

بهبود روش مبتنی بر شاخص گیاهی جهت برآورد گسیلمندی سطح با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره بر روی داده های لندست ۸

حسن امامی^{۱*}، عبدالرضا صفری^۲، برات مجردی^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی -

دانشگاه تهران

h_emami@ut.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

asafari@ut.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه علم و صنعت ایران

mojaradi@iust.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

چکیده

گسیلمندی سطح زمین از جمله متغیرهایی است که در دامنه وسیعی از مطالعات و تحقیقات علوم زمین و محیط زیست کاربرد دارد و یکی از پارامترهای اساسی در برآورد دمای سطح می باشد. فناوری سنجش از دور، امکان پایش این کمیت را در سطح وسیعی فراهم می آورد. تغییرات گسیلمندی وابسته به پارامترهای سطح (نظیر بافت، توپوگرافی، رطوبت) و سنجنده (نظیر قدرت تفکیک مکانی، تابع پاسخ طیفی، و طول موج موثر باندها) می باشد. در این تحقیق، یک روش بهبود یافته مبتنی بر شاخص گیاهی نرمال شده جهت برآورد گسیلمندی سطح بر روی داده های لندست ۸ پیشنهاد گردیده است. در روش پیشنهادی، گسیلمندی باند های حرارتی برای مناطق خاک بایر بصورت تابعی از بازتاب باندهای انعکاسی تصحیح اتمسفری شده در محدوده طیفی ۰,۴ تا ۲,۲۹ میکرومتر بیان شده است. کارایی روش پیشنهادی بصورت عملی بر روی داده های لندست ۸ اجرا گردید و گسیلمندی حاصل با دو محصول گسیلمندی سنجنده هوابرد پیشرفته با رادیمترسنج انعکاسی و حرارتی (ASTER) مقایسه و اعتبارسنجی شد. نتایج نشان داد که گسیلمندی حاصل از روش بهبود یافته پیشنهادی در باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ در مقایسه با محصول گسیلمندی متناظر تصویر بررسی اول و دوم ASTER به ترتیب دارای خطای ۰,۷۶٪ و ۰,۷۵٪ با در نظر گرفتن پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا می باشد، همچنین این خطا در باند ۱۱ حرارتی به ترتیب دارای مقدار ۱,۴۹٪ و ۱,۰۶٪ محاسبه گردید. برخلاف روشهای قبلی، روش پیشنهادی نه تنها با دقت بهتری گسیلمندی سطح را بصورت تابعی از انعکاس عوارض مختلف سطح تخمین می زند، بلکه توابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی و انعکاسی را در برآورد گسیلمندی سطح مد نظر قرار می دهد. همچنین، روش پیشنهادی رابطه ضعیف بین گسیلمندی و بازتاب فقط باند قرمز در روشهای قبلی را بدلیل استفاده از بازتاب همه باندهای انعکاسی تقویت می نماید و بر روی اغلب سنجنده ها قابل اجراست.

واژگان کلیدی: گسیلمندی سطح زمین، دمای سطح زمین، لندست ۸، شاخص گیاهی نرمال شده

۱- مقدمه

پارامتر گسیلمندی سطح^۱، یکی از مهمترین ویژگی ذاتی مواد و پدیده‌های سطح زمین است، لذا نه تنها برآورد این پارامتر برای به دست آوردن دمای سطح زمین^۲ ضروری است بلکه آن اطلاعات مفیدی برای زمین شناسی و مطالعات زیست محیطی، نقشه های معدنی فراهم می کند و یکی از مهم ترین پارامترهای ورودی برای مدل های آب و هوا، محیط زیست و بیولوژیکی است [۱۱،۵]. اهمیت برآورد پارامتر گسیلمندی تا اندازه ای ارزشمند است که یک پروژه بزرگ در موسسه فناوری کالیفرنیا توسط سازمان ملی هوانوردی و فضایی ناسا^۳، آزمایشگاه نیروی محرکه جت^۴، انجام شد. برای رسیدن به چنین محصول ارزشمند، ناسا در طول ۱۵ سال (۲۰۰۰-۲۰۱۵) با استفاده از میلیون ها تصویرسنجنده ASTER^۵ مجموعه پایگاه داده های مختلف گسیلمندی نظیر ASTER GEDv2- GEDv3 و GEDv4^۶ را تولید کردند [۹، ۱۰]. علاوه بر این، پایگاه داده دیگری از گسیلمندی ماهیانه سطح توسط دانشگاه ویسکانسین^۷ از روی داده های سنجنده مادیس توسعه داده شده است.

وجود این پایگاه های داده از پارامتر ضریب گسیل سطح، ارزشمند بودن این پارامتر را در کاربرهای مختلف بیان می کند [۲۷]. به منظور برآورد گسیلمندی سطح از داده های ماهواره ای چندین روش وجود دارد که در محدوده طیفی مرئی - مادون قرمز نزدیک^۸ و مادون قرمز حرارتی^۹ یا هر دو آنها اعمال می شود. در ناحیه سنجش از دور نوری، با توجه به روش هایی تعیین گسیلمندی توام با دمای سطح را می توان به سه نوع متمایز طبقه بندی کرد [۱۶]. گروه اول، روش های بازیابی گام به گام است که ابتدا گسیلمندی و سپس دمای سطح به طور جداگانه تعیین می شود [۲، ۶، ۷، ۱۳، ۲۲، ۳۶]. در این گروه فرض بر معلوم بودن پروفیل های اتمسفری است. گروه

دوم، الگوریتم های بازیابی همزمان هر دو گسیلمندی و دمای سطح با فرض معلوم بودن پروفیل های اتمسفری، بر اساس برخی از فرضیات یا محدودیت است [۳۹]. گروه سوم، روش هایی که پروفیل های اتمسفری، گسیلمندی و دمای سطح به طور همزمان بازیابی می گردد [۴۲، ۱۸]. لذا، روش های مختلف برآورد گسیلمندی سطح با اهداف یکسان ولی تحت شرایط مختلف، برای کاربردهای مختلف، دارای مزایا و محدودیت هایی پیشنهاد شده است. این روش ها دارای دقت های مختلف و قابل استفاده برای سنسور های مختلف می باشد.

در میان روش های مختلف تعیین گسیلمندی در گروه اول، روش مبتنی بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده^{۱۰} یک روش نسبتاً ساده و بر اساس یک رویکرد نظری است. مناطق با پوشش گیاهی متراکم، تقریباً شبیه جسم سیاه عمل کرده و طیف ضریب گسیل آنها تقریباً ثابت و نزدیک به ۱ است. بنابراین تخمین ضریب گسیل برای این نوع از پدیده های سطح آسان تر از سطوح خاک یا سنگ می باشد. در واقع، روش برآورد گسیلمندی مبتنی بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده یک مقدار ثابت از ضریب گسیل را برای این مناطق فرض می کنند [۳۲]. علاوه بر این، این روش می تواند در بسیاری از ماهواره های سنجش از دور که دارای باندهای طیفی در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند، استفاده شود. رویکردهای مختلفی از روش مبتنی بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، برای برآورد گسیلمندی سطح استفاده شده است [۱۲، ۱۹، ۲۰، ۳۲، ۳۳، ۳۵، ۳۷، ۳۸]. اولین بار [۳۷] یک همبستگی بسیار بالایی بین گسیلمندی سطح در باند پوششی ۸-۱۴ میکرومتر و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده لگاریتمی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیون بصورت معادله (۱) گزارش کردند

$$\varepsilon = a + b \ln(NDVI) \quad (1)$$

در این معادله a و b ضرایب ثابت بوده و از آنالیز رگرسیون بدست می آیند. در مطالعات توسط [۳۷] نشان داده شد که این روش وابسته به منطقه مورد مطالعه است و این بدان معنی است که ضرایب a و b نمی تواند در یک

^۱ Land surface emissivity

^۲ Land surface temperature

^۳ National Aeronautics and Space Administration's

^۴ Jet Propulsion Laboratory (JPL)

^۵ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)

^۶ Global Emissivity Dataset

^۷ University of Wisconsin Global Infrared Land Surface Emissivity Database (UWIREMIS)

^۸ Visible and near-infrared (VNIR)

^۹ Thermal infrared (TIR)

^{۱۰} NDVI-Based Emissivity Method (NBEM)

بایر می باشند. هر دو آنها را می توان با اندازه گیری زمینی [۲۴، ۲۵] و یا از یک پایگاه داده ضریب گسیل [۱] به دست آورد، $d\epsilon_i$ اثر متوسط ساختار هندسی پوشش گیاهی است که می تواند مقادیر ۰،۰۲ و بالاتر را از شبیه سازی عددی داشته باشد [۳۵]. به دلیل سادگی آن، این روش در حال حاضر برای سنجنده های مختلف با دسترسی به داده طیفی در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک اعمال می شود [۱۹، ۲۹، ۳۲]. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مورد استفاده در معادله (۲)، بصورت معادله (۳) محاسبه می گردد.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (3)$$

که در آن ρ_{red} و ρ_{nir} به ترتیب بازتاب سطح در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز می باشد و شاخص کسر پوشش گیاهی بصورت معادله (۴) محاسبه می گردد [29, 35].

$$p_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (4)$$

در این معادله $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ بیانگر حداقل و حداکثر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده در تصویر می باشند. با این حال، مشکل اصلی با این روش ها، گسستگی مقادیر ضرایب گسیل در مرزهای سه تابع محاسبه گسیلمندی (معادله ۲) و قابل استفاده نبودن برای سطوح مانند آب، یخ، برف، و سنگ می باشد [۳۲]. علاوه بر این، نیاز به آگاهی اولیه از ضرایب گسیل خاک و پوشش گیاهی را دارد و تعیین ضریب گسیل خاک ممکن است منبع اصلی خطا در این روش ها باشد [۱۲]. اخیراً [۳۳] بهبود یافته روش مبتنی بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده را بر روی داده های یک کیلومتری سنجنده مادیس با استفاده از بازتاب انعکاسی باندهای مرئی-مادون قرمز بکار برد. بر این اساس، با در نظر گرفتن اختلاف در قدرت تفکیک مکانی، تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی، محدوده طول موج باندهای حرارتی و طول موج موثر بین سنجنده مادیس و لندست ۸ وجود دارد که گسیلمندی سطح با تغییر این پارامترها تغییر می یابند و امکان استفاده روش پیشنهادی [۳۳] در سنجنده لندست ۸ وجود ندارد. چون تغییرات گسیلمندی، وابسته به پارامترهای سطح

