای معرفی‌شده در رابطه‌ی ۶ در بازه [0~1] قرار دارند. در این تحقیق تلاش شده تا با برآورد و تنظیم اثر پارامترهای موجود در $\mu(x, y)$ ، ارتباط نسبی میان ظرفیت گرمایی سطوح مختلف از سطح زمین به‌درستی تخمین زده شود. برای این منظور ابتدا به‌کمک سری زمانی باندهای حرارتی مربوط به روز و شب از سنجنده‌ی مادیس، اختلاف دمای متوسط سطح در حداثی روز و شب برای یک مقطع یک‌ماهه برآورد می‌شود. مقاطع زمانی یک‌ماهه به نحوی انتخاب شده که در آن بازه تغییر فصل رخ نداده باشد. انتخاب بازه‌ی زمانی یک‌ماهه باهدف کاهش اثر نویزهای ناخواسته ناشی از شرایط جوی، بارش و داده‌های حذف‌شده به‌دلیل وقوع ابر بوده است. در این روند، دمای سطح زمین (LST) در هر یک از تصاویر زمانی از طریق روش پنجره‌ی مجزا (۲) محاسبه‌شده و سپس میانگین دمای روز و شب مبنای محاسبه‌ی اختلاف دما قرار گرفته است. در محاسبه‌ی میانگین دمای روز و شب، مقادیر نویز آلود به‌کمک آزمون آماری 3 σ شناسایی و حذف می‌شوند (۳۰). در این روند، اعمال تصحیحات رادیومتریکی (تبدیل درجات خاکستری به رادیانس) و هندسی بعنوان پیش‌پردازش‌های پایه به باندهای حرارتی خام اعمال شده و پیکسل‌های ابرناک از سری زمانی به‌کمک محصول ابر

در این تحقیق، مسیر حرکت خورشید در آسمان برای روز میانی از بازه‌ی یک‌ماهه انتخاب شده است؛ و جهت محاسبه‌ی ظرفیت گرمایی به n قسمت مساوی در بازه‌ی طلوع و غروب آفتاب تقسیم شده و به‌ازای هر موقعیت یک ماسک سایه تولید می‌گردد ($SM_i, i=1, 2, \dots, n$). شکل ۴ چند نمونه از نقشه‌های باینری سایه به‌ازای تغییر در موقعیت خورشید را نشان می‌دهد. با در اختیار داشتن نقشه‌های SM ، نقشه‌ی SP به‌صورت رابطه‌ی ۷ تولید می‌شود. لازم به ذکر است که مدل رقومی ارتفاعی به‌کاررفته در این بررسی SRTM هست (۱۹).

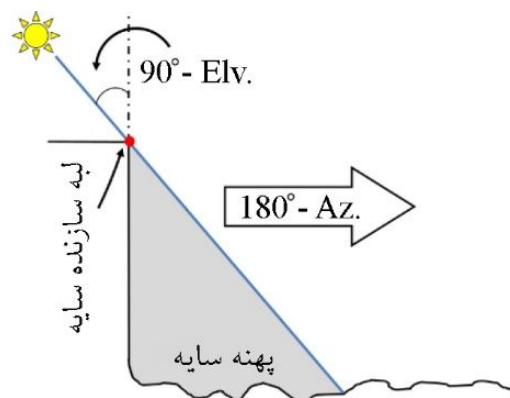
$$SP = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n SM_i \quad [7]$$

۲.۲. محاسبه اختلاف دما و آلودگی سطح به‌کمک

تصاویر سنجنده‌ی مادیس

سنجنده‌ی مادیس به‌دلیل توان تفکیک مکانی پایین و استقرار در دو سکوی فضایی ترا و آکوا امکان تأمین توان تفکیک زمانی بالا را در اخذ تصویر برخوردار است (۲۵). داده‌های خام مادیس به‌صورت روزانه و شبانه در دسترس بوده که امکان اندازه‌گیری اختلاف دمای سطح، حذف دو مقطع زمانی از شبانه‌روز را فراهم می‌آوردند. در این تحقیق از سری زمانی تصاویر مادیس در بازه‌های یک‌ماهه باهدف کاهش اثرات مربوط به جو، بارش و ابرها استفاده شده است. باندهای حرارتی هر تصویر خام پس از حذف پیکسل‌های ابرناک (شناسایی‌شده از طریق محصول ابر سنجنده‌ی مادیس (۲۲))، از طریق روش پنجره‌های مجزا به دمای سطح زمین تبدیل می‌شوند (۲). سپس میانگین دمای برآورد شده برای هر یک از مقاطع روز و شب به‌ازای هر پیکسل در دوره‌ی یک‌ماهه پس از حذف مقادیر بزرگ‌تر از سه برابر انحراف معیار، به‌عنوان مقادیر دمای میانگین روز و شب محاسبه می‌شود. شکل ۵ نمایی از روند برآورد دمای میانگین روزانه و شبانه پس از حذف مقادیر نویز آلود را برای یک مقطع یک‌ماهه نشان می‌دهد.

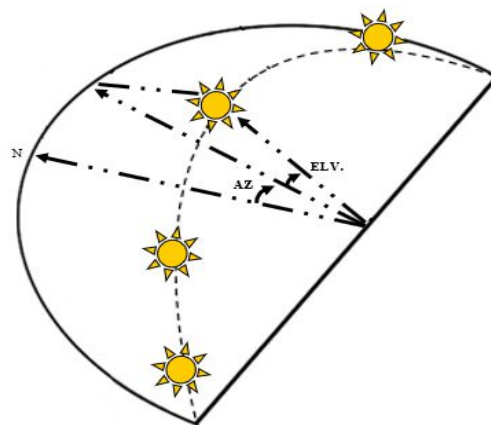
زاویه‌ی ارتفاعی و جهت خورشید، در معرض نور مستقیم قرار ندارد.



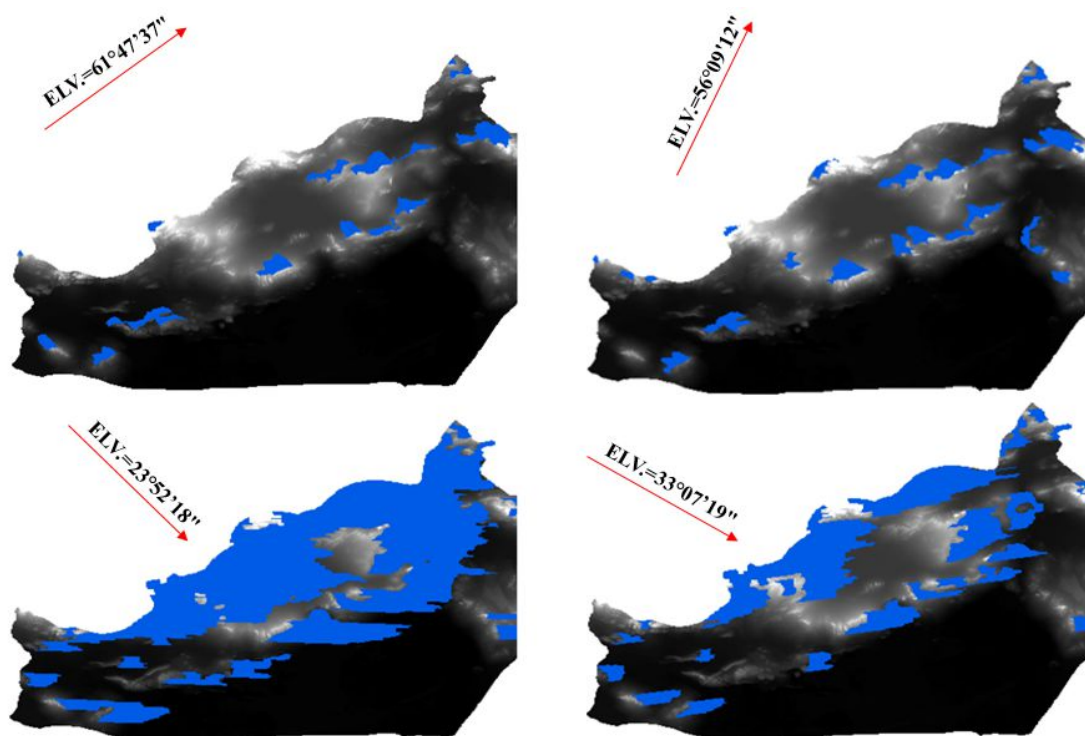
شکل ۲. روند بازسازی سایه از طریق مدل رقومی ارتفاعی و موقعیت خورشید (۲۲)

Fig2. The shadow reconstruction process through the digital elevation model and the position of the sun

با به‌کارگیری روش پیشنهادشده (۲۴)، به‌ازای هر موقعیت از خورشید یک ماسک باینری به‌عنوان نقشه سایه (Shadow Mask) قابل تولید خواهد بود. به‌ازای رصد مسیر خورشید (شکل ۳) در طول روز می‌توان نقشه‌های مختلفی از سایه را برای زمان‌های مختلف از روز تولید نمود.



