

کالیبراسیون رادیومتری نسبی سنجنده‌های LISSIII و ASTER با استفاده از نمک‌زارهای مناطق خشک

یاسر واعظی^{۱*}، مهدی محمد پور^۲

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران سنجش از دور - GIS دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران سنجش از دور - GIS دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

y.b2011@yahoo.com

چکیده

یکی از موضوعات اساسی در تحلیل و پردازش‌های کمی داده‌های رقومی ماهواره‌ای، اطمینان از پایداری حساسیت رادیومتری سنجنده پس از پرتاب به فضاست، دستیابی به چنین هدفی نیازمند کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره می‌باشد. کالیبراسیون رادیومتری فرایندی است که ولتاژ یا درجه روشنایی ثبت شده توسط سنجنده را به مقیاس مطلق تابش تبدیل نموده و رابطه بین درجه روشنایی و مقدار واقعی انرژی دریافتی را نشان می‌دهد. روش‌های مختلفی برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده‌ها پیشنهاد شده که مهم‌ترین آنها کالیبراسیون جایگزین می‌باشد. در روش کالیبراسیون جایگزین از پدیده‌های مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده پس از پرتاب ماهواره استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق، استفاده از نمک‌زارهای مناطق خشک به عنوان پدیده مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری نسبی باندهای انعکاسی سنجنده‌های LISSIII و ASTER به روش کالیبراسیون جایگزین می‌باشد. بدین منظور از نمک‌زارهای مناطق خشک دامغان، کاشان و مهارلو برای کالیبراسیون رادیومتری نسبی باندهای انعکاسی سنجنده‌های مذکور استفاده شد. ابتدا ویژگی‌های نمک‌زارهای مورد مطالعه بر اساس تحقیقات قبلی، مطالعات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای موجود ارزیابی گردید، سپس برای کالیبراسیون رادیومتری نسبی هر یک از باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک سنجنده‌های مذکور انتخاب شدند. با استفاده از روابط کالیبراسیون، اطلاعات موجود در فایل‌های راهنما و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مورد استفاده، بازتاب طیفی نمک‌زارها در باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک محاسبه شده و همبستگی بین درجه روشنایی و بازتاب طیفی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک سنجنده ماهواره می‌توانند با استفاده از نمک‌زارهای مناطق خشک کالیبره شوند.

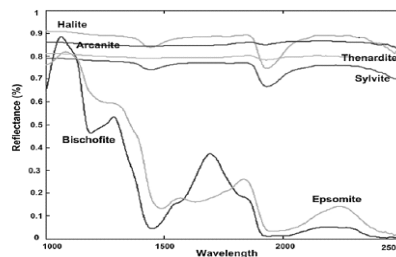
کلمات کلیدی: کالیبراسیون رادیومتری نسبی، داده‌های ماهواره‌ای، مناطق خشک، نمک‌زار.

۱ - مقدمه

کاربرانی که از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعات خود بهره می‌گیرند، معمولاً از تصاویر کالیبره شده استفاده می‌کنند. کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره یکی از موضوعات اساسی در سنجش از دور می‌باشد که نه تنها به شناخت میزان عملکرد آن کمک می‌کند، بلکه این امکان را به کاربر می‌دهد که مجموعه کامل داده‌های رقومی ماهواره‌ای در تحلیل‌های کمی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، پایش مخاطرات طبیعی و ... به کار گرفته شوند. ارزیابی دقیق متغیرهای بیوفیزیکی سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور به کیفیت داده‌ها و به ویژه صحت کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره بستگی دارد (Xiao, 2001). روش‌های مختلفی برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره پیشنهاد شده که مهم‌ترین آنها کالیبراسیون جایگزین می‌باشد. در روش کالیبراسیون جایگزین از پدیده‌های مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره پس از پرتاب استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق، استفاده از نمک‌زارهای مناطق خشک به عنوان پدیده‌های مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری نسبی باندهای انعکاسی سنجنده‌های LISSIII و ASTER به روش کالیبراسیون جایگزین می‌باشد.