منطقه محاسبه و در منطقه دیگری مورد استفاده قرار گیرد. پس از آن، [۳۵] یک روش تئوری بر اساس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده پیشنهاد دادند که اثر ساختار هندسی پوشش گیاهی^۱ در تخمین ضریب گسیل را در نظر گرفتند (معادله ۲). با این حال، این روش نیاز به دانش قبلی از برخی پارامترهای هندسی از پوشش گیاهی، مانند ارتفاع، عرض، و جدایی بین ردیف درخت ها را داشت که استفاده از این روش را محدود می کرد [۱۲]. با توجه به پیچیدگی روش پیشنهاد شده توسط [۳۵]، یک روش حد آستانه بر اساس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده توسط [۲۹] پیشنهاد شد. آنها پیچیدگی مدل قبلی را کاهش دادند و برآورد گسیلمندی سطح را فرموله کردند. در روش پیشنهادی [۲۹] فرض می شود که (۱) سطح تنها از ترکیب خاک و پوشش گیاهی تشکیل شده است، (۲) ضریب گسیل خاک بایر می تواند به صورت خطی با استفاده از بازتاب سطح در باند قرمز توصیف شود، و (۳) ضریب گسیل بصورت خطی با در نظر گرفتن شاخص کسری از پوشش گیاهی^۲ در یک پیکسل تغییر می کند. بنابراین، ضریب گسیل باند حرارتی i می تواند با استفاده از سه تابع خطی، با شرایطی که در یک پیکسل است از جمله اینکه از پوشش گیاهی کامل، یا از خاک کامل و یا از مخلوط خاک / پوشش گیاهی تشکیل شده است، برآورد شود.

$$\epsilon_i = \begin{cases} a_i + b_i \rho_{red} & , NDVI < NDVI_{soil} \\ \epsilon_{veg,i} p_v + \epsilon_{soil,i} (1 - p_v) + d \epsilon_i & , NDVI_{soil} < NDVI < NDVI_{veg} \\ \epsilon_{veg,i} + d \epsilon_i & , NDVI > NDVI_{veg} \end{cases} \quad (2)$$

که در آن i اشاره به باندهای حرارتی، a_i و b_i ضریب رگرسیون وابسته به باندهای حرارتی می باشد، ρ_{red} انعکاس سطح مربوط به باند قرمز و $NDVI_{soil}$ و $NDVI_{veg}$ به ترتیب مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مربوط به خاک بایر و پوشش گیاهی متراکم می باشند که می توان مقادیر آنها را از هیستوگرام کل تصویر بدست آورد [۲۸]. p_v شاخص کسر پوشش گیاهی، ϵ_{veg} و ϵ_{soil} به ترتیب ضریب گسیل پوشش گیاهی و خاک

^۱ Cavity effect

^۲ Fraction of vegetation index

(نظیر بافت، توپوگرافی، رطوبت) و سنجنده (نظیر قدرت تفکیک مکانی-طیفی، تابع پاسخ طیفی، طول موج موثر باندهای حرارتی و زاویه دید سنجنده) می‌باشد [۱۷]. لذا، با بکارگیری مقادیر انعکاس باندهای انعکاسی در محاسبه گسیلمندی سطح، تاثیر پارامترهای سطح در محاسبه گسیلمندی بصورت غیر مستقیم دخالت داده می شود. ولی تعمیم روش بهبود یافته مادیس [۳۳] بر داده‌های لندست ۸ به دلایل زیر امکانپذیر نیست. شرط اول، همسان بودن زاویه دید دو سنجنده است. یکی از پارامترهای اساسی که باعث تغییر گسیلمندی سطح می‌گردد، زاویه دید سنجنده^۱ است که برای زاویه دید بزرگتر از ۳۰ درجه تاثیرش بر روی گسیلمندی سطح محسوس بوده و غیرقابل اغماض است [۳۴]. زاویه دید سنجنده لندست ۸ نزدیک به صفر ولی سنجنده مادیس در منطقه مطالعاتی ما بزرگتر از ۵۰ درجه است شرط دوم، یکسان کردن قدرت تفکیک مکانی بین دو سنجنده است که این تفاوت بین لندست ۸ و مادیس حدود ۱۰ برابر است. برای یکسان کردن قدرت تفکیک مکانی بین دو سنجنده نمی‌توان با روش ساده اندازه پیکسل‌ها را ۱۰ برابر کرد، زیرا قدرت تفکیک مکانی برای هر پیکسل تصویر از روی تابع گسترش نقطه‌ای^۲ هر سنجنده (تابع پاسخ مکانی)^۳ تعیین می گردد [۲۶]. که اولاً این تابع بصورت ترکیب خطی از توابع گسترش نقطه‌ای سیستم اپتیکی هر سنجنده بدست می آید، ثانیاً در اختیار عموم قرار نمی‌گیرد و مطالعات مختلف آنرا به روش‌های مختلف تقریب می‌زنند [۸، ۱۴]. بایستی با استفاده از روشهای نظیر [۱۴] توابع گسترش نقطه‌ای سیستم اپتیکی هر دو سنجنده را تعیین و سپس قدرت تفکیک مکانی بین دو سنجنده را یکسان نمود. شرط سوم، بعد از هم یکسان کردن قدرت تفکیک مکانی، پیدا کردن رابطه طیفی بین پیکسل‌های همسان در دو سنجنده است. بدلیل متفاوت بودن تابع پاسخ طیفی و رنج طول موج متفاوت باندهای حرارتی متناظر بین مادیس و لندست ۸، طیف یک پیکسل مادیس معادل طیف ۱۰*۱۰ پیکسل لندست ۸ است. برای این منظور بایستی با استفاده از کتابخانه های طیفی گسیلمندی نظیر MODIS UCSB emissivity library رابطه طیفی بین دو سنجنده را برای کلاسهای اساسی

سطح زمین بدست آورد و رابطه طیفی بین پیکسل‌های همسان دو سنجنده برقرار کرد. علاوه بر برقراری شرایط فوق، خطای تصحیح هندسی^۴ در حد ۰٫۱ پیکسل در سنجنده مادیس معادل یک پیکسل در باند های حرارتی سنجنده لندست ۸ است لذا بجز در مناطق همگن حرارتی امکان مقایسه طیف حرارتی در حالت کلی وجود ندارد و چنین خطایی خود از علل بروز خطا در اندازه گیری پارامترهای سطح می باشد [۴۰]. همچنین، [۴۱] نشان داده است که استفاده از ضریب گسیل باند پهن در یک کانال به جای ضریب گسیل باند باریک و بالعکس، ممکن است باعث ایجاد خطاهای بزرگ در برآورد پارامترهای سطح گردد. در نتیجه برای فائق آمدن بر مشکلات روش‌های مبتنی بر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده، نیاز به توسعه روشهای جدید در این خصوص است. لذا در این تحقیق، گسیلمندی سطح زمین با استفاده از یک روش بهبود یافته مبتنی بر شاخص گیاهی نرمال شده برای باندهای حرارتی لندست ۸، باند ۱۰ و باند ۱۱، برآورد گردیده است. گسیلمندی باندهای حرارتی مذکور برای خاک‌های بایر بصورت تابعی از بازتاب انعکاسی تصحیح اتمسفری شده از باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز امواج کوتاه در محدوده طیفی ۰٫۴ تا ۲٫۲۹ میکرومتر بیان شده است.

بخشهای مختلف این مقاله بصورت زیر سازماندهی گردیده است: بعد از یک مقدمه، که اشاره به روشهای مختلف برآورد گسیلمندی سطح بر اساس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده را داشت و مشکلات این روشها را بیان کرد که نیازمند توسعه روشهای جدید در این خصوص است. در بخش بعدی، منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق معرفی گردیده و پیش‌پردازش‌های لازم بر روی داده‌ها به تفصیل توضیح داده شده است. در بخش سوم، بهبود روش مبتنی بر شاخص گیاهی جهت برآورد گسیلمندی سطح با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیره بر روی داده‌های لندست ۸ ارائه شده است. در بخش چهارم، مقایسه و اعتبارسنجی روش پیشنهادی آمده است و در نهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری از این تحقیق، آنالیز و بررسی گردیده است.

^۱ Sensor zenith angle

^۲ Point spread function

^۳ Spatial response function

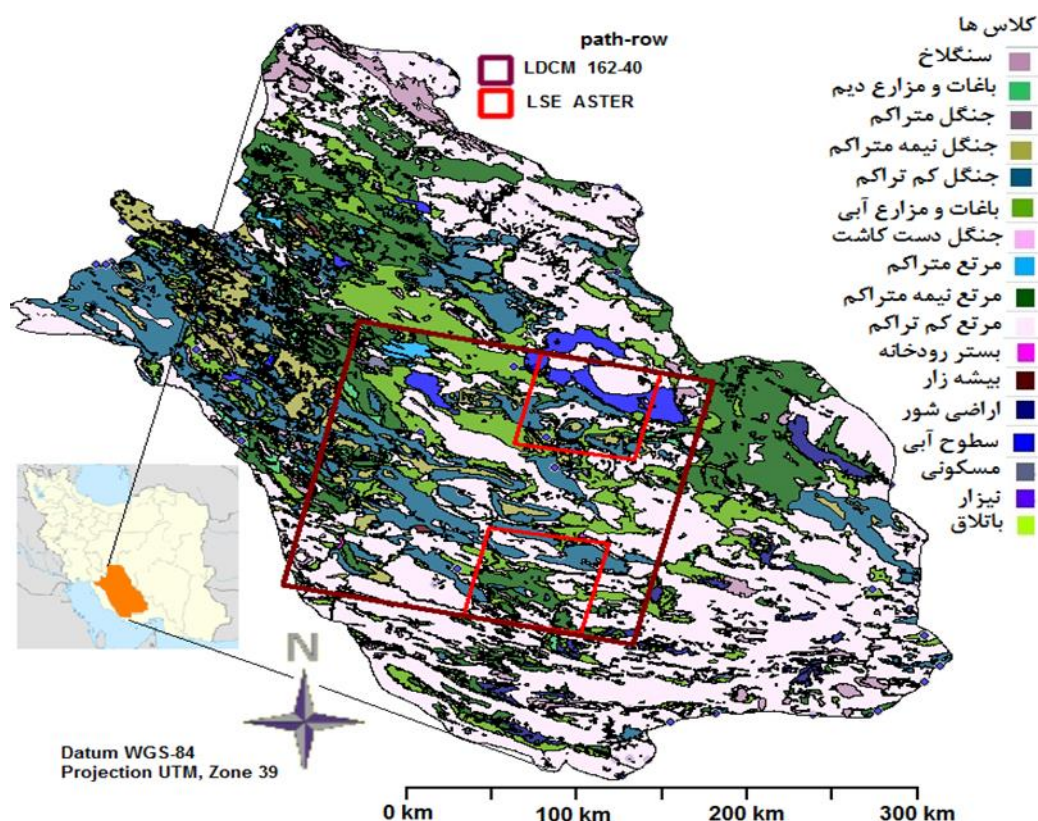
^۴ Image misregistration error

۲- منطقه مطالعاتی، داده‌ها و پیش‌پردازش آنها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های تحقیق

منطقه مورد مطالعه قسمتی از استان فارس بوده که در بین طول جغرافیای $26^{\circ} 25' - 32^{\circ} 44'$ شمالی و عرض جغرافیای $50^{\circ} 32' - 55^{\circ} 54'$ شرقی قرار دارد. نقشه کاربری این منطقه شامل ۱۷ نوع کلاس بوده و تصاویر لندست ۸ (LDCM)^۱ متناظر این منطقه در تاریخ ۱۴ ژوئن ۲۰۱۳ جمع‌آوری شده است. لازم به ذکر است که بدلیل وجود