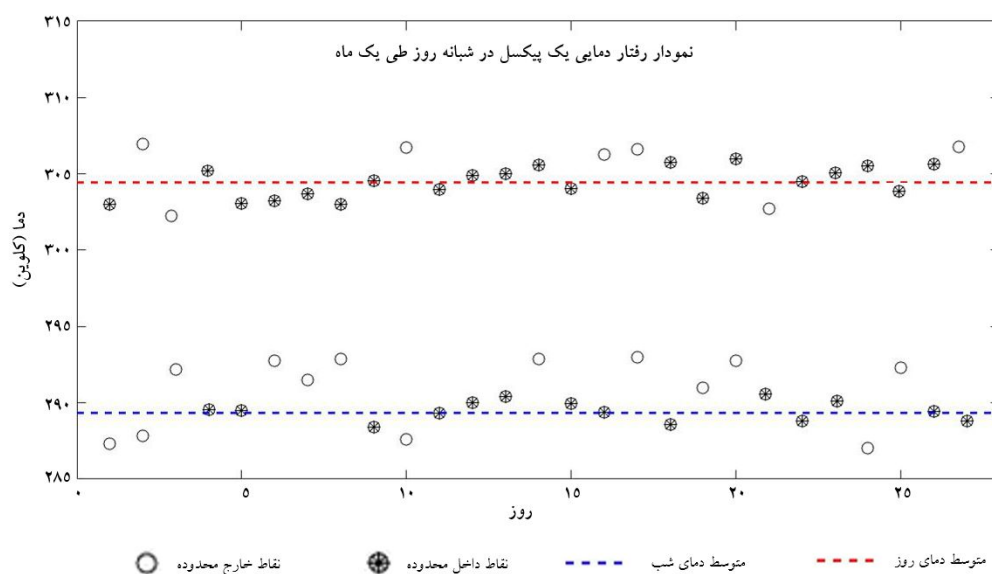
شکل ۳. روند مسیر حرکت خورشید در بازسازی سایه
Fig3. The trajectory of the sun in the shadow reconstruction process



سایه جهت تابش خورشید

شکل ۴. نمونه‌ای از نقشه‌های باینری سایه برای یک منطقه ثابت و با تغییر در موقعیت خورشید

Fig4. The samples of shadow maps for a fixed area and with the changing in the sun position



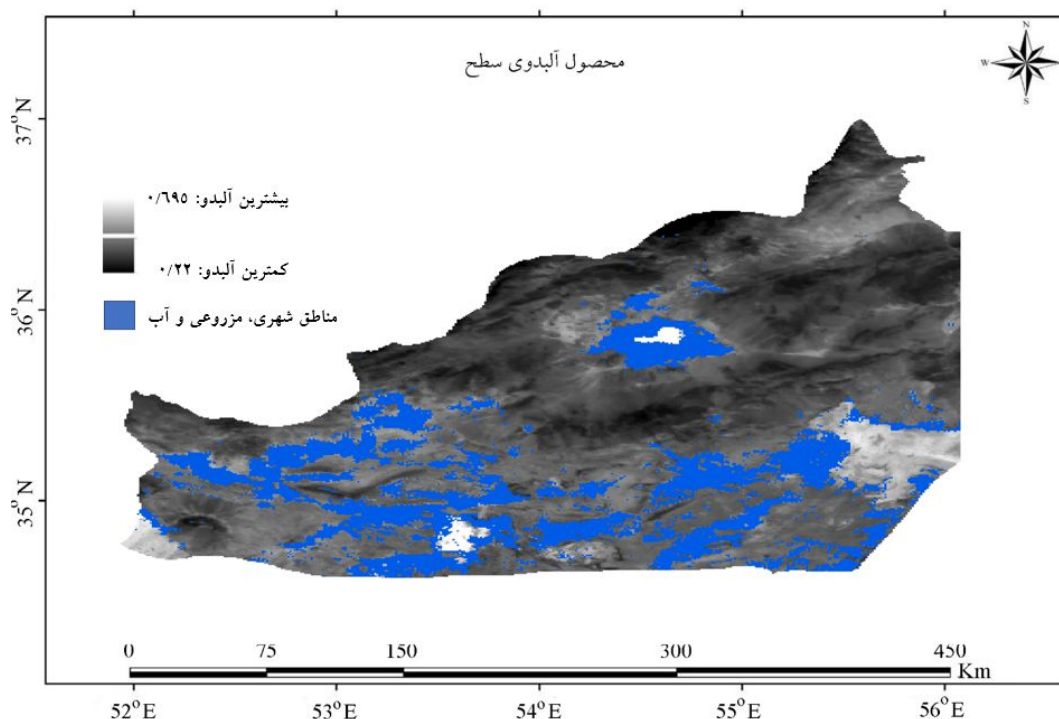
شکل ۵. نمونه‌ای از سری زمانی یک پیکسل در روز و شب به همراه مقادیر میانگین پس از حذف مقادیر نویز آلود

Fig5. Time series of a pixel in day and night with their average values after removing the blunders

بازتابندگی نیمکره‌ای سطح به‌ازای تمامی طول‌موج‌های رسیده به سطح بوده که بزرگی آن رابطه‌ی معکوس با میزان جذب انرژی الکترومغناطیس دارد (۱۵). این محصول به‌صورت روزانه و با توان تفکیک مکانی پانصد متری منتشر می‌شود. زمان مناسب برای محصول آلبدو متناسب با بازه‌ی زمانی یک‌ماهه از سری زمانی انتخاب می‌شود. بدیهی است که این انتخاب صرفاً متناسب با هدف این تحقیق صورت گرفته است. شکل ۶ نمونه‌ای از یک محصول آلبدوی سطح را برای منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق نشان می‌دهد.

اختلاف دمای بین مقادیر میانگین به‌عنوان کمیت ΔT برای هر پیکسل ثبت و در ادامه برای تولید نقشه‌ی ظرفیت گرمایی نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در روش پنجره‌های مجزا مقادیر گسیلمندی سطح از طریق شاخص‌های سبزیگی تخمین زده شده و تصاویر شبانه فاقد محتوای بازتابی از سطح زمین هستند؛ مقادیر محاسبه شده برای گسیلمندی برای تصاویر روزانه به تصاویر شب نیز تعمیم یافته است. دلیل عدم استفاده از محصول LST فقدان تأمین توان تفکیک زمانی مناسب بوده است.

در این بررسی برای برآورد شاخص آلبدو از محصولات استاندارد مادیس استفاده شده است (۱۵). آلبدو درصد



شکل ۶. محصول آلبدوی سطح (<https://search.earthdata.nasa.gov>)

Fig6. Surface albedo product (<https://search.earthdata.nasa.gov>)

است که تنظیم پارامتر β در صورت در اختیار بودن مقادیر عددی ظرفیت گرمایی برای سطوح مختلف زمین به‌راحتی از طریق روش‌های تخمین قطعی ممکن است؛ اما عدم دسترسی به مقادیر مطلق ظرفیت گرمایی سطح و پیچیدگی‌های مرتبط با

۲.۳ واسنجی $\mu(x, y)$ به کمک واقعیت زمینی و نقشه‌های

زمین‌شناسی

در این مرحله تأثیر هر یک از شاخص‌های SP و A در ضریب μ از طریق یک‌روند جستجو تعیین می‌شود. بدیهی

ظرفیت گرمایی است. مهم ترین عوامل اثرگذار در دسته بندی نمونه های استخراج شده تخلخل، دانه بندی، بافت، رنگ، میزان حضور مواد آلی، قابلیت حفظ رطوبت و پتانسیل رشد گیاه بوده است.