۱ - معرفی رفتار طیفی نمک زارها

در شرایط رطوبتی پایین، نمک‌ها مقدار بازتاب بیشتری را در محدوده طیف مرئی (۵۵۰ تا ۷۷۰ نانومتر) مخصوصاً آبی نشان می‌دهند. بازتاب پایین در شرایط حضور آب هیگروسکوپیک در نمک‌های معدنی یا رطوبت زیاد در نمک‌های تازه در باندهای مادون قرمز میانی (۱۹۴۰ تا ۲۱۵۰، ۲۱۵۰ تا ۲۳۰۰، ۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰ نانومتر) اتفاق می‌افتد. نوع و آرایش کریستال‌های نمک و ساختمان آن نیز در میزان بازتاب مؤثر است (Farifteh, 2006). شکل (۱) منحنی رفتار طیفی انواع نمک‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منحنی بازتاب طیفی انواع نمک‌ها در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی

۲ - توجیه کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره

کالیبراسیون رادیومتری رابطه بین درجه روشنایی و مقدار واقعی انرژی دریافتی سنجنده ماهواره را توجیه می‌کند (Thome, 1997). گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی ماهواره‌های نظاره‌گر زمینی، کالیبراسیون را فرایند ارزیابی کمی حساسیت رادیومتری سنجنده به سیگنال‌های ورودی شناخته شده تعریف می‌کنند (Scott, 1996). این فرایند می‌تواند به دو روش کالیبراسیون مطلق و کالیبراسیون نسبی انجام گیرد. در روش کالیبراسیون مطلق معمولاً از مدل‌های انتقال تابش استفاده می‌شود و پروفیل طیفی بسیاری از ذرات تشکیل‌دهنده اتمسفر به عنوان خروجی به دست می‌آید. استفاده از این روش‌ها، مستلزم داشتن اطلاعات کامل و دقیق از شرایط اتمسفری منطقه تصویربرداری شده است که معمولاً در دسترس کاربران نمی‌باشد. اما در روش کالیبراسیون رادیومتری نسبی اطلاعات لازم از خود تصویر ماهواره ای اخذ می‌شوند. در این روش مقادیر مؤلفه‌های اتمسفر که در تابش ثبت شده توسط سنجنده تأثیرگذار بوده‌اند، محاسبه نمی‌شوند و فرض بر این است که در یک تصویر ماهواره‌ای بین درجه روشنایی و تابش در بالای اتمسفر رابطه خطی وجود دارد که این رابطه خطی تقریبی از واقعیت می‌باشد. این روش زمانی مفید است که اطلاعات کافی از شرایط اتمسفری منطقه تصویربرداری شده در دسترس نباشد (Thome, 2001).

۱-۲- کالیبراسیون پیش از پرتاب

سازندگان ابزارهای سنجنش از دور در مرحله پیش از پرتاب سنجنده ماهواره به فضا، معیارهایی از خصوصیات رادیومتری را در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌کنند که این مرحله کالیبراسیون پیش از پرتاب نامیده می‌شود (شکل ۴). کالیبراسیون پیش از پرتاب ممکن است به دلیل واکنش به شرایط محیطی در فضا تغییر کند. فرسودگی تدریجی سیستم الکترونیکی و تغییر حساسیت رادیومتری سنجنده ماهواره مثال‌هایی از تغییر کالیبراسیون سنجنده ماهواره در فضا می‌باشند. به منظور شناخت کامل خصوصیات رادیومتری سنجنده ماهواره در مرحله پیش از پرتاب به فضا، معمولاً ضرایب کالیبراسیون رادیومتری مطلق اندازه‌گیری می‌شوند.

۲-۲- کالیبراسیون همراه

کالیبراسیون همراه برای پایش حساسیت رادیومتری سنجنده ماهواره پس از پرتاب با استفاده از منابع مصنوعی (عموماً لامپ‌ها برای باندهای انعکاسی و اجسام سیاه برای باندهای حرارتی) انجام می‌شود. مزیت اصلی کالیبره‌کننده‌های همراه این است که کالیبراسیون را در تناوب زمانی در هر خط اسکن انجام می‌دهند، اما به دلیل محدودیت‌هایی در توان، وزن و فضا اکثر سنجنده‌های ماهواره قابلیت کالیبراسیون همراه ندارند. همچنین، برخی ماهواره‌های چرخشی سیستم‌های کالیبراسیون همراه ساده دارند، اما در طول زمان حساسیت‌شان تغییر می‌کند و فرسودگی سیستم‌های سنجنده، انجام عملیات کالیبراسیون توسط کالیبره‌کننده همراه را دچار خطا می‌سازد. به این دلیل روش کالیبراسیون جایگزین که مستقل از سیستم‌های کالیبره‌کننده همراه و کالیبراسیون آزمایشگاهی می‌باشند، پیشنهاد شده است (Thome, 1997).