خطاهای کالیبراسیون در داده‌های لندست ۸، این داده‌ها برای تصحیح و پردازش دوباره از سازمان زمین شناسی ایالات متحده^۶ درخواست گردید و در تاریخ می ۲۰۱۵ دوباره پردازش و تاثیر پارامترهای بهبود کالیبراسیون بر روی آنها انجام گرفت و در تحقیق حاضر از داده‌های جدید پردازش شده، استفاده گردید. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه را با کلاس‌های کاربری و موقعیت تصاویر لندست ۸ و محصول گسیلمندی ASTER^۷ را در دو صحنه تصویر نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه همراه با نقشه کاربری (تهیه شده توسط جهاد کشاورزی استان فارس)

نسل جدید ماهواره‌های لندست ۸ که در سال ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد حاوی دو سنجنده جداگانه، که شامل سنسور باندهای انعکاسی^۲ و سنسور باندهای حرارتی^۳ می‌باشد [۱۵]. سنسور باندهای انعکاسی لندست ۸ طیف وسیعی از امواج مرئی-مادون قرمز نزدیک^۴ و امواج مادون قرمز کوتاه^۵ می

باشد، در حالیکه سنسور باندهای حرارتی دارای دو باند حرارتی با محدوده طیفی ۱۰٫۵ تا ۱۲٫۵ میکرومتر را پوشش می‌دهند. در تاریخ ۳ فوریه ۲۰۱۴، سازمان زمین شناسی ایالات متحده پارامترهای کالیبراسیون هر دو سنجنده را تصحیح کرد ولی بیان کردند که یک بایاس بزرگتری همچنان بر روی باند دوم حرارتی (باند ۱۱) وجود دارد که هنوز هم این خطاها باقی است و توصیه کردند که در

^۱ Landsat Data Continuity Mission (LDCM)

^۲ Operational Land Imager (OLI)

^۳ Thermal Infrared Sensor (TIRS)

^۴ Visible and Near-Infrared (VNIR)

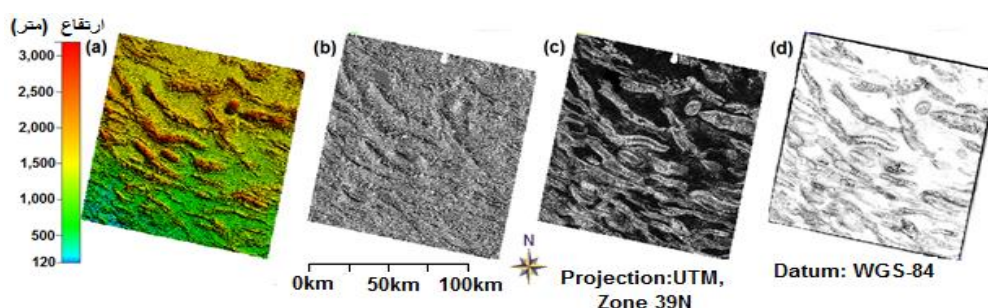
^۵ Short Wave Infra Red (SWIR)

^۶ United States Geological Survey (USGS)

^۷ ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

محاسبه دمای سطح از این باند استفاده نگردد[۳]. در این تحقیق، علاوه بر داده‌های لندست ۸، سه نوع داده دیگر استفاده شده است. اولین نوع داده، محصول استاندارد گسیلمندی سنجنده^۱ ASTER است که برای اعتبارسنجی و مقایسه نتایج روش پیشنهادی استفاده گردید. این محصول از روی داده‌های زمینی گسیلمندی تصحیح شده^۲ بدست آمده است و گسیلمندی زمینی سطح نیز با استفاده از الگوریتم جداسازی دما/گسیلمندی تولید شده است. دومین نوع داده، کتابخانه طیفی^۳ ASTER می باشد، نسخه ۲۰، از کتابخانه طیفی سنجنده ASTER، تلفیقی از سه کتابخانه طیفی دیگر است: کتابخانه طیفی دانشگاه جانز هاپکینز^۴، کتابخانه طیفی آزمایشگاه نیروی محرکه جت و کتابخانه طیفی سازمان زمین شناسی ایالات متحده می‌باشد. برای محاسبه ضریب گسیل

طیفی باندهای حرارتی و شبیه‌سازی بازتاب باندهای انعکاسی عوارض سطح زمین در روش پیشنهادی از این کتابخانه طیفی در رنج طول موج ۰.۴ تا ۱۴ میکرومتر استفاده گردید [۱، ۲۱]. سومین نوع داده، مدل رقومی ارتفاعی سنجنده رادار فضایی با ماموریت اخذ توپوگرافی^۵ SRTM می‌باشد که برای انجام تصحیح توپوگرافی بر روی تصویر لندست ۸ استفاده شد. برای انجام تصحیح توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات لازم نظیر شیب^۸، تغییر شیب^۹، سایه^{۱۰} و پارامتر برجستگی سطح^{۱۱}، محدود به بخشی از آسمان که دربرگیرنده تصویر است، استخراج و استفاده گردید. مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاعی و مشتقات آن: (a) مدل رقومی ارتفاعی (b) تغییر شیب (c) شیب (c) sky view

۲-۲- پیش پردازش داده‌ها

بدیهی است قبل از محاسبه و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح زمین نظیر گسیلمندی، دما، رادیانس انعکاسی-حرارتی سطح، آلبدو سطح و نظایر آن انجام تصحیح رادیومتریکی تصاویر ماهواره‌ای الزامی است. برای رسیدن به این هدف بایستی اثر اتمسفر، هندسه دید سنجنده، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی و ویژگیهای سطح روی تصاویر درنظر گرفته شود و تاثیر این عوامل در تخمین پارامترهای سطح حذف یا به حداقل برسد.

برای این منظور، در این تحقیق با استفاده از نرم افزار تصحیح توپوگرافی و اتمسفری^۵ ATCOR که بصورت مستقل بر پایه محیط برنامه نویسی زبان تعاملی داده^۶

استوار بوده و از پایگاه داده MODTRAN-5^{۱۲} استفاده می‌کند[۲۳]. تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی تصاویر لندست ۸ انجام شد. شکل (۳) این تصحیحات را در قسمتی از تصاویر نشان می‌دهد. بعد از انجام توپوگرافی و اتمسفری، بازتاب انعکاسی و تشعشع حرارتی عوارض سطح زمین بدست می‌آید و تمامی محاسبات در این تحقیق بر اساس این پارامترهای زمینی تصحیح شده صورت گرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه، باندهای ۱ تا ۷ و ۹ انعکاسی در محدوده طیفی ۰.۴ تا ۲.۲۹ میکرومتر و باندهای ۱۰ و ۱۱ حرارتی در محدوده طیفی ۵ تا ۱۲.۵ میکرومتر لندست ۸ مورد استفاده قرار گرفت و نیازی به سایر باندهای این سنجنده در این تحقیق نبود.

^۷ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

^۸ Slope

^۹ Aspect

^{۱۰} Shadow

^{۱۱} Skyview

^{۱۲} MODerate resolution atmospheric TRANsmision

^۱ Earth Surface Emissivity (2B04)

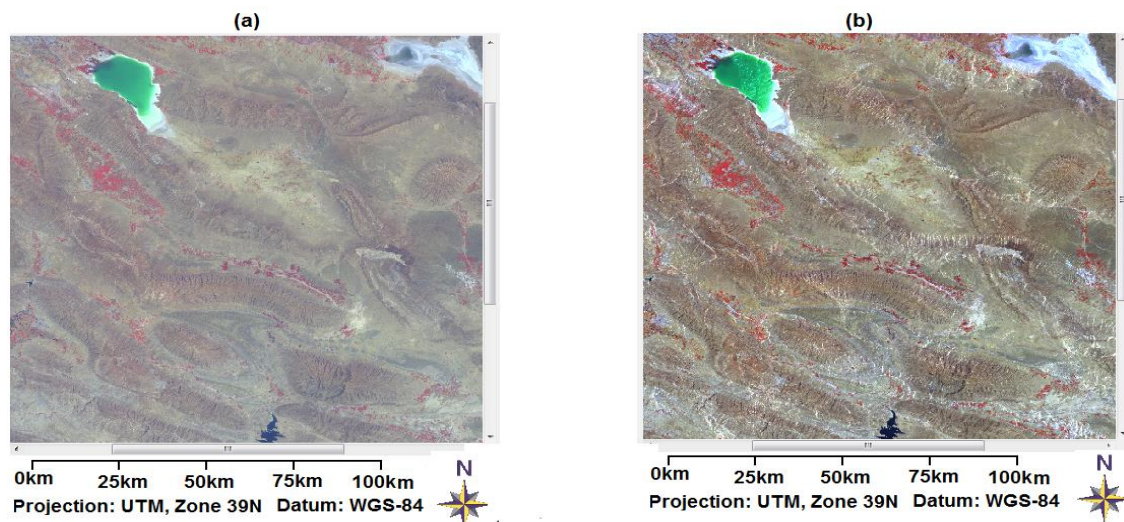
^۲ Atmospherically Ground Surface Emmissivity (2B01T) data

^۳ ASTER Spectral Library v2.0

^۴ Johns Hopkins University (JHU)

^۵ Atmospheric and Topographic Correction (ATCOR)

^۶ Interactive Data Language



شکل ۳- تصحیح توپوگرافی و اتمسفری در قسمتی از تصویر مورد مطالعه: (a) تصویر اولیه، (b) تصویر تصحیح شده

۳- روش پیشنهادی

با توجه به مشکلات و محدودیت روشهای برآورد گسیلمندی سطح بر اساس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده که در بخش مقدمه ذکر گردید. اخیراً نیز بهبود یافته‌ای از این روش بر روی داده های یک کیلومتری سنجنده مادیس توسط [۳۳] بکار برده شده است که امکان استفاده از این روش در سنجنده لندست ۸ وجود ندارد. در این تحقیق، با در نظر گرفتن اختلاف در قدرت تفکیک مکانی، تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی، محدوده طول موج باندهای حرارتی و طول موج موثر باندها بین سنجنده مادیس و لندست ۸ که گسیلمندی سطح با تغییر این پارامترها تغییر می یابند، یک روش بهبود یافته مبتنی بر شاخص گیاهی نرمال شده جهت برآورد گسیلمندی سطح بر روی داده های لندست ۸ پیشنهاد گردیده است. برای این منظور، روش پیشنهادی با توجه به ویژگی های خاک، پوشش گیاهی یا ترکیب آنها در هر پیکسل و با در نظر گرفتن مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده در هر پیکسل ارائه شده است. لذا در روش پیشنهادی، تعیین گسیلمندی سطح در سه حالت شامل: مناطق حاوی خاک بایر، مناطق با پوشش گیاهی متراکم، مناطق ترکیب و خاک و گیاه انجام گرفت.