با در نظر گرفتن موارد مطرح شده در تولید واقعیت های زمینی، نمونه های شناسایی شده به دو دسته ی غیرقابل تمایز (نسبتاً مشابه) و متمایز (قابل مرتب سازی بر اساس ظرفیت گرمایی) تفکیک می شوند. با فرض وجود K دسته ی متمایز و $n_i, i=1, 2, \dots, K$ نمونه نسبتاً مشابه در هر دسته ی متمایز، روند تنظیم پارامتر β به شرح زیر طراحی شده است.

با توجه به معلوم بودن بازه ی عددی مفروض برای β (بازه صفر تا یک)، این بازه در گام های مشخصی مدرج شده و به ازای تمامی گام های مدرج شده از مقادیر وزن، شاخص TC برای تمامی نمونه های آموزشی محاسبه می شود. در ادامه مقادیر محاسبه شده از نظر بزرگی مرتب شده و برچسب نتایج مرتب شده با برچسب نمونه های مرتب شده در واقعیت زمینی مقایسه می شود. صحت ترتیب محاسبه شده از طریق TC با ترتیب ثبت شده در واقعیت زمینی از طریق شاخص های آماری مستخرج از ماتریس دقت برآورد می شود. شکل ۷ ساختار ماتریس دقت برای ارزیابی نتایج را نشان می دهد.

تعیین این مقدار، روند واسنجی پیشنهادی را دستخوش تغییر نموده است. واقعیت های زمینی در دسترس برای تعیین ظرفیت گرمایی سطح نقشه های متوسط مقیاس زمین شناسی بوده که در آن سطح زمین به انواع مختلفی از جنس خاک تفکیک شده است. دانش تجربی زمین شناسان در مورد ساختار و بافت خاک، تفسیر بصری تصاویر گوگل و به کارگیری نقشه های زمین شناسی مبنای جمع آوری شواهد زمینی برای واسنجی ضریب μ بوده اند.

در روند به کار گرفته شده، سطوح مختلفی از زمین که از نظر جنس و بافت خاک دارای تمایزند، به کمک تفسیر بصری و توسط متخصص زمین شناس در محیط گوگل شناسایی شده است. در این روند تلاش شده تا این مناطق: ۱- توزیع مناسبی را در سطح منطقه ی مورد مطالعه داشته، ۲- وسعت کافی از نظر یکنواختی جنس و بافت جهت تعمیم به پیکسل های سنجنده ی مادیس را برخوردار بوده و ۳- از نظر شرایط توپوگرافی و بازتابندگی تنوع کافی را داشته باشند. در ادامه به کمک نقشه های زمین شناسی موجود جنس غالب خاک برای هر نمونه تعیین شده و بر اساس شواهد موجود در تفسیر تصاویر و جنس خاک غالب، ظرفیت گرمایی نسبی آن ها تعیین شده است. منظور از ظرفیت گرمایی نسبی اشاره به مرتب کردن نمونه های موجود بر اساس دانش تخصصی عامل خبره از نظر تمایز در

ترتیب موجود در واقعیت زمینی

	TC_1	TC_2	...	TC_K
TC_1	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$...	$P_{1,K}$
TC_2	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$...	$P_{2,K}$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots
TC_K	$P_{K,1}$	$P_{K,2}$...	$P_{K,K}$

شکل ۷. نحوه ی تشکیل ماتریس دقت برای مقایسه ترتیب برآورد شده با واقعیت زمینی

Fig7. How to form the accuracy matrix to compare the estimated order with the ground reality

قرار گرفته اند. شاخص های آماری سنجش کفایت ماتریس دقت در این بررسی به ترتیب ضریب کاپا و صحت کلی انتخاب شده است (۳).

در شکل ۷ TC_i نماد برچسب نمونه هایی که در دسته ی i از ترتیب قرار گرفته اند و P_{ij} نیز تعداد نمونه هایی از داده های واقعیت زمینی بوده که در دسته ی j به عنوان واقعیت زمینی قرار داشته و در روند برچسب گذاری ترتیبی در دسته ی i

نقشه‌ی زمین‌شناسی از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای نیز برای یافتن نمونه‌های خالص برای هر نوع از جنس خاک استفاده گردد. برای این منظور در پهنه‌ی مربوط به هر پوشش (خاک و آب) در منطقه‌ی مورد مطالعه چند محدوده با پوشش خالص و وسعت کافی (متناسب با توان تفکیک مکانی تصاویر مادیس) شناسایی شده است. انتظار می‌رود در صورت تنظیم صحیح پارامتر β ، رابطه‌ی ۵ قادر به ایجاد یک توالی نسبی صحیح برای نمونه‌های خالص از منظر ظرفیت گرمایی شود. لازم به ذکر است که تلاش شده تا نمونه‌های خالص انتخاب شده برای هر جنس از پوشش زمین تنوع کافی از نظر حضور در سایه را برخوردار باشند تا تنوع کافی برای ایجاد یک واسنجی قابل اعتماد را فراهم آورند.

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در محاسبه ظرفیت گرمایی نسبی برای بیابان‌های استان سمنان، از دو مجموعه داده متشکل از تصاویر دو مقطع یک‌ماهه در فصل تابستان (۱۱ تیرماه الی ۱۰ مرداد سال ۱۳۹۹ و ۱۱ مرداد الی ۱۰ شهریور همان سال) استفاده شده است. تصاویر آلبدوی سطح برای این دو مجموعه داده نیز در دو تاریخ ۵ مرداد و ۲۱ مرداد تهیه شده است. عدم تغییر فصل، اطمینان نسبی از پایداری شرایط اقلیمی و پوشش زمین در این مقاطع زمانی، کم بودن نزولات آسمانی، عدم ابرناکی بیش از ۳۰ درصدی تصاویر، مواردی بوده که برای انتخاب این تصاویر در بازه‌ی زمانی مذکور لحاظ شده است. جدول ۱ اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

تکرار برجسب‌گذاری ترتیبی به‌ازای تغییر در مقدار β و اندازه‌گیری کفایت هر مرحله از وزن دهی به‌کمک شاخص‌های آماری دقت، راهکار تنظیم این پارامتر در رویکرد پیشنهادی است. به عبارت بهتر، به‌ازای تمامی حالات ممکن از β مدرج شده شاخص‌های دقت برآورد شده و مقداری که توانسته بهترین دقت را در برجسب‌گذاری ترتیبی کسب کند به‌عنوان مقادیر کالیبره شده انتخاب می‌شود.

۳. داده‌های مورد استفاده و واقعیت‌های زمینی

متناسب با نقشه‌ی زمین‌شناسی موجود از استان سمنان، انواع پوشش خاک در مناطق بیابانی این استان در نه طبقه‌ی متمایز قرار می‌گیرد. با توضیحات ذکر شده ابتدای بخش "منطقه مورد مطالعه و روش‌شناسی" (بخش ۲)، در صورت خلوص در جنس خاک، انتظار می‌رود که ترتیب نسبی ظرفیت گرمایی برای این پوشش‌ها به ترتیب: ۱- مناطق سنگی، ۲- شن و ماسه، ۳- خاک خشک بیابانی، ۴- خاک نارس، ۵- خاک کم‌عمق، ۶- جوان خاک، ۷- خاک شور، ۸- خاک نرم و سیاه، ۹- دق رسی و ۱۰- دریاچه نمک باشد. افزایش تیرگی در رنگ، کاهش تدریجی دانه‌بندی و میزان انباشت مواد آلی باعث انتخاب این روند ترتیبی برای انواع خاک بوده و آب نیز به دلیل داشتن بیشترین ظرفیت گرمایی در بالاترین سطح این رده‌بندی قرار گرفته است. پهنه‌بندی منطقه با مرزهای قطعی در نقشه‌ی زمین‌شناسی و عدم وجود اطلاعات مرتبط با میزان خلوص هر پهنه در بخش‌های مختلف باعث شده تا علاوه بر

جدول ۱. جزئیات مربوط به مجموعه داده‌های مورد استفاده

Table 1. Specifications of the used datasets

مجموعه داده	تعداد تصاویر روز و شب	بازه‌ی زمانی تصاویر روز	بازه‌ی زمانی تصاویر شب	متوسط اختلاف زمانی تصاویر	انحراف معیار زمانی تصاویر
۱	۲۴ و ۲۴	۱۱:۳۰-۱۰:۳۰	۲۲:۳۰-۲۱:۳۰	۱۱:۲۶'	۲۹.۷'
۲	۲۷ و ۲۷	۱۱:۳۰-۱۰:۳۰	۲۲:۳۰-۲۱:۳۰	۱۱:۲۰'	۲۸.۲'

مجموعاً تعداد ۱۰۰ نمونه خالص با توزیع مکانی مناسب در تمامی پوشش‌های خاکی و آبی منطقه مورد مطالعه انتخاب شده که ۷۰ درصد آن‌ها در روند واسنجی و ۳۰ درصد باقیمانده باهدف ارزیابی مستقل دقت نتایج مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جدول ۲ اطلاعات آماری مربوط به کمیات SP, A و ΔT مربوط به نمونه‌های خالص از هر نوع پوشش ارائه شده است.