۲-۳- کالیبراسیون جایگزین

کالیبراسیون جایگزین به روش‌هایی اشاره می‌کند که از پدیده‌های مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره پس از پرتاب استفاده می‌شود. فرسودگی سنجنده ماهواره به عنوان فاکتور مهم و مؤثر در پایداری کیفیت داده‌ها شناخته شده است. هر چند برخی سنجنده‌ها قبل از پرتاب به فضا کالیبره شده‌اند، اما قابلیت مناسب کالیبراسیون همراه برای ارزیابی فرسودگی سنجنده ماهواره پس از پرتاب را ندارند و به همین دلیل کالیبراسیون جایگزین فرایند مهمی در پایش عملکرد سنجنده ماهواره می‌باشد. کالیبراسیون جایگزین به محاسبه مستقل تابش دریافتی سنجنده ماهواره نیاز دارد. تابشی که به سنجنده ماهواره می‌رسد، به عنوان تابش مؤثر نامیده می‌شود و همان مقادیری می‌باشند که به درجه روشنایی تبدیل می‌شوند. روش کالیبراسیون جایگزین با استفاده از پدیده‌های مرجع شامل اقیانوس، بیابان، ابر، برف، دریاچه خشک و ... انجام می‌شود که مناطق بیابانی به دلایلی برای کالیبراسیون رادیومتری برخی سنجنده‌ها در سطح وسیعی استفاده شده‌اند. این مناطق بازتاب‌های سطحی بالایی را نشان می‌دهند که منجر به کاهش خطاهای کالیبراسیون می‌شود. احتمال پوشش ابر در این مناطق ضعیف است و شانس تصویربرداری را در زمان گذر ماهواره افزایش می‌دهد. علاوه بر این، بار ذرات معلق نسبتاً پایین در این مناطق، خطاهای ناشی از اثرات اتمسفر را کاهش می‌دهد. بیابان‌های لیبی برای کالیبراسیون سنجنده AVHRR، بیابان‌های شمال آفریقا برای کالیبراسیون سنجنده SPOT و بیابان‌های مصر برای کالیبراسیون سنجنده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده شده‌اند (Henry, 1993).

۲-۴- خصوصیات پدیده‌های زمینی مرجع

پدیده‌های زمینی مرجع که برای کالیبراسیون رادیومتری باندهای انعکاسی سنجنده ماهواره بر اساس تحلیل بازتاب‌های طیفی سطح پدیده انتخاب می‌شوند، بایستی معیارهای زیر را داشته باشند (Thome, 1996):

۱. به منظور کاهش خطاهای ناشی از پراکنش اتمسفری در محاسبه تابندگی طیفی مطلق، بازتاب‌های طیفی بالا باشد.
۲. به منظور کاهش میزان ذرات معلق در اتمسفر و خطاهای ناشی از ارزیابی غلظت‌ها و خصوصیات اتمسفر، ارتفاع تقریبی پدیده از سطح دریا حداقل ۱۰۰۰ متر باشد.
۳. یکنواختی طیفی در سرتاسر منطقه وسیع به منظور کاهش اثرات درجه‌بندی بازتاب طیفی داده‌ها در مقایسه با اندازه کامل منطقه.

۴. تغییرات فصلی باید حداقل باشد. این مورد به منطقه‌ای عاری از پوشش گیاهی اشاره می‌کند. نواحی خشک از لحاظ پایداری حالتی موقتی دارند اما در اغلب اوقات تعداد روزهای عاری از ابر زیاد است.
۵. دسترسی به منطقه آسان بوده و امکان شناخت کافی از منطقه میسر باشد.
۶. دور از مناطق زهکشی بوده و دارای وسعت کافی باشد.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه (دامغان ، کاشان ، مهارلو)

حوزه آبخیز دامغان در جنوب شرقی شهرستان دامغان و شرق استان سمنان در ۳۵ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع پلایای دامغان از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می‌باشد. منطقه کاشان بین ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. محدوده مورد بررسی شامل دریاچه نمک می‌باشد. منطقه مهارلو در حدود ۱۸ کیلومتری جنوب شیراز بین ۱۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۲۵ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع آن ۱۴۶۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

۳-۲- تصاویر ماهواره‌ای

برای انجام این تحقیق از تصاویر سنجنده LISSIII در منطقه دامغان مربوط به سوم نوامبر ۲۰۰۷، در منطقه کاشان پانزدهم جولای ۲۰۰۷، در منطقه مهارلو هفدهم جولای ۲۰۰۶ و از تصاویر ASTER_LIB در منطقه دامغان پنجم سپتامبر ۲۰۰۲، در منطقه کاشان بیستم ژوئیه ۲۰۰۰ و در منطقه مهارلو نهم جولای ۲۰۰۲ استفاده شد که دارای تصحیحات رادیومتری و هندسی برای همه باندها می‌باشند.

۳-۳- سخت‌افزارها و نرم‌افزارها

سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد استفاده شامل یک دستگاه کامپیوتر پنتیوم IV، ۳ GHZ، نرم‌افزارهای Word، Excel، ILWIS 3.3، ENVI 4.3 می‌باشند.