۳-۱- تعیین گسیلمندی مناطق حاوی خاک بایر

در صورتیکه، مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده در پیکسل کمتر از ۰.۲ باشد، می توان به عنوان خاک بایر

در نظر گرفت [۳۰]. در این مورد، چند نمونه طیف خاک^۱ بایر از پایگاه داده کتابخانه طیفی ASTER برای شبیه سازی باندهای انعکاسی ۱ تا ۷ و ۹ لندست ۸ و گسیلمندی باندهای حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱) با در نظر گرفتن توابع پاسخ طیفی آنها استفاده گردید. طیف های خاک انتخاب شده که تفاوت محسوسی با اکثریت انواع خاک نداشتند، در این تحقیق استفاده شدند. در مجموع، ۲۳ نمونه با ۲۳ نوع مختلف خاک، از جمله لوم رسی^۲، لومی سیلتی^۳، لوم شنی^۴، لومی شن و ماسه^۵، نظایر آن در این مطالعه استفاده شدند. شکل (a) و (b) ، به ترتیب نمونه‌ای از طیف های مورد استفاده و توابع پاسخ طیفی باندهای انعکاسی و حرارتی لندست ۸ را نشان می دهد. از آنجاییکه تغییرات ضریب گسیل سطح تقریباً مستقل از دمای سطح است ($\Delta \varepsilon = 10^{-4}$)، لذا ضریب گسیل عوارض سطح با در نظر گرفتن تابع پاسخ طیفی سنجنده حرارتی لندست ۸ از معادله (۵) محاسبه می گردد [۴].

$$\varepsilon_i = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_i(\lambda) \varepsilon_\lambda d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_i(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

در این معادله، i اشاره به باندهای حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱) دارد، λ_1 و λ_2 به واحد میکرومتر و اشاره به محدوده باندهای حرارتی دارد، ε_λ بدون واحد بوده و اشاره به

^۱ Soil spectra

^۲ Clay loam

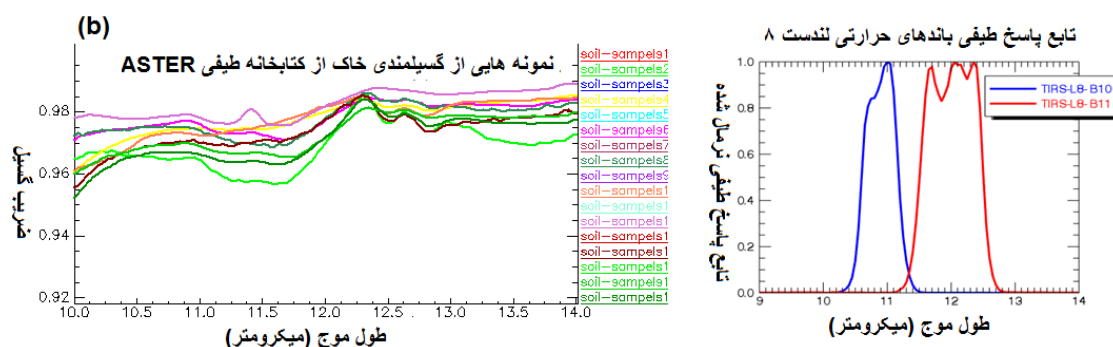
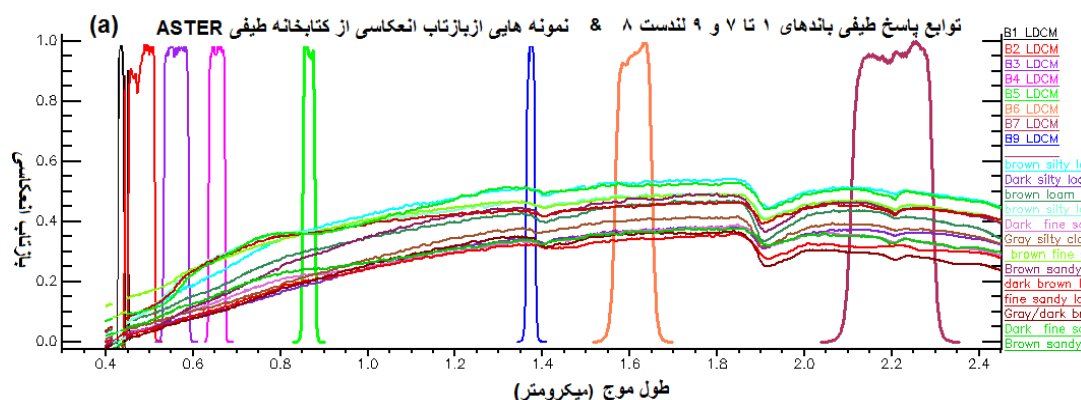
^۳ Silty loam

^۴ Sandy loam

^۵ Loamy sand

ضریب گسیل طیفی عوارض سطح زمین دارد، $R_i(\lambda)$ به درصد و بیانگر تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی است که تابعی از طول موج است، $d\lambda$ نمادی برای متغیر انتگرال گیری است و یک کمیت خیلی کوچک را نشان می دهد و ε_i بدون واحد بوده و اشاره به ضریب گسیل باندهای حرارتی دارد. برای محاسبه ε_λ ضریب گسیل طیفی عوارض سطح زمین از کتابخانه طیفی ASTER در

رنج طول موج ۰.۴ تا ۱۴ میکرومتر استفاده شد [۲۱، ۱]. لازم به ذکر است که همچنین معادله (۵) می تواند برای نمونه های مختلف یک نوع کلاس هم مثل انواع خاک بکار رود. لذا اگر این رابطه را بر روی انواع طیف خاک در کتابخانه طیفی بکار ببرید همانطوریکه در شکل (۵) نشان داده شده است، مقادیر متفاوت گسیلمندی برای انواع خاک بدست می آید.



شکل ۴- نمونه ای از طیف های خاک بایر و توابع پاسخ طیفی لندست ۸، (a) باندهای انعکاسی، (b) باندهای حرارتی

انتخاب یک مقدار معمول برای برخی از عوارض سطح نظیر خاک، بدلیل تغییرات زیاد ضریب گسیل انواع خاک کار دشواری نسبت به پوشش گیاهی و سایر عوارض سطح می باشد [۳۱]. بدلیل تغییرات زیاد گسیلمندی انواع خاک در اثر عواملی نظیر رنگ خاک، رطوبت موجود آن، مواد آلی تشکیل دهنده خاک، بافت خاک، اندازه ذرات خاک و غیره ، تعداد خیلی زیادی از انواع خاک در کتابخانه طیفی اندازه گیری شده و موجود است- از بین این تعداد، در این تحقیق نظر بر اینکه استان فارس خاک حاصلخیز دارد و مطابق با برداشت نمونه های خاک توسط جهاد کشاورزی استان فارس عمدتاً ترکیبی از سه عنصر حاصلخیزی خاک (رس، سیلت و ماسه) بوده و لذا بر این اساس در مجموع، ۲۳ نمونه با ۲۳ نوع مختلف خاک، از ترکیبات مختلف از این سه عنصر خاک از کتابخانه طیفی انتخاب و بر اساس آن رابطه (۶) شکل

گرفت. در نتیجه، برای خاک های بایر رابطه بین ضریب گسیل باندهای حرارتی به دست آمده و مقادیر بازتاب ۸ باند انعکاسی روابط آماری از طریق رگرسیون خطی چندگانه بصورت معادله (۶) برآورد گردید.

$$\varepsilon_{soil,i} = a_{i0} + \sum_{j=1}^{j=8} a_{ij} \rho_j \quad , (i=10,11) \quad (6)$$

در این معادله، $\varepsilon_{soil,i}$ بیانگر ضریب گسیل باندهای حرارتی برای خاک های بایر در هر پیکسل است، a_{ij} و a_{i0} ضرایب رگرسیون برای باند i (باندهای ۱۰ و ۱۱ لندست ۸) هستند، ρ_j بازتاب باندهای انعکاسی (باندهای ۱ تا ۷ و ۹ لندست ۸) می باشد. جدول (۱) ضرایب رگرسیون معادله (۶) را نشان می دهد. در این جدول ضرایب a_1 تا

a_8 مربوط به باند ۹ این سنجنده می باشد.

a_7 متناظر با باندهای انعکاسی ۱ تا ۷ لندست ۸ و ضریب

جدول ۱- ضرایب رگرسیون a_0 تا a_8 برای تخمین گسیلمندی مناطق خاک بایر برای باندهای حرارتی لندست ۸

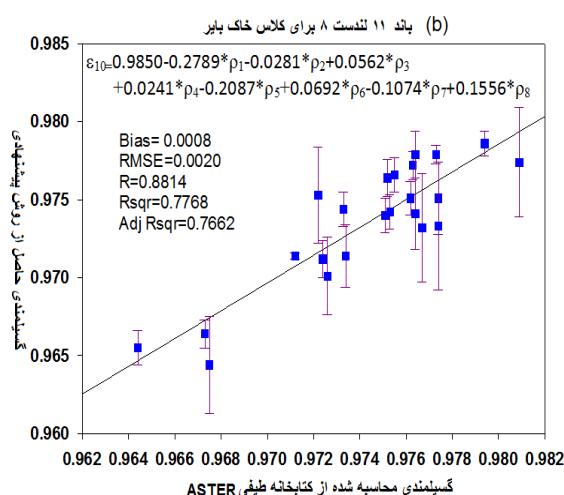
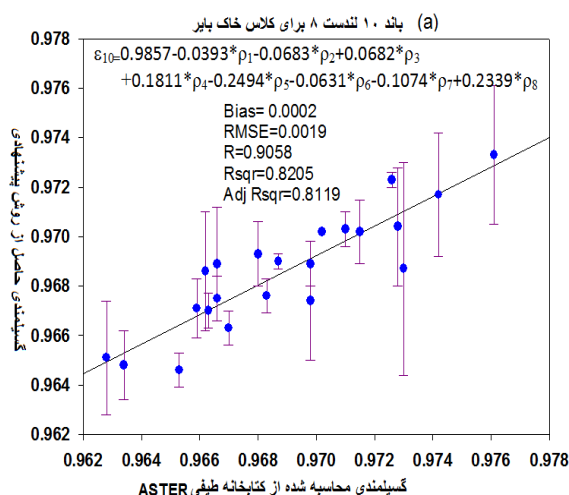
باند	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
۱۰	0.9857	-0.0393	-0.0683	0.068۲	0.1811	-0.2494	-0.0631	-0.1242	0.2339
۱۱	0.9850	-0.2789	-0.0281	0.0562	0.0241	-0.2087	0.0692	-0.1074	0.1556

می آیند. در نتیجه با در نظر گرفتن تمامی نمونه های طیفی انتخاب شده یک سیستم معادلات خطی بصورت معادله (۷) برای هر باند حرارتی حاصل می گردد.

$$AX + a_0 = \varepsilon_i \quad \text{or} \quad \begin{bmatrix} X \\ a_0 \end{bmatrix} = \varepsilon_i \quad (7)$$

که در آن i بیانگر باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ لندست ۸، ماتریس ضرایب معلوم A داری سطرهایی با مقادیر انعکاس نمونه های طیفی محاسبه شده خاک از کتابخانه طیفی (ρ_j) و به تعداد نمونه های خاک انتخاب شده و ستونهای آن به تعداد یکی بیشتر از باندهای انعکاسی مورد استفاده می باشد، بردار X بیانگر ضرایب رگرسیون مجهول a_1 تا a_8 می باشد و ε_i مقادیر گسیلمندی نمونه خاک های انتخابی است که با ادغام توابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی بدست می آید. بردار X به همراه a_0 از حل معادله (۷) با روش کمترین مربعات بدست می آید. چون بردار ε_i برای باندهای حرارتی متفاوت است لذا ضرایب رگرسیون مجزا (بردار X) همانند جدول (۱) برای باندهای حرارتی محاسبه می گردد. میزان خطا و بایاس برآورد ضرایب رگرسیون در شکل (۵) نشان شده است.