جدول ۲. اطلاعات آماری مرتبط با نمونه‌های خالص از پوشش سطح

Table2. Statistical information related to pure samples of the soil land covers

نوع پوشش	تعداد نمونه خالص	دامنه تغییرات A	دامنه تغییرات SP	دامنه تغییرات ΔT
مناطق سنگی	۱۰	۰/۱۸-۰/۳۳	۰/۶۶-۱	۱۷/۰۷ ^k -۱۹/۶۵ ^k
شن و ماسه	۱۰	۰/۲۲-۰/۴۴	۰/۷۳-۰/۹۷	۲۰/۳۷ ^k -۲۲/۶۲ ^k
خاک خشک	۱۰	۰/۲۰-۰/۳۸	۰/۴۳-۰/۹۷	۱۴/۵۲ ^k -۱۷/۸۵ ^k
خاک نارس	۱۰	۰/۱۵-۰/۳۹	۰/۸۰-۱	۱۳/۷۸ ^k -۱۵/۶۷ ^k
خاک کم عمق	۱۰	۰/۱۵-۰/۴۳	۰/۷۳-۰/۹۷	۰۹/۵۸ ^k -۱۳/۹۲ ^k
جوان خاک	۱۰	۰/۲۸-۰/۴۷	۰/۶۶-۰/۹۷	۰۹/۴۳ ^k -۱۱/۳۶ ^k
خاک شور	۱۰	۰/۲۲-۰/۳۵	۰/۸۰-۰/۹۷	۰۸/۰۶ ^k -۱۰/۷۲ ^k
خاک نرم	۱۰	۰/۲۸-۰/۴۱	۰/۶۶-۱	۰۸/۱۶ ^k -۹/۹۳ ^k
دق رسی	۱۰	۰/۳۳-۰/۴۰	۰/۹۳-۱	۰۶/۸۹ ^k -۰۸/۰۱ ^k
دریاچه	۱۰	۰/۲۸-۰/۳۷	۰/۹۳-۱	۰۴/۵۰ ^k -۰۶/۳۵ ^k

پیشنهاد شده در برآورد نسبی ظرفیت گرمایی، سه عامل اختلاف دمای روز و شب (ΔT)، آلبدوی سطح (A) و درصد حضور سایه (SP) به عنوان عوامل مؤثر در برآورد این کمیت معرفی شده‌اند. عدم مشارکت دو شاخص آلبدو و درصد حضور سایه در این روش به ترتیب منجر به تأمین دقت کلی و ضریب کاپای ۰/۳۴ و ۰/۲۸ در روند مرتب‌سازی نمونه‌های خالص می‌شود. این موضوع حاکی از آن است که برآورد اختلاف دمای سطح به تنهایی برای ایجاد تمایز نسبی در ظرفیت گرمایی کافی نبوده و مشارکت دو شاخص دیگر ضروری است.

نمودارهای ارائه شده در شکل ۹ روند تغییرات دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا مستخرج از ماتریس دقت (شکل ۶) به ازای تغییر در مقدار پارامتر β را نشان می‌دهد.

مطابق با اطلاعات ارائه شده در جدول ۲، دامنه‌ی تغییرات مناسبی در کمیت‌های عددی مربوط به نمونه‌های خالص شناسایی شده وجود دارد. این موضوع ضمن ایجاد شرایط ارزیابی بهتر از رویکرد پیشنهادی، می‌تواند قابلیت اعتماد بیشتری را در روند تنظیم پارامتر β فراهم آورده. تصاویر ارائه شده در شکل ۸، پهنه‌های انتخاب شده به عنوان نمونه‌های خالص را در هر نوع از پوشش نشان می‌دهد.

۴. نتایج و بحث

در این بخش نتایج کسب شده از روند تنظیم پارامتر β و همچنین ارزیابی مستقل دقت روش پیشنهادی به کمک نمونه‌های خالص زمینی گزارش شده است. مطابق با الگوی



شکل ۸. پهنه‌های انتخاب شده به‌عنوان نمونه‌ی خالص

Fig8. Selected areas as pure samples

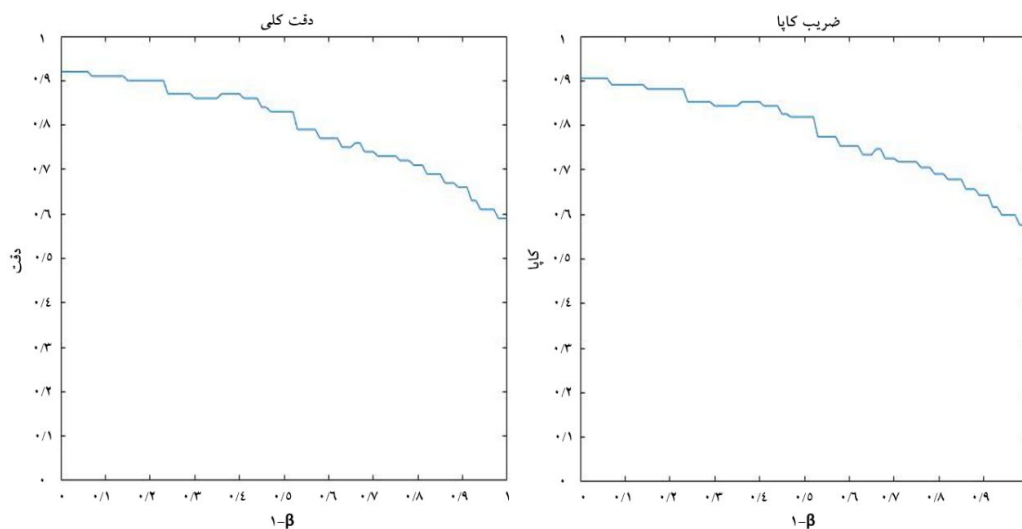
$\mu(x, y)$ است. در برآورد و تنظیم پارامتر β تعداد ۷۰ نمونه‌ی خالص مشارکت داشته‌اند.

در ارزیابی دقت مستقل از تعداد ۳۰ نمونه‌ی خالص استفاده شده است. هیچ‌یک از این نمونه‌ها در روند تنظیم پارامتر

مطابق با نمودارهای ارائه شده در شکل ۹، بیشینه‌ی دقت کسب شده در روند برآورد نسبی ظرفیت گرمایی به‌ازای $\beta=0/06$ تأمین شده است. این موضوع نشان از اهمیت ۹۲ درصدی شاخص SP و ۵۹ درصدی شاخص آلبدو در برآورد

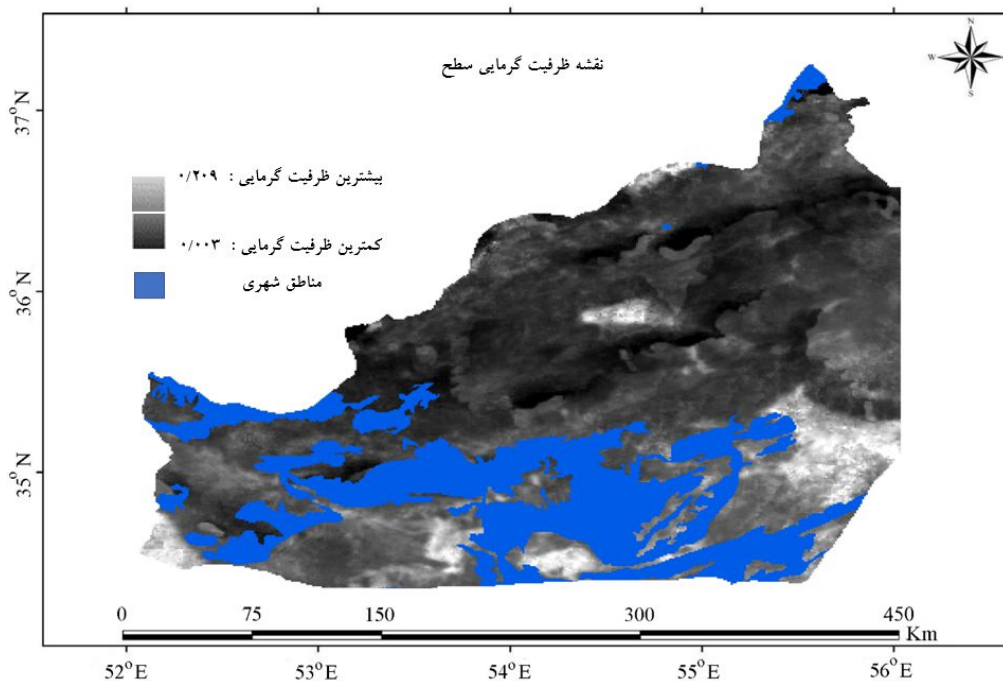
شکل ۱۰ نقشه‌ی ظرفیت گرمایی نسبی مناطق بیابانی استان سمنان را نشان می‌دهد. درجات خاکستری در این نقشه ارتباط مستقیمی با ظرفیت گرمایی نسبی دارند.

β نقش نداشته‌اند. دقت کلی و ضریب کاپا مستخرج از ماتریس دقت برای ارزیابی مستقل به ترتیب ۰/۸۷۵ و ۰/۹۰ می‌باشند. نتایج ارزیابی مستقل نیز گویای تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی است.



شکل ۹. نمودار روند تغییرات دو شاخص دقت کلی و ضریب کاپا

Fig9. The chart of changes of two indices of overall accuracy and Kappa coefficient



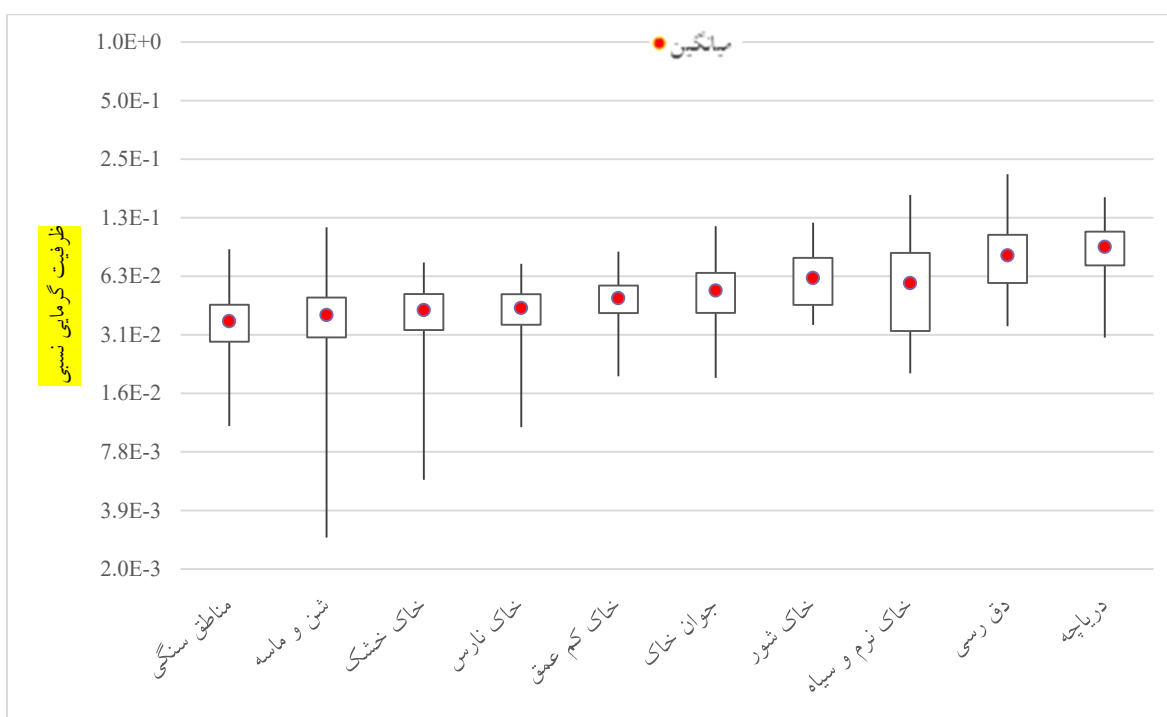
شکل ۱۰. نقشه ظرفیت گرمایی نسبی مناطق بیابانی استان سمنان

Fig10. Relative heat capacity map of desert areas of Semnan province

اقلیمی، بارش نزولات آسمانی و رطوبت بالا شاهد ظرفیت گرمایی بالاتری نسبت به دیگر مناطق کویری در این بخش هستیم.

در ادامه با جداسازی پیکسل‌های مرتبط با هر پوشش از منطقه به کمک نقشه‌ی زمین‌شناسی، نمودارهای آماری مرتبط با ظرفیت حرارتی نسبی هر پوشش در شکل ۱۱ ترسیم شده است.

مطابق با شکل ۱۰، از قسمت‌های میانی به سمت شمال استان شامل مناطق سنگی و قسمت‌های مختلف خاک که مناطق کویری استان سمنان هستند به نسبت جنوب استان که مناطق غیر کویری و متشکل از دریاچه‌ها و دق‌رسی‌ها هستند، دارای رنگ تیره‌تری می‌باشند که نشان از ظرفیت گرمایی پایین مناطق شمالی و کویری استان نسبت به مناطق غیر کویری آن دارد؛ همچنین در برخی از قسمت‌های شمالی استان که محل تشکیل خاک‌های نرم و سیاه می‌باشد به دلیل تفاوت در شرایط



شکل ۱۱. توزیع آماری مربوط به ظرفیت حرارتی نسبی برای پوشش‌های مختلف استان سمنان

Fig 11. Statistical distributions of relative heat capacity for different land covers of Semnan province

هر پوشش تا حد زیادی گویای وضعیت نسبی صحیح آن در مقایسه با سایر پوشش‌ها است؛ به طوری که پایین‌ترین ظرفیت گرمایی مربوط به مناطق سنگی و بیشترین ظرفیت گرمایی مربوط به پهنه‌های آبی است. در این روند پوشش خاک نرم و سیاه از روند مورد انتظار تبعیت نکرده که به نظر می‌رسد تنوع و پراکندگی بالای ظرفیت گرمایی در این گونه از خاک دلیل آن باشد. تراکم بیشتر مواد آلی در خاک‌های نرم و سیاه،