نحوه محاسبه ضرایب رگرسیون معادله (۶) به این صورت است که پارامتر گسیلمندی نمونه خاک در سمت چپ معادله (۶)، با استفاده از معادله (۵) و از ادغام تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی لندست ۸ با مقادیر گسیلمندی نمونه خاک حاصل از کتابخانه طیفی، در رنج طول موج موثر آن باند حرارتی بدست می آید. عبارتی، معادله (۵) فرم دیگری از میانگین وزن دار از گسیلمندی هر نمونه طیف کتابخانه ای انتخابی است که مقدار تابع پاسخ طیفی هر باند حرارتی، نقش وزن را در هر طول موج بازی می کنند. با توجه به اینکه تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی و رنج طول موج موثر آنها (λ_1 تا λ_2) متفاوت می باشد لذا به ازای هر نمونه گسیلمندی خاک انتخاب شده دو مقدار مجزا گسیلمندی برای باندهای حرارتی بدست می آید. همچنین با توجه به شکل (4a) میانگین وزن دار مقادیر انعکاس نمونه های طیفی انتخاب شده متناظر خاک (ρ_j)، در ۸ باند انعکاسی لندست ۸ محاسبه گردید که توابع پاسخ طیفی در هر طول موج نقش وزن را دارند. برای هر نمونه طیفی ۸ مقدار، به تعداد باندهای انعکاسی مورد استفاده، مقادیر انعکاس سطح خاک بدست می آید که این مقادیر برای هر دو باند حرارتی یکسان بوده و از کتابخانه طیفی مورد استفاده در این تحقیق، بدست



شکل ۵- مقایسه مقادیر گسیلمندی حاصل از کتابخانه طیفی و روش پیشنهادی برای خاک بایر در باندهای حرارتی لندست ۸، (a) باند ۱۰، (b) باند ۱۱

۳-۲- تعیین گسیلمندی در مناطق با پوشش گیاهی متراکم

پیکسل‌هایی که در تصویر دارای مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده بیشتر از ۰.۵ (معادل با مقدار کسر شاخص گیاهی $p_v = 1$) باشند، می‌توان به عنوان پوشش گیاهی کامل یا متراکم در نظر گرفت. نسخه ۲.۰ از کتابخانه طیفی سنجنده ASTER، تلفیقی از بیش از ۲۴۰۰ طیف از مواد طبیعی و بشرساخت است. همانطوریکه قبلاً ذکر شد، این کتابخانه طیفی شامل داده ها از سه کتابخانه طیفی دیگر: کتابخانه طیفی دانشگاه جانز هاپکینز، کتابخانه طیفی آزمایشگاه نیروی محرکه جت و کتابخانه طیفی سازمان زمین شناسی ایالات متحده می‌باشد. کتابخانه طیفی آزمایشگاه نیروی محرکه جت و کتابخانه طیفی سازمان زمین شناسی ایالات متحده تنها شامل طیف‌های انعکاسی هستند، در حالی کتابخانه طیفی دانشگاه جانز هاپکینز هر دو طیف بازتاب انعکاسی و ضریب گسیل را برای انواع پدیده های مختلف سطح فراهم می کند. بنابراین، با توجه به نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه، چندین نوع از طیف‌های پوشش گیاهی نظیر چمن سبز^۱، مرتع^۲، علف خشک^۳، جنگل‌های برگریز^۴، سرو کوهی^۵، پهن برگ^۶، و سوزنی برگ^۷ ارائه شده توسط کتابخانه طیفی دانشگاه جانز هاپکینز برای شبیه سازی بازتاب انعکاس باندهای ۵ و ۴ لندست ۸ قبل از محاسبه شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده با استفاده از معادله (۳) مورد استفاده قرار گرفت. ضریب گسیل باندهای حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱) لندست ۸، با ترکیب طیف‌های پوشش گیاهی با توابع پاسخ طیفی آن کانال‌ها به دست آمد. در نتیجه، دو رابطه آماری با توجه به رابطه همبستگی بین باندهای حرارتی و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده بصورت معادله (۸) بدست آمد.

$$\varepsilon_{veg,i} = b_{0i} + b_{1i} NDVI, (i=10,11) \quad (8)$$

- ^۱ Green grass
- ^۲ Grassland
- ^۳ Dry grass
- ^۴ Deciduous forest
- ^۵ Juniper
- ^۶ Broadleaf
- ^۷ Conifer

در این معادله $\varepsilon_{veg,i}$ نشان دهنده ضریب گسیل باندی حرارتی برای هر پیکسلی که پوشش گیاهی متراکم می باشد، b_{0i} و b_{1i} ضرایب رگرسیون برای کانال i (۱۰ و ۱۱) و $NDVI$ شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده می باشد. جدول (۲) ضرایب رگرسیون معادله (۸) را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ضرایب رگرسیون b_0 و b_1 جهت برآورد گسیلمندی مناطق پوشش گیاهی برای باندهای حرارتی لندست ۸

باند	b_0	b_1	$Rsqr$
۱۰	0.8874	0.1169	0.9640
۱۱	0.8966	0.1074	0.9580

$Rsqr$ مربع ضریب همبستگی است

ضرایب رگرسیون در جدول (۲) نیز مشابه با روشی که برای محاسبه ضرایب معادله (۶) گفته شد، بدست می‌آید. با این تفاوت که ابتدا برای هر نمونه طیف پوشش گیاهی انتخاب شده، مقادیر انعکاس در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک از کتابخانه طیفی محاسبه و مقدار اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید. سپس مقدار گسیلمندی متناظر آن نمونه پوشش گیاهی، از ادغام مقدار گسیلمندی کتابخانه‌ای آن نمونه با تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی لندست ۸ در رنج طول موج موثر آن باند حرارتی همانند روش قبل از معادله (۵) بدست می‌آید. با توجه به متفاوت بودن تابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی، به ازای هر نمونه گسیلمندی پوشش گیاهی انتخاب شده دو مقدار مجزا گسیلمندی برای باندهای حرارتی بدست می‌آید. در نتیجه سیستم معادلات خطی همانند معادله (۷) تشکیل و ضرایب مجهول با حل کمترین مربعات بدست می‌آید.

۳-۳- تعیین گسیلمندی در مناطق با ترکیبی از پوشش گیاهی و خاک

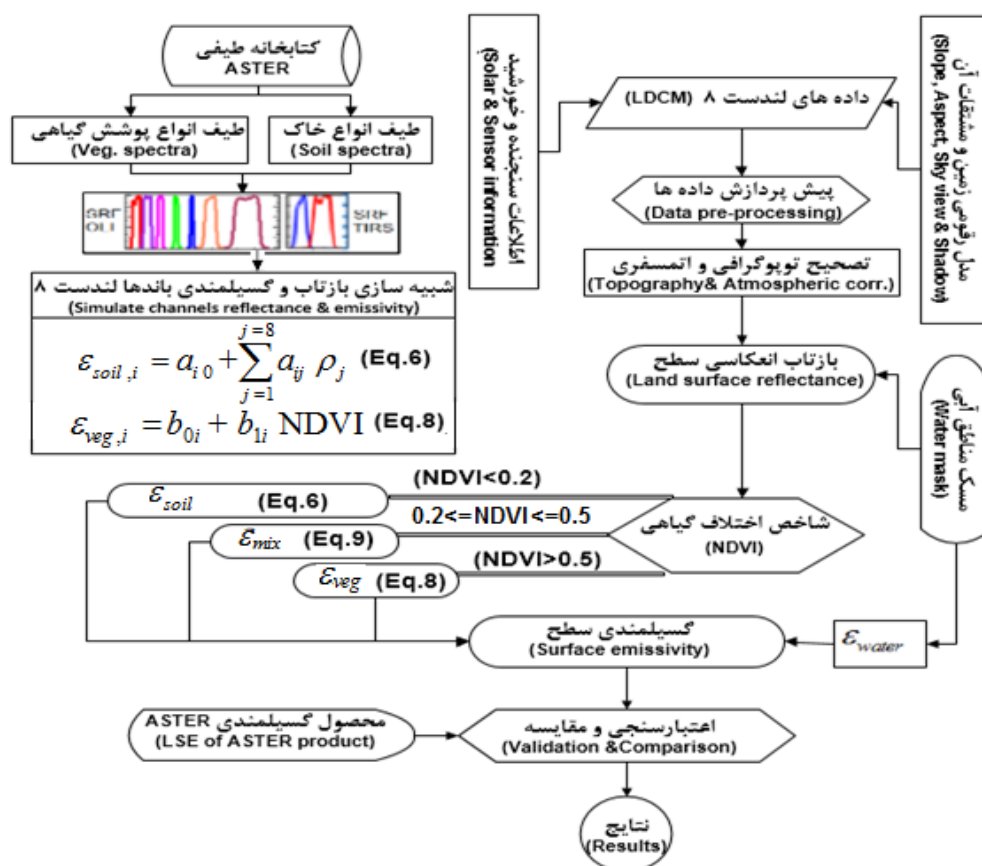
هنگامی که مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده پیکسل بین ۰.۲ و ۰.۵ قرار داشته باشد، آن پیکسل مخلوطی از خاک بایر و پوشش گیاهی است. در این مورد، گسیلمندی با توجه به نسبت سهم خاک به پوشش گیاهی از معادله (۹) محاسبه می‌گردد [۳۰].

$$\varepsilon_{mix,i} = \varepsilon_{veg,i} \cdot p_v + \varepsilon_{soil,i} (1 - p_v) + C_i; \quad (i=10,11) \quad (9)$$

گیاهی نرمال شده می‌باشد، در حالیکه در روش [۳۰] مقادیر ثابت برای آنها در نظر گرفته شده است.

$$C_i = (1 - \varepsilon_{soil,i}) \cdot \varepsilon_{veg,i} F \cdot (1 - p_v) ; \quad (i = 10, 11) \quad (10)$$

در این معادله، F یک فاکتور هندسی از شکل عوارض مختلف بوده که مقداری در محدوده ۰ تا ۱ دارد، از آنجا که ارزیابی این فاکتور از طریق اطلاعات سنجش از دور غیر ممکن است، لذا یک مقدار میانگین ۰.۵۵ به طور معمول برای آن در نظر می‌گیرند [۲۸]. شکل (۶) فلوچارت اجرایی روش پیشنهادی را در برآورد گسیلمندی سطح نشان می‌دهد.