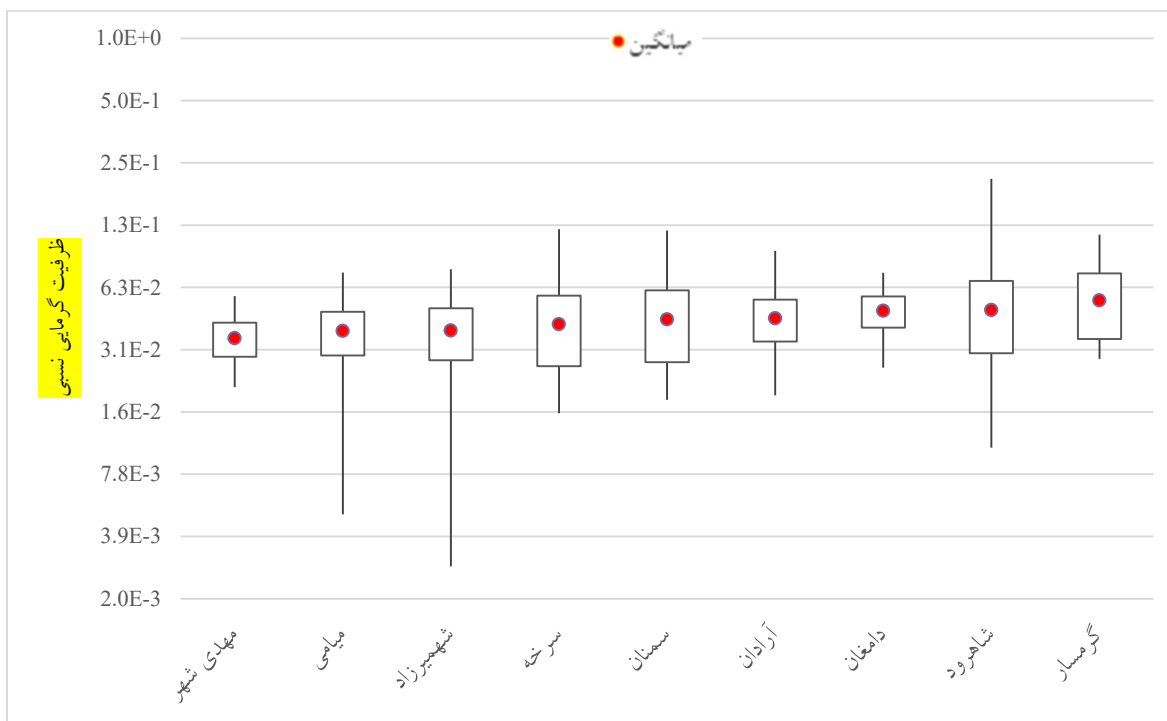
مطابق با نمودار ارائه شده در شکل ۱۱، میزان تغییرات ظرفیت گرمایی برای هر پوشش از نقشه‌ی خاک به صورت نمودار میله‌ای و میزان پراکندگی این تغییرات از متوسط ظرفیت گرمایی آن پوشش به صورت یک کادر نمایش یافته است. مطابق نمودار، بیشترین تغییرات ظرفیت گرمایی مربوط به پوشش خاک نرم و سیاه و کمترین تغییرات مربوط به پوشش خاک کم عمق و نارس است. متوسط ظرفیت گرمایی مربوط به

نسبی به سایر پوشش‌ها اعم از پوشش گیاهی و یا عوارض مصنوعی نیز تعمیم یافته است. بدیهی است که این اثبات صحت و دقت این مدعا نیازمند ارزیابی بیشتر رفتار مدل پیشنهادی در مورد این سطوح بوده که در دستور کار تحقیقات آتی نویسندگان این مقاله قرار دارد.

پهنه‌ی استان سمنان از ۹ شهرستان تشکیل شده است. در ادامه بعد از حذف مناطق مسکونی از پهنه‌ی هر شهرستان، شاخص‌های آماری مرتبط با ظرفیت حرارتی نسبی هر شهرستان مطابق با شکل ۱۲ تولید شده است. این اقدام آخرین سطح از روند ارائه نتایج روش پیشنهادی قلمداد شده که می‌تواند در کاربردهای منطقه‌ای و برنامه‌ریزی‌های کلان مرتبط با مدیریت اقلیم مورداستفاده قرار گیرد. بدیهی است که تحلیل‌های ارائه شده در این سطح به دلیل ماهیت کلان نمی‌تواند به‌عنوان سنجی دقیقی از شرایط اقلیمی شهرستان‌ها محسوب شود.

حاصلخیزی بیشتر این نوع از خاک را به دنبال دارد. از این رو، به نظر می‌رسد که در مشاهدات سنجش‌ازدوری گیاهان بجای بخشی از خاک نرم و سیاه مشاهده شده باشند.

استفاده از صخره‌ها به‌عنوان پدیده‌های با ظرفیت گرمایی پایین و همچنین به‌کارگیری پهنه‌های آبی به‌عنوان پدیده‌های با ظرفیت گرمایی بالا، دامنه‌ی گسترده‌ای از تمایز در ظرفیت گرمایی را در روند واسنجی مدل پیشنهادی تأمین می‌سازند. از سوی دیگر، انتخاب پهنه‌های خالص خاک با ظرفیت‌های گرمایی نسبی معلوم در حدفصل دو پوشش آب و صخره نیز می‌تواند بر صحت روند واسنجی بی‌افزاید. از این رو، با فرض ثبات در نقش شاخص آلبدو در برآورد ظرفیت گرمایی نسبی برای سایر پوشش‌های سطح زمین، انتظار می‌رود در صورت برآورد صحیح اخلاف دمای سطح برای این پوشش‌ها، مقادیر برآورد شده به‌عنوان ظرفیت گرمایی نسبی نیز از اعتبار کافی در رده‌بندی نسبی آن‌ها برخوردار باشد. به‌همین دلیل پس از واسنجی مدل پیشنهادی، نتایج برآورد شده از ظرفیت گرمایی



شکل ۱۲. توزیع آماری مربوط به ظرفیت حرارتی نسبی برای شهرستان‌های استان سمنان

Fig12. Statistical distributions of the relative heat capacity for the cities of Semnan province

سطح خاصیتی لحظه‌ای را گزارش نکرده و یک ویژگی درونی از پدیده‌ها را در واکنش به دما نمایش می‌دهد. تلفیق نقشه‌های مرتبط با ظرفیت گرمایی نسبی با سایر لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی مانند نقشه‌های مغناطیسی، گسیلمندی و میدان ثقل می‌تواند در کشف و بهره‌برداری معادن مورد استفاده قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله روشی به‌منظور برآورد ظرفیت گرمایی نسبی سطح زمین از طریق مشاهدات سنجش‌ازدوری پیشنهاد شد. در این روند، تمایز دمایی روزانه سطح زمین و میزان نور رسیده‌ی خورشید به آن، عوامل مؤثر در بازیابی نسبی ظرفیت گرمایی شناخته شدند. هدف از تخمین ظرفیت گرمایی نسبی برآورد شاخصی بوده که بتواند جایگاه نسبی پوشش‌های مختلف از سطح را از منظر تمایز در ظرفیت گرمایی برآورد سازد. تنظیم و واسنجی روش پیشنهادی به‌کمک واقعیات زمینی حاکی از دقت قابل‌قبول بیش از ۹۰ درصدی در رده‌بندی نسبی پوشش‌های مختلف خاک بوده که به نظر می‌رسد امکان تعمیم را به سایر پوشش‌ها برخوردار باشد. با این حال ارزیابی توان تعمیم این روش به پوشش‌های دیگر و همچنین توسعه راهکارهای تکمیلی به‌منظور برآورد ظرفیت گرمایی مطلق به‌عنوان افق‌های تحقیقاتی پیشرو قابل طرح هستند. دقت در برآورد کمیت‌های محیطی دمای سطح و گسیلمندی و همچنین کاهش اثرات جوی دخیل در بازیابی آن‌ها و همچنین عدم لحاظ شدن تبدلات گرمایی سطح ناشی از جریان‌های هم‌رفتی عواملی تلقی شده که می‌تواند بعنوان منابع خطا در روش پیشنهادی قلمداد شود. از سوی دیگر، به نظر می‌رسد که امکان واسنجی مطلق نتایج به‌دست‌آمده از شاخص نسبی ظرفیت گرمایی با معلوم بودن ظرفیت گرمایی مطلق برخی از سطوح و به‌کمک مدل‌های رگرسیونی میسر باشد. باید توجه داشت که دست‌یابی به رویکردهای تخمین ظرفیت گرمایی مطلق نیازمند دسترسی به داده‌های واقعیات زمینی در ابعادی متناسب با توان تفکیک مکانی سنجنده‌های سنجش از دوری است. تامین

در نمودار ارائه‌شده در شکل ۱۲، ترتیب نسبی ظرفیت گرمایی مربوط به پهنه‌ی شهرستان‌های استان سمنان ارائه شده است. تمایز فاحشی در میان متوسط ظرفیت گرمایی نسبی شهرستان‌های این استان وجود نداشته ولی دامنه‌ی تغییرات متفاوتی در بین آن‌ها قابل مشاهده است. بر این اساس کمترین میزان مربوط به پهنه شهرستان مهدی‌شهر و بیشترین میزان آن به پهنه‌ی شهرستان گرمسار اختصاص دارد. وسعت اندک شهرستان مهدی‌شهر پایداری بیشتری را در ویژگی‌های اقلیمی این شهرستان به وجود آورده است. به نظر می‌رسد که پایین بودن ظرفیت حرارتی نسبی این شهرستان به‌دلیل ماهیت کوهستانی و پوشش خاک کم‌عمق با بستر سنگی است. این موضوع منجر به تغییرات سریع‌تر دمای سطح در طول روز می‌شود. بدیهی است که در همه ارزیابی‌های صورت گرفته وسعت پوشش‌های گیاهی و عوارض مصنوعی به‌عنوان عوامل مؤثر در بروز پراکندگی در شاخص‌های آماری محسوب می‌شوند. از سوی دیگر، گستردگی شمال به جنوب شهرستان‌های گرمسار، شاهرود، سمنان و سرخه نیز یکی از دلایل بروز تنوع بیشتر در ظرفیت گرمایی آن‌ها قلمداد می‌شود. این شهرستان‌ها از جنوب به نواحی کویری و از شمال به مناطق معتدل و مزارع کشاورزی محدود می‌شوند.