شکل ۶- طرح کلی از روش پیشنهادی برآورد گسیلمندی سطح

سنجده ASTER، طیف‌های انواع خاک بایر و پوشش گیاهی متراکم استخراج گردید و سپس با در نظر گرفتن توابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی و انعکاسی لندست ۸، گسیلمندی کانال‌های حرارتی و بازتاب انعکاس عوارض سطح زمین شبیه‌سازی گردید. در مرحله سوم، بر اساس مقدار شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده مدلهای

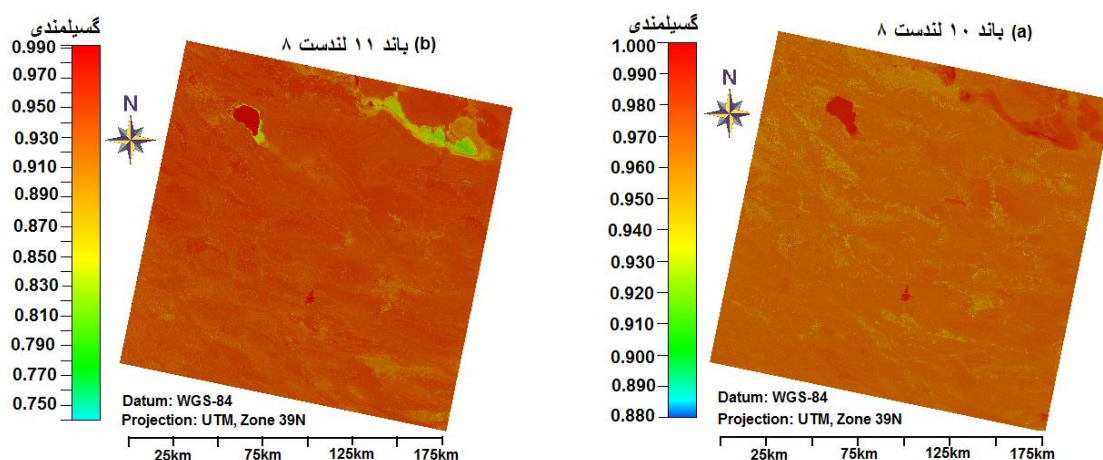
در این معادله، ε_{mix} گسیلمندی ترکیب پوشش گیاهی و خاک، ε_{veg} و ε_{soil} به ترتیب ضرایب گسیل خاک بایر و پوشش گیاهی متراکم، p_v کسری از شاخص پوشش گیاهی که از معادله (۴) محاسبه می‌شود و C_i اثر ساختار هندسی سطوح طبیعی و بازتاب‌های داخلی پوشش گیاهی^۱ که از معادله (۱۰) قابل محاسبه است. تفاوت معادله (۹) مورد استفاده در این تحقیق با روش پیشنهادی [۳۰] در این است که ضرایب گسیل خاک بایر و پوشش گیاهی متراکم در روش پیشنهادی مطالعه جاری به ترتیب از معادلات (۶) و (۸) محاسبه می‌گردد که بصورت تابعی از بازتاب باندهای انعکاسی و شاخص اختلاف پوشش

این فلوچارت اجرایی روش پیشنهادی، دارای مرحله زیر است: در مرحله اول، داده‌های تحقیق پیش پردازش شده و تصحیح توپوگرافی و اتمسفری بر روی آنها انجام گرفت. در مرحله دوم، ابتدا از نسخه ۲،۰ کتابخانه طیفی

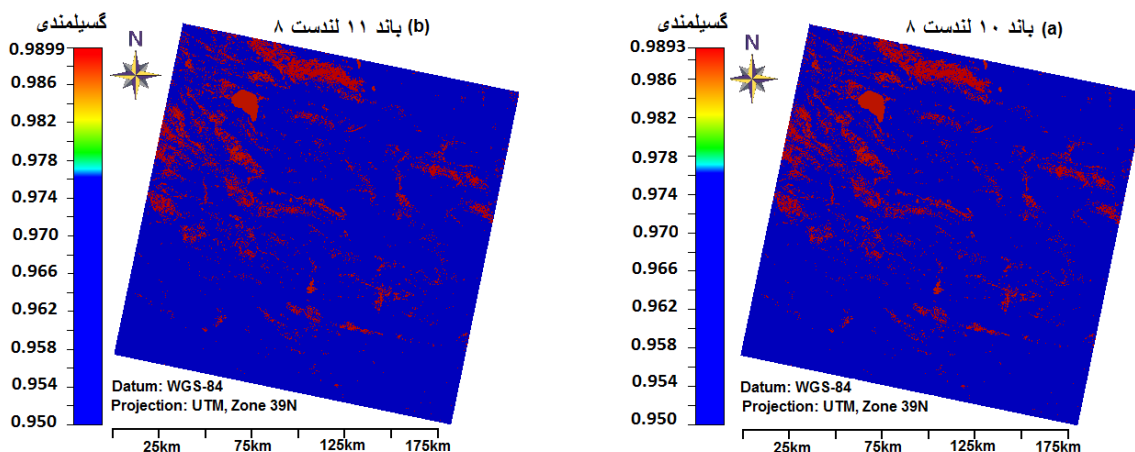
^۱ Cavity effect

پیشنهادی تعیین گردیدند. در مرحله چهارم، از روی بازتاب باندهای انعکاسی تصویر لندست ۸، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده محاسبه و مدل‌های بهبود یافته پیشنهادی بر روی آن اجرا گردید و برای مناطق آبی ماسک شده نیز با ادغام کردن^۱ ضریب گسیل سه نوع آب (آب شیرین^۲، آب دریا^۳ و آب کف دریا^۴) با تابع پاسخ طیفی باندهای ۱۰ و ۱۱ حرارتی لندست ۸، مقدار ثابت ضریب گسیل آب به ترتیب ۰.۹۹۰۹ و ۰.۹۸۶۱، برای باندهای حرارتی محاسبه و به مناطق آبی ماسک شده، اختصاص داده شد، این مقادیر ضریب گسیل با

استفاده از کتابخانه طیفی ASTER محاسبه گردید. نتیجه این مرحله نقشه گسیلمندی سطح بود که بدست می‌آید. در مرحله آخر، گسیلمندی حاصل از مدل پیشنهادی بر روی داده‌های لندست ۸، با محصول گسیلمندی ASTER مقایسه و اعتبارسنجی شد و نهایتاً نتایج آنالیز و بررسی گردیده است. نتایج روند اجرای عملی روش پیشنهادی بهبود یافته در شکل (۷) و روش قبلی [۲۸] در شکل (۸)، جهت برآورد گسیلمندی سطح از باندهای حرارتی لندست ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷- گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی بهبود یافته در باندهای حرارتی لندست ۸، (a) باند ۱۰، (b) باند ۱۱



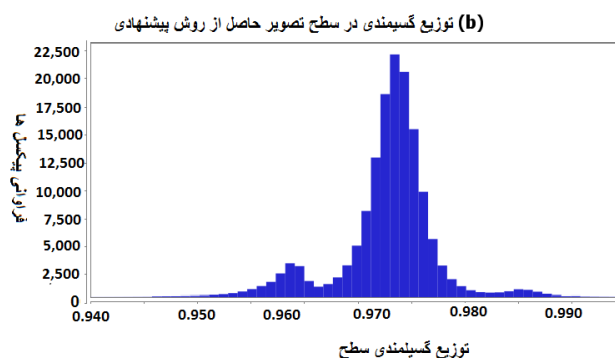
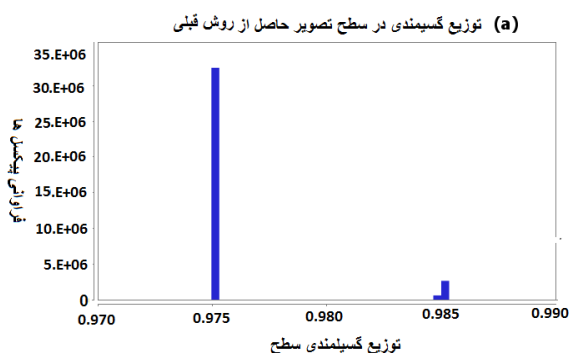
شکل ۸- گسیلمندی حاصل از روش اولیه [۲۸] در باندهای حرارتی لندست ۸، (a) باند ۱۰، (b) باند ۱۱

حرارتی است که گسیلمندی سطح وابسته به آنهاست، ثانیاً این تفاوت جزئی در برخی مناطق ممکن است دلیل عدم کالیبراسیون مطلق باند حرارتی ۱۱ سنجنده حرارتی لندست ۸ توسط سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده باشد، که پارامترهای کالیبراسیون آن بطور کامل بهبود نیافته است و بایس و خطاهای باند حرارتی ۱۱ همچنان باقی

تفاوت جزئی که در شکل (7a و b) در گسیلمندی سطح در برخی مناطق وجود دارد، اولاً ناشی از متفاوت بودن توابع پاسخ طیفی و طول موج موثر بین دو باند

- ۱ convolution
- ۲ Distilled water
- ۳ Sea water
- ۴ Sea foam water

عبارت دیگر هر پیکسیل متناسب با بازتاب انعکاسی مقدار گسیلمندی خاص خود را دارد که متفاوت از پیکسیل‌های مجاورش است در حالیکه در روش قبلی برای گروهی از پیکسلها که در یک گروه شاخص گیاهی (مناطق خاک بایر، پوشش گیاهی متراکم، و یا ترکیبی از پوشش گیاهی و خاک) طبقه بندی می شدند و مقادیر ثابتی از ضریب گسیل به آنها تعلق می گرفت. شکل 9a و b) به ترتیب نمونه ای از حالت گسسته بودن و ثابت فرض کردن گسیلمندی سطح در روش قبلی [۲۸] و حالت پیوستگی آن را در روش پیشنهادی بهبود یافته نشان می دهد.