از منظر مقایسه‌ی نتایج کسب شده در این تحقیق با تحقیقات مشابه می‌توان به جنبه‌های ارائه شده در ادامه اشاره داشت. عمده‌ی تحقیقات مرتبط با ویژگی‌های حرارتی زمین معطوف به تخمین و تحلیل دمای درخشندگی، دمای مطلق و یا ضریب گسیلمندی سطح بوده که در تحقیق حاضر ویژگی محیطی ظرفیت گرمایی محور تولید ویژگی قرار داشته است. در تولید ظرفیت گرمایی از پتانسیل تمامی ویژگی‌های حرارتی سطح (دما، گسیلمندی، آلودگی و میزان انرژی الکترومغناطیس جذب شده) برای تولید این کمیت محیطی استفاده می‌شود. بدیهی است که راهکار مختلفی در تولید ویژگی‌های پایه مانند دما، آلودگی و گسیلمندی وجود داشته که اثرات تغییر در انتخاب روش برآورد آنها می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد. از سوی دیگر، شاخص ظرفیت گرمایی بر خلاف دمای

این شرایط راهگشا باشد. باین حال وجود سایت‌های واسنجی میدانی با تنوع کافی از پوشش‌های دارای تمایز در ظرفیت گرمایی برای این اقدام ضروری خواهد بود.

واقعیت‌های زمینی از مقدار کمی ظرفیت گرمایی در ابعاد وسیع، هزینه‌های اجرایی زیادی را به دنبال داشته که به نظر می‌رسد توسعه‌ی راهکارهای واسنجی بین‌سنجنده‌ای بتواند در

منابع

- Ahmadi S, Alizadeh H, Mojaradi B. 2022. Land surface temperature assimilation into a soil moisture-temperature model for retrieving farm-scale root zone soil moisture. *Geoderma*, 421:115923. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115923>.
- Aman A, Randriamanantena HP, Podaire A, Frouin R. 1992. Upscale integration of normalized difference vegetation index: The problem of spatial heterogeneity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(2):326-38. doi:<https://doi.org/10.1109/36.134082>.
- Ariza-López FJ, Rodriguez-Avi J, Alba-Fernandez MV. 2018. Complete control of an observed confusion matrix. In: *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, (pp. 1222-1225). IEEE. doi:<https://doi.org/10.1109/IGARSS.2018.8517540>.
- Cess RD, Goldenberg SD. 1981. The effect of ocean heat capacity upon global warming due to increasing atmospheric carbon dioxide. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 86(C1):498-502. doi:<https://doi.org/10.1029/JC086iC01p00498>.
- Fonseca R, Zorzano-Mier MP, Azua-Bustos A, González-Silva C, Martín-Torres J. 2019. A surface temperature and moisture intercomparison study of the Weather Research and Forecasting model, in-situ measurements and satellite observations over the Atacama Desert. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(722):2202-20. doi:<https://doi.org/10.1002/qj.3553>.
- Gaffar EZ. 2013. Remote sensing application on geothermal exploration. In: *AIP Conference Proceedings*, (Vol. 1554, No. 1, pp. 261-264). American Institute of Physics. doi:<https://doi.org/10.1063/1.4820335>.
- Gholami Bidkhani N, Mobasheri MR. 2019. Development of an Index-based Regression Model for Soil Moisture Estimation Using MODIS Imageries by Considering Soil Texture Effects. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 9(1):173-87. doi: <http://jgst.issge.ir/article-1-837-en.html>. (In Persian)
- Halliday D, Resnick R, Walker J. 2013. *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- He R, Jin Y, Jiang J, Xu M, Jia S. 2022. Sensitivity of METRIC-based tree crop evapotranspiration estimation to meteorology, land surface parameters and domain size. *Agricultural Water Management*, 271:107789. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107789>.
- Hedayati A, Vahidnia M, Agha Mohammadi H. 2021. Detection of paddy fields in Rasht city using multi-temporal images of Landsat 8. *Remote sensing and GIS of Iran*. doi:<https://dx.doi.org/10.52547/gisj.2021.215319.0>. (In Persian)
- Jafari R, Malekian M. 2015. Comparison and evaluation of dust detection algorithms using MODIS Aqua/Terra Level 1B data and MODIS/OMI dust products in the Middle East. *International Journal of Remote Sensing*, 36(2):597-617. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2014.999880>.
- Jenson JR. 2007. *Remote Sensing of the Environment- An Earth Resource Perspective*, NY: Prentice Hall Series in Geographic Information Science, Second Edition.
- Kaffash M, Sanaei-Nejad SH. 2020. Fusion of MODIS and Landsat-8 Land Surface Temperature Images Using Spatio-Temporal Image Fusion Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(3):763-73. doi:<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.291016.668360>. (In Persian)
- Kloos S, Yuan Y, Castelli M, Menzel A. 2021. Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in southeast Germany. *Remote Sensing*, 13(19):3907. doi:<https://doi.org/10.3390/rs13193907>.
- Liang S, Strahler AH, Walthall C. 1999. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study. *Journal of Applied meteorology*, 38(6):712-25. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038%3C0712:ROLSAF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038%3C0712:ROLSAF%3E2.0.CO;2).
- Liao Y, Shen X, Zhou J, Ma J, Zhang X, Tang W, Chen Y, Ding L, Wang Z. 2022. Surface urban heat island detected by all-weather satellite land surface temperature. *Science of The Total Environment*, 811:151405. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151405>.
- Liu J, Fang T, Li D. 2011. Shadow detection in remotely sensed images based on self-adaptive feature selection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12):5092-103. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2158221>.
- Lohmann G. 2020. Temperatures from energy balance models: the effective heat capacity matters. *Earth System Dynamics*, 11(4):1195-208. doi:<https://doi.org/10.5194/esd-11-1195-2020>.
- Mahmood SA, Rousta I, Mazidi A. 2022. Investigating the Sustainability of Vegetation Change Trends

- Using Remote Sensing (Case Study: Northern River Basin of Afghanistan). *Geography and Environmental Sustainability*, 12(2):17-35. doi:<https://dx.doi.org/10.22126/ges.2022.7416.2496>. (In Persian)
- Martynov I, Kauranne T. 2014. Detection of Shadow Artifacts in Satellite Imagery Using Digital Elevation Models. In *European Consortium for Mathematics in Industry*, (pp. 1057-1063). Springer, Cham. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-23413-7_147.
- Masroor M, Sajjad H, Rehman S, Singh R, Rahaman MH, Sahana M, Ahmed R, Avtar R. 2022. Analysing the relationship between drought and soil erosion using vegetation health index and RUSLE models in Godavari middle sub-basin, India. *Geoscience Frontiers*, 13(2):101312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101312>.
- Platnick S, King MD, Ackerman SA, Menzel WP, Baum BA, Riédi JC, Frey RA. 2003. The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. *IEEE Transactions on geoscience and Remote Sensing*, 41(2):459-73. doi:<https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.808301>.
- Recondo C, Corbea-Pérez A, Peón J, Pendás E, Ramos M, Calleja JF, de Pablo MÁ, Fernández S, Corrales JA. 2022. Empirical Models for Estimating Air Temperature Using MODIS Land Surface Temperature (and Spatiotemporal Variables) in the Hurd Peninsula of Livingston Island, Antarctica, between 2000 and 2016. *Remote Sensing*, 14(13):3206. doi:<https://doi.org/10.3390/rs14133206>.
- Safdarinezhad A, Mokhtarzade M, Valadan Zoj MJ. 2016. Shadow-based hierarchical matching for the automatic registration of airborne LiDAR data and space imagery. *Remote Sensing*, 8(6):466. doi:<https://doi.org/10.3390/rs8060466>.
- Savtchenko A, Ouzounov D, Ahmad S, Acker J, Leptoukh G, Koziana J, Nickless D. 2004. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. *Advances in Space Research*, 34(4):710-4. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asr.2004.03.012>.
- Tang BH, Shao K, Li ZL, Wu H, Tang R. 2015. An improved NDVI-based threshold method for estimating land surface emissivity using MODIS satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 36(19-20):4864-78. doi:<https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1040132>.
- Taylor SA, Jackson RD. 1986. Heat capacity and specific heat. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5:941-4. doi:<https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c38>.
- Tsegaye NT, Melka GA. 2022. Land Surface Temperature Detection in Relation to Land Use Land Cover Change: The Case of Jimma City and It's Surroundings, Jimma Zone, Southwest, Ethiopia. doi:<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1388653/v1>.
- United States. Dept. of Agriculture. Soil Survey Division, United States. Division of Soil Survey. 1993. Soil survey manual. US Department of Agriculture; Book:https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1335011.pdf.
- Wang L, Neumann U. 2009. A robust approach for automatic registration of aerial images with untextured aerial lidar data. In *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (pp. 2623-2630). IEEE. doi:<https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206600>.



Relative Surface Heat Capacity Mapping using the Day and Night Time Series of MODIS Images and Digital Elevation Models (Case study: Semnan Deserts, Iran)

Mohammad Azad^{1*}, Mahdi Mokhtarzade², Alireza Safdarinezhad³, Alireza Siami⁴

Received: 2022-08-15 / Accepted: 2022-11-14 / Published: 2025-01-16

Abstract

Heat capacity is a physical quantity of the surface that is directly related to the amount of heat energy required to change the surface temperature. Land surfaces with a high of thermal capacity are a sign of moderate climatic conditions and the presence of the low ones is known as a reason for the occurrence of desert climate conditions. When uniform heat energy absorption is occurred by different surfaces, their temperature changes can be inversely related to the heat capacity. However, due to obstacles and shadows, the sunlight as the

most important factor in the reception of heat energy during the day does not receive uniformly to the surface of the earth. In this article, by adjusting the shadows effect the differences in sunlight energy received by different parts of land surfaces are modeled. Then, by calculating the day and night land surface temperatures a method has been proposed for estimation of relative heat capacity. In this method, the time series of MODIS images are used to reduce the destructive effects of atmospheric conditions in the estimation of land surface temperature. The percentage of shadow's presence in each position is also estimated through the spatial analyses on digital elevation models. The proposed method has been calibrated through the ground truths identified with expert knowledge about the soil properties. The results demonstrate that the efficiency of the calibrated method reaches the overall accuracy of 92% in a relative assortment of land surfaces in terms of their heat capacities.

Mohammad Azad^{1*} (✉), Mahdi Mokhtarzade², Alireza Safdarinezhad³, Alireza Siami⁴

1. MSc. Student of Photogrammetry, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Surveying Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2. Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Surveying Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Department of Geodesy and Surveying Engineering, Tafresh University, Tafresh, 39518-79611, Iran

4. MSc. Soil Resource Management, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Islamic Azad Research Branch, Tehran, Iran

DOI: 10.30495/girs.2022.697077

e-mail: azad.mohammad74@yahoo.com

Statement of the Problem: The amount of changes in temperature in the reaction of the absorbed energy is directly related to the heat capacity (HC) properties of the earth's surfaces. This is known as an inherent characteristic that

differs among phenomena. Availability of the surface heat capacity map would be beneficial in climate studies and applications or can be used as a descriptive layer of the earth's surface in the classification of geological properties. By suppose the uniform emittance of the sunlight heat energy to the earth's surface, the changes in the temperature of different parts of the earth's surface during the day will be directly related to their heat capacities. Sunlight can be considered as the most important source of diurnal radiated electromagnetic energy, but it does not provide a uniform radiation on the earth's surface due to the presence of obstacles and shadows. Therefore, the estimation of the earth's surface heat capacity would simultaneously require the estimation of the changes in surface temperature as well as modeling of the amount of energy reached and absorbed by the earth's surface.

Purpose: Estimation of the absolute values of heat capacity requires to availability of various physical quantities such as the amount of thermal energy absorbed by the earth's surface. Determination of the absolute physical values of the energy absorbed by the earth's surface would be challenging and complex work, and therefore, producing an index that could be used as a relative descriptor to compare the difference in the heat capacity of different surfaces of the earth has been chosen as the aim of this research. The meaning of relative heat capacity is an index whose value can determine the relative order of each phenomenon in terms of differentiation in its heat capacity in relation to other phenomena. It seems that the development of such an index facilitates the possibility of obtaining the absolute values of heat capacity when reliable ground truths would be available.

Methodology: In this research, by investigating the soil types' cover of Semnan province through the available geological maps and by supposing their purity, different soil types were reordered according to their heat capacities. This was done with the help of expert knowledge related to soils and via the simultaneous interpretation of geological maps and satellite images. Then, by identifying the pure soil type areas as the ground truths, their diurnal differences in land surface temperature (LST) have been estimated within several monthly periods. To do so, the time series of day and night of the acquired images by the MODIS sensor installed on the Terra and Aqua satellite platforms have been used. In parallel,

using the spatial analyses on the Digital Elevation Models (DEM) and knowing the sun positions, the maps of the shadow casts have been reconstructed for several epochs of day. By aggregating the shadow maps the shadow percentage map would be generated that represents the percentage of lying in shadow for each 3D position of the digital elevation models. Surface albedo, shadow percentage map, and diurnal differences in surface temperature along with an adjusting parameter are all the components of the proposed method for estimating the relative heat capacity. The adjusting parameter is designed to simultaneously adjust the effects of albedo and shadow percentage, whose value is estimated with the help of ground truth data. Its optimized value is determined when the maximum accuracy is achieved in sorting the ground truths through the relative heat capacity index.

Results and discussion: According to the available soil type maps, the province of Semnan consists of nine different soil types. By simultaneously taking advantage of expert knowledge as well as interpretation of satellite images; areas containing pure covers of these types of soils have been identified as ground truths. The relative assortment of different soil covers in terms of their heat capacities has been done with the help of expert knowledge of soil scientists. The ground truths are separated into two subsets of training and evaluation, and with the help of the training ones, the adjusting parameter of the proposed method has been calibrated. The calibration results indicate an approximate 92% accuracy in the sorting of soil types from the heat capacity point of view, and 90% accuracy has also been obtained in the evaluation subset data. The production of statistical indices of relative heat capacity for different soil type covers extracted from the geological map has also demonstrated the expected relative trend in the assortment of the average values of surface heat capacities. It seems that if the estimated surface temperatures would be correct for other land covers and also the influence of albedo that is calibrated for pure soil covers can be generalized to the other surfaces, the proposed method in estimating the relative order of heat capacities could be used as a generalized index for other land covers such as vegetation areas and artificial manmade structures.

Conclusion: In this paper, by estimating the diurnal differences in the surface temperature as

well as reconstruction of the percentage of interruption in the daily solar radiation caused by shadows a method has been proposed that can estimate a quantity to sort the relative position of different land covers in terms of their heat capacities. This index could be beneficial in climate studies and geological interpretations. In this method, by use of completely diverse land covers in terms of their heat capacity as the ground truths (e.g. the water bodies as the highest heat capacity surfaces and the rocky surfaces as the lowest ones) enough dynamic range has been provided in the calibration process. It seems that

the calibrated model can also be generalized to other land covers as well. However, the accuracy and precision of this claim would be investigated in future research that is on the author's agenda. On the other hand, availability of the calibration sites with known values of the surface's absolute heat capacities can be used to develop transform models that convert the estimated relative heat capacities to the absolute ones.

Keywords: Heat Capacity, Land Surface Temperature, MODIS Sensor, Digital Elevation Model.

Please cite this article as: Azad M, Mokhtarzade M, Safdarinezhad A, Siami A. Relative Surface Heat Capacity Mapping using the Day and Night Time Series of MODIS Images and Digital Elevation Models (Case study: Semnan Deserts, Iran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 15(3): 95-118