شکل ۹- مقایسه حالت ناپیوستگی گسیلمندی سطح در باند ۱۰ حرارتی لندست ۸، (a) در روش اولیه [۲۸]، (b) در روش پیشنهادی

داده‌های ماهواره‌ای را با اندازه‌گیری‌های زمینی ضریب گسیل عوارض مختلف سطح مقایسه می‌کند. با توجه به متفاوت بودن شرایط و قدرت تفکیک مکانی بین سنجنده‌های ماهواره‌ای و زمینی، این روش را با چالشهایی مواجه ساخته است. دومین روش اعتبارسنجی، روش غیر مستقیم بوده که در این روش گسیلمندی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای یک سنجنده را با محصولات گسیلمندی سایر سنجنده‌های متناظر (از نظر قدرت تفکیک طیفی و مکانی) و یا مدل‌های شبیه سازی، مقایسه و ارزیابی می‌کنند. در این تحقیق، برای اعتبارسنجی گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی، از روش دوم اعتبارسنجی استفاده شده است. در مطالعاتی [۱۰] نشان داد که محصول گسیلمندی سنجنده ASTER که حاصل الگوریتم جداسازی دما/گسیلمندی است، در توافق کیفی با اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی است. لذا برای ارزیابی و صحت‌سنجی گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی دو فریم از محصول گسیلمندی ASTER به تاریخ ۱۹ آوریل ۲۰۱۳ از منطقه مورد مطالعه خریداری و

است. جهت مقایسه، گسیلمندی سطح با روش قبلی، معادله (۲) نیز محاسبه گردید که نتایج حاصل از این روش در شکل‌های (8a و b) نشان داده شده است. با مقایسه شکل‌های (7a و b) و شکل‌های (8a و b) که به ترتیب گسیلمندی سطح را در روش پیشنهادی بهبود یافته و روش قبلی، نشان می‌دهد می‌توان دید که در روش قبلی، گسیلمندی سطح بصورت مقدار ثابت و گسسته در هر منطقه‌ای از تصویر است که غالب آن برای مناطق ترکیب پوشش گیاهی و خاک است، در حالیکه در روش پیشنهادی برای این مناطق بصورت تابعی از بازتاب باندهای انعکاسی تصحیح اتمسفری شده می‌باشد. به

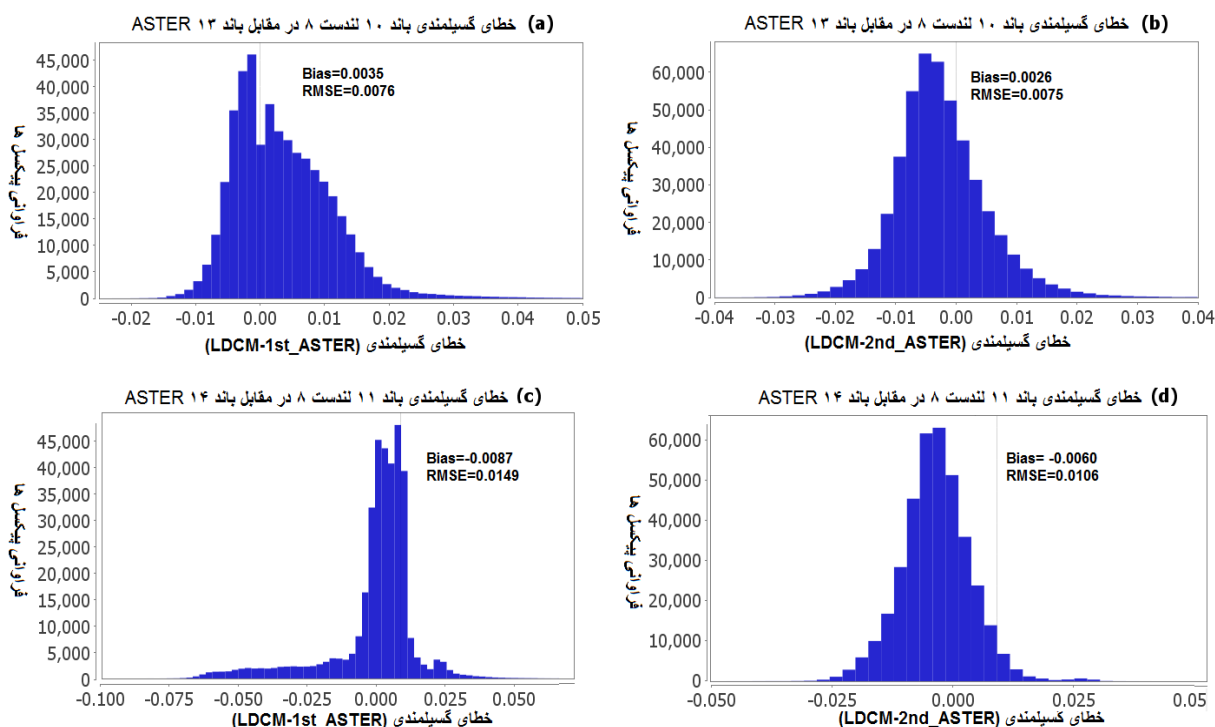
همانطوری که در شکل (8a) نشان داده شده است در روش قبلی بخاطر اینکه مقادیر ثابت برای مناطق سه گانه پوشش گیاهی (خاک بایر، مناطق حاوی پوشش گیاهی و مناطق حاصل از ترکیب خاک و پوشش گیاهی) اختصاص می‌یابد لذا توزیع گسیلمندی در سطح تصویر دارای مقادیر ثابت و حالت گسستگی وجود دارد. در مقابل، در روش پیشنهادی چون گسیلمندی بصورت تابعی از انعکاس سطح تعریف می گردد، لذا برای هر پیکسل متناسب با رادیناس انعکاسی باندهای انعکاسی محاسبه می گردد که متفاوت از پیکسلهای مجاور است، در نتیجه توزیع گسیلمندی در سطح تصویر حالت پیوستگی دارد.

۴- اعتبارسنجی گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی

بطور کلی، دو روش مختلف برای اعتبار سنجی گسیلمندی سطح بازیابی شده از داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد [۱۹، ۳۴]. اولین روش مشهور به روش مستقیم بوده که در این روش به طور مستقیم گسیلمندی حاصل از

استفاده گردید. محصول گسیلمندی ASTER در قدرت تفکیک مکانی ۹۰ متر بوده و از روی داده‌های زمینی گسیلمندی تصحیح شده، بدست آمده است. در این تحقیق، گسیلمندی حاصل از باندهای ۱۰ و ۱۱ حرارتی سنجنده لندست ۸ با باندهای حرارتی متناظر یعنی

باندهای ۱۳ و ۱۴ ASTER مقایسه گردید. شکل (a, b, c و d) مقایسه و اعتبارسنجی گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی در باندهای حرارتی لندست ۸ (باند ۱۰ و ۱۱) را با دو محصول گسیلمندی متناظر ASTER (باند ۱۳ و ۱۴) نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- مقایسه و اعتبارسنجی گسیلمندی حاصل از روش پیشنهادی در باندهای حرارتی لندست ۸ با دو محصول گسیلمندی متناظر ASTER، (a) و (b) به ترتیب خطای گسیلمندی سطح در باند حرارتی ۱۰ لندست ۸ در مقابل باند ۱۳ تصویر بررسی اول و دوم ASTER، (c) و (d) به ترتیب خطای گسیلمندی سطح در باند حرارتی ۱۱ لندست ۸ در مقابل باند ۱۴ تصویر بررسی اول و دوم ASTER،

در باند ۱۱ لندست ۸ در اثر عدم کالیبراسیون مطلق آن توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده که استفاده از این باند را در محاسبه دما نیز منع کرده است [۳].

۵- نتایج و پیشنهادها

در این تحقیق، یک رویکرد جدید برآورد گسیلمندی سطح بر اساس روش مبتنی بر شاخص گیاهی جهت باندهای حرارتی لندست ۸ پیشنهاد گردیده است. جهت تخمین دقیق‌تر گسیلمندی برای مناطق خاک بایر، گسیلمندی سطح بصورت تابعی از بازتاب باندهای انعکاسی در محدوده طیفی ۰٫۴ تا ۲٫۲۹ میکرومتر محاسبه شده است. کارایی و اثربخشی روش پیشنهادی، بصورت عملی بر روی داده های لندست ۸ اجرا گردید و گسیلمندی حاصل با دو محصول گسیلمندی ASTER

این نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی قادر است با دقت کمتر از ۰٫۸ درصد (۰٫۰۰۸) در هر دو تصویر بررسی شده با در نظر گرفتن پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا، گسیلمندی سطح را در باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ برآورد نماید. این مقدار خطا در باند حرارتی ۱۱ لندست ۸ کمی بیشتر از ۱ درصد که به ترتیب ۱٫۴۹ و ۱٫۰۶ درصد در تصویر بررسی اول و دوم محاسبه گردید که بیشتر از باند ۱۰ می باشد. خطای بیشتر در باند حرارتی ۱۱ می تواند در اثر دو عامل باشد: اولی مربوط به اختلاف نسبتاً زیاد در تابع پاسخ طیفی و رنج طیفی و طول موج موثر بین باند ۱۱ (۱۱٫۵ تا ۱۲٫۵ میکرومتر) لندست ۸ و باند ۱۴ (۱۰٫۹۵ تا ۱۱٫۶۵ میکرومتر) ASTER باشد، و دومین عامل وجود بایاس و خطای زیاد^۱

^۱ Larger bias and scatter

ضریب گسیل برای چنین مناطقی اختصاص می‌دادند که دقت کمتری داشت و با عدم قطعیت زیادی همراه بود، زیرا گسیلمندی خاک با بافت، رنگ، رطوبت و سائز اجزاء فیزیکی و شیمیایی آن تغییر می‌کند. در مقابل، در روش پیشنهادی که از بازتاب باندهای انعکاسی استفاده می‌کند، اغلب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در آن منعکس می‌شود و در محاسبه گسیلمندی سطح دخالت داده می‌شود. بنابراین، برخلاف روشهای قبلی، روش پیشنهادی نه تنها با دقت بهتری گسیلمندی سطح را بصورت تابعی از بازتاب انعکاسی عوارض مختلف سطح تخمین می‌زند، بلکه توابع پاسخ طیفی باندهای حرارتی و انعکاسی را در برآورد گسیلمندی سطح مد نظر قرار می‌دهد. همچنین، روش پیشنهادی رابطه ضعیف بین گسیلمندی و بازتاب فقط باند قرمز در روشهای قبلی را بدلیل استفاده از بازتاب همه باندهای انعکاسی تقویت می‌نماید و بر روی اغلب سنجنده‌ها قابل اجراست. لذا بر این اساس روش پیشنهادی تخمین دقیقتری از گسیلمندی سطح را برآورد می‌نماید، با این حال، شایسته است که روش پیشنهادی بر روی داده‌های سنجنده‌های مختلف و مناطق مختلف تست و بررسی گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان، از تمامی نهادها و سازمانهایی که داده‌های تحقیق حاضر را در اختیار ما قرار دادند قدردانی می‌نماید، از جمله جهاد کشاورزی استان فارس، سازمان زمین شناسی ایالات متحده و مرکز مشاهدات منابع زمین بخاطر اخذ تصاویر لندست ۸ و پردازش مجدد آنها در اثر تغییر پارامترهای کالیبراسیون، دانشگاه جانز هاپکینز بدلیل عرضه نسخه ۲ کتابخانه طیفی ASTER، قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایند.

مقایسه و صحت‌سنجی شد. نتایج شکل‌های (7a و b) و شکل‌های (8a و b) که به ترتیب بیانگر گسیلمندی سطح در روش پیشنهادی و روش قبلی است، نشان داد که گسیلمندی سطح در هر پیکسیل متناسب با بازتاب انعکاسی مقدار گسیلمندی خاص خود را دارد که متفاوت از پیکسیل‌های مجاورش است در حالیکه در روش قبلی برای گروهی از پیکسلها که در یک گروه شاخص گیاهی (مناطق خاک بایر، پوشش گیاهی متراکم، و یا ترکیبی از پوشش گیاهی و خاک) طبقه بندی می‌شدند، مقادیر ثابتی از ضریب گسیل به آنها تعلق می‌گرفت و گسیلمندی سطح بصورت مقدار ثابت و گسسته در هر منطقه‌ای از تصویر محاسبه می‌گردید. همچنین، ارزیابی میزان خطاهای نتایج روش پیشنهادی با دو تصویر از محصول گسیلمندی سنجنده ASTER انجام گرفت و همانطوری که در شکل (10a,b,c,d) نشان داده شده است، خطای گسیلمندی حاصل از روش بهبود یافته پیشنهادی در باند ۱۰ حرارتی لندست ۸ در مقایسه با محصول گسیلمندی متناظر تصویر بررسی اول و دوم ASTER به ترتیب دارای خطای ۰,۷۶٪ و ۰,۷۵٪ با در نظر گرفتن پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشد، همچنین این خطا در باند ۱۱ حرارتی به ترتیب دارای مقدار ۱,۴۹٪ و ۱,۰۶٪ محاسبه گردید. خطای بیشتر در باند حرارتی ۱۱ می‌تواند در اثر دو عامل باشد: اولی مربوط به اختلاف نسبتاً زیاد در تابع پاسخ طیفی و رنج طیفی و طول موج موثر بین باند ۱۱ (۱۱,۵ تا ۱۲,۵ میکرومتر) لندست ۸ و باند ۱۴ (۱۰,۹۵ تا ۱۱,۶۵ میکرومتر) ASTER باشد و دومین عامل وجود بایاس و خطای زیاد در باند ۱۱ لندست ۸ در اثر عدم کالیبراسیون مطلق آن توسط سازمان زمین شناسی ایالات متحده است. علیرغم اینکه در مناطق خاک بایر تغییرات گسیلمندی زیاد بوده و در روش‌های قبلی مقدار ثابت

مراجع

- [1] Baldridge, A., Hook, S., Grove, C. and Rivera, G., (2009). "The ASTER spectral library version 2.0." Remote Sensing of Environment, 113(4): 711-715.
- [2] Barducci, A. and Pippi, I., (1996). "Temperature and emissivity retrieval from remotely sensed images using the "grey body emissivity" method." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 34(3): 681-695.
- [3] Barsi, J.A., Schott, J.R., Hook, S.J., Raqueno, N.G., Markham, B.L. and Radocinski, R.G., (2014). "Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) (Vicarious Radiometric Calibration)." Remote Sensing, 6(11): 11607-11626.

- [4] Becker, F. and Li, Z.-L., (1990). "Towards a local split window method over land surfaces." *Remote Sensing*, 11(3): 369-393.
- [5] Boonmee, M., (2007). "Land Surface Temperature and Emissivity Retrieval from Thermal Infrared Hyperspectral Imagery, Rochester Institute of Technology, PHD Thesis.
- [6] Coll, C., Valor, E., Caselles, V. and Nicolòs, R., (2003). "Adjusted Normalized Emissivity Method for surface temperature and emissivity retrieval from optical and thermal infrared remote sensing data." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 108(D23).
- [7] Gillespie, A.R., Rokugawa, S., Hook, S.J., Matsunaga, T. and Kahle, A.B., (1999). "Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4." ATBD contract NAS5-31372, NASA.
- [8] Huang, C., Townshend, J.R., Liang, S., Kalluri, S.N. and DeFries, R.S., (2002). "Impact of sensor's point spread function on land cover characterization: assessment and deconvolution." *Remote Sensing of Environment*, 80(2): 203-212.
- [9] Hulley, G., Hook S., E. Abbott, N. Malakar, T. Islam, M. Abrams, , (2015). "The ASTER Global Emissivity Database (ASTER GED): Mapping Earth's emissivity at 100 meter spatial resolution .", In :G.R. Letters.
- [10] Hulley, G.C., Hook, S.J. and Baldrige, A.M., (2009). "Validation of the North American ASTER Land Surface Emissivity Database (NAALSED) version 2.0 using pseudo-invariant sand dune sites." *Remote Sensing of Environment*, 113(10) 2224-2233.
- [11] Jiang, J.-x., Liu, Q.-h. and Li, H., (2012). "A modified NDVI threshold method for estimating LSE from FY3A/VIRR data, 2nd International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE). IEEE, Nanjing, Jiangsu, China, 01-03 Jun, pp. 1-4, doi:10.1109/RSETE.2012.6260355.
- [12] Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A., Gillespie, A., Sabol, D. and Gustafson, W.T., (2006). "Improved land surface emissivities over agricultural areas using ASTER NDVI." *Remote Sensing of Environment*, 103(4): 474-487.
- [13] Kahle, A.B., Madura, D.P. and Soha, J.M., (1980). "Middle infrared multispectral aircraft scanner data: Analysis for geological applications." *Applied Optics*, 19(14): 2279-2290.
- [14] Kaiser, G. and Schneider, W., (2008) "(Estimation of sensor point spread function by spatial subpixel analysis." *International Journal of Remote Sensing*, 29(7): 2137-2155.
- [15] Knight, E.J. and Kvaran, G., (2014). "Landsat-8 operational land imager design, characterization and performance." *Remote Sensing*, 6(11): 10286-10305.
- [16] Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F. and Sobrino, J.A., (2013). "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives." *Remote Sensing of Environment*, 131: 14-37.
- [17] Li, Z.-L., Wu, H., Wang, N., Qiu, S., Sobrino, J.A., Wan, Z., Tang, B.-H. and Yan, G., (2013). "Land surface emissivity retrieval from satellite data." *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10): 3084-3127.
- [18] Ma, X.L., Wan, Z., Moeller, C.C., Menzel, W.P. and Gumley, L.E., (2002). "Simultaneous retrieval of atmospheric profiles, land-surface temperature, and surface emissivity from Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer thermal infrared data: Extension of a two-step physical algorithm." *Applied optics*, 41(5): 909-924.
- [19] Momeni, M. and Saradjian, M., (2007). "Evaluating NDVI-based emissivities of MODIS bands 31 and 32 using emissivities derived by Day/Night LST algorithm." *Remote Sensing of Environment*, 106(2): 190-198.
- [20] Oltra-Carrió, R., Sobrino, J., Franch, B. and Nerry, F., (2012). "Land surface emissivity retrieval from airborne sensor over urban areas." *Remote Sensing of Environment*, 123: 298-305.
- [21] Quan, W., Chen, H., Han, X., Liu, Y. and Ye, C., (2012). "A modified Becker's split-window approach for retrieving land surface temperature from AVHRR and VIRR." *Acta Meteorologica Sinica*, 26: 229-240.
- [22] Realmuto, V., (1990). "Separating the effects of temperature and emissivity: Emissivity spectrum normalization, Proc. 2nd TIMS Workshop, pp. 90-55.
- [23] Richter, R. and Schlöpfer, D., (2014). "Atmospheric/topographic correction for satellite imagery, Technical report, DLR-German Aerospace Center, Germany.
- [24] Rubio, E., Caselles, V. and Badenas, C., (1997). "Emissivity measurements of several soils and vegetation types in the 8–14, μm Wave band: Analysis of two field methods." *Remote Sensing of Environment*, 59(3): 490-521.
- [25] Rubio, E., Caselles, V., Coll, C., Valour, E. and Sospedra, F., (2003). "Thermal–infrared emissivities of natural surfaces: improvements on the experimental set-up and new measurements." *International Journal of Remote Sensing*, 24(24): 5379-5390.

- [26] Schowengerdt, R.A., (2006). "Remote sensing: models and methods for image processing. Academic press.
- [27] Seemann, S.W., Borbas, E.E., Knuteson, R.O., Stephenson, G.R. and Huang, H.-L., (2008). "Development of a global infrared land surface emissivity database for application to clear sky sounding retrievals from multispectral satellite radiance measurements ".*Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(1): 108-123.
- [28] Sobrino, J., Jiménez-Muñoz, J., Sòria, G., Gómez, M., Ortiz, A.B., Romaguera, M., Zaragoza, M., Julien, Y., Cuenca, J. and Atitar, M., (2008). "Thermal remote sensing in the framework of the SEN2FLEX project: field measurements, airborne data and applications." *International Journal of Remote Sensing*, 29(17-18): 4961-4991.
- [29] Sobrino, J. and Raissouni, N., (2000). "Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco." *International Journal of Remote Sensing*, 21(2): 353-366.
- [30] Sobrino, J., Raissouni, N. and Li, Z.-L., (2001). "A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data." *Remote Sensing of Environment*, 75(2): 256-266.
- [31] Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C. and Paolini, L., (2004). "Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5." *Remote Sensing of environment*, 90(4): 434-440.
- [32] Sobrino, J.A., Jiménez-Muñoz, J.C., Sòria, G., Romaguera, M., Guanter, L., Moreno, J., Plaza, A. and Martínez, P., (2008). "Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(2): 316-327.
- [33] Tang, B.-H., Shao, K., Li, Z.-L., Wu, H. and Tang, R., (2015). "An improved NDVI-based threshold method for estimating land surface emissivity using MODIS satellite data." *International Journal of Remote Sensing*(ahead-of-print): 1-15.
- [34] Tang, H. and Li, Z.-L., (2014). "Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications. Springer Science & Business Media. Springer, pp. 257-279.
- [35] Valor, E. and Caselles, V., (1996). "Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas." *Remote sensing of Environment*, 57(3): 167-184.
- [36] Valor, E., Coll, C., Caselles, V. and Niclos, R., (2003). "The Adjusted Normalized Emissivity Method (ANEM) for land surface temperature and emissivity recovery, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE, pp. 3088-3090.
- [37] Van de Griend, A. and Owe, M., (1993). "On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces." *International Journal of remote sensing*, 14(6): 1119-1131.
- [38] Walawender, J.P., Hajto, M.J. and Iwaniuk, P., (2012). "A new ArcGIS toolset for automated mapping of land surface temperature with the use of LANDSAT satellite data, IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Munich, Germany, July 22-27, pp .4371-4374 , doi:10.1109/IGARSS.2012.6350405.
- [39] Wan, Z. and Li, Z.-L., (1997). "A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 35(4): 980-996.
- [40] Wang, H. and Ellis, E.C., (2005). "Image misregistration error in change measurements." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(9): 1037-1044.
- [41] Wang, K., Wan, Z., Wang, P., Sparrow, M., Liu, J., Zhou, X. and Haginoya, S., (2005). "Estimation of surface long wave radiation and broadband emissivity using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) land surface temperature/emissivity products." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984-2012), 110(D11).
- [42] Wang, N., Li, Z.-L., Tang, B.-H., Zeng, F. and Li, C., (2013). "Retrieval of atmospheric and land surface parameters from satellite-based thermal infrared hyperspectral data using a neural network technique." *International Journal of Remote Sensing*, 34(9-10): 3485-3502.