۳-۴- روش تحقیق

۳-۴-۱- پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای

به منظور کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده، داده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. پس از نمایش باندها به صورت تک‌باندی و ترکیبات رنگی مختلف با استفاده از نرم‌افزارهایی که قابلیت نمایش بالایی دارند، تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتری نظیر راه‌راه‌شدگی، خطای زیرمهم‌قرارگرفتن خطوط‌اسکن، پیکسل‌های دوبله و همچنین اثرات اتمسفری نظیر ابر مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای تصحیحات استاندارد بودند.

۳-۴-۲- کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره

به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات کافی از شرایط اتمسفر مناطق مورد مطالعه نظیر پروفیل‌های ارتفاعی دما، فشار، بخار آب و سایر هواویزها امکان کالیبراسیون رادیومتری مطلق در این تحقیق وجود نداشته و بنابراین از کالیبراسیون رادیومتری نسبی به روش جایگزین استفاده شد.

۱-۲-۴-۳- کالیبراسیون جایگزین

برای انجام این مرحله از تحقیق، ابتدا خصوصیات نمک‌زارها ارزیابی شد و سپس از فرمول‌نویسی نرم‌افزار ILWIS، اطلاعات موجود در فایل‌های راهنما و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER بهره گرفته شد و در نهایت درجه روشنایی طبق روابط کالیبراسیون که در ادامه به شرح آنها پرداخته می‌شود، به تابش طیفی در سنجنده ماهواره کالیبره شده و بازتاب طیفی محاسبه شد. سپس همبستگی بین درجه روشنایی و بازتاب طیفی در باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER ارزیابی شد.

۲-۲-۴-۳- ارزیابی خصوصیات نمک‌زارها

خصوصیات نمک‌زارهای مناطق مورد مطالعه بر اساس تحقیقات قبلی، مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای موجود ارزیابی شد و برای کالیبراسیون رادیومتری نسبی هر یک از باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER به روش جایگزین انتخاب شدند. در اینجا برخی از خصوصیات نمک‌زارهای مناطق مورد مطالعه ذکر می‌شود:

۱. سطح نمک‌زارها نسبتاً هموار، وسیع و روشن، عاری از پوشش گیاهی می‌باشد.
۲. بیشترین بازتاب طیفی نمک‌زارها در محدوده‌های مرئی و مادون‌قرمز نزدیک می‌باشد.
۳. دور از مناطق زهکشی بوده، ارتفاع منطقه از سطح دریا بیشتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشد که میزان ذرات معلق در اتمسفر و خطاهای ناشی از ارزیابی غلظت‌ها و خصوصیات اتمسفر را کاهش می‌دهد.
۴. در زمان گذر ماهواره رطوبت نمک‌زارها حداقل می‌باشد.
۵. دسترسی به منطقه آسان بوده و امکان شناخت کافی از منطقه میسر می‌باشد.

۳-۲-۴-۳- کالیبراسیون رادیومتری سنجنده LISSIII

مقادیر داده‌های کالیبره شده سنجنده LISSIII در سطح یک (L1) به صورت Qcal نشان داده می‌شوند. تبدیل درجه روشنایی کالیبره شده داده‌های سطح یک به تابش طیفی ورودی سنجنده (L_λ)، به شناخت ضرایب کالیبراسیون رادیومتری سنجنده LISSIII بستگی دارد. ضرایب کالیبراسیون رادیومتری تقریباً ثابت هستند اما با گذشت زمان حساسیت سنجنده تغییر می‌کند، لذا این ضرایب توسط سازمان‌های مربوطه به روز می‌شوند. عموماً این اطلاعات در فایل راهنمای داده‌های مورد استفاده آورده شده است. با استفاده از رابطه (۱) درجه روشنایی پیکسل‌های داده‌های کالیبره شده سطح یک به تابش طیفی تبدیل می‌شوند:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) Q_{\text{cal}} + L_{\min \lambda} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، L_{λ} : تابش طیفی ورودی سنجنده برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، Q_{cal} : مقادیررقومی کالیبره شده یا DN هر پیکسل، Q_{calmin} : حداقل مقادیررقومی کالیبره شده ($DN=0$)، Q_{calmax} : حداکثر مقادیررقومی کالیبره شده پیکسل ($DN=128$)، $L_{\min \lambda}$: حداقل تابش طیفی برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، $L_{\max \lambda}$: حداکثر تابش طیفی برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ می باشد (Slater, 1999). در این تحقیق از روابط (۲، ۳ و ۴) برای کالیبراسیون باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک (باندهای ۲، ۳ و ۴) سنجنده LISSIII استفاده شد:

$$L_2 = \frac{148.005}{128} \times DN \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$L_3 = \frac{156.644}{128} \times DN \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$L_4 = \frac{164.543}{128} \times DN \quad \text{رابطه (۴)}$$

۴-۲-۴-۴- کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ASTER

داده‌های سطح یک در حالت $L1B$ کالیبره شده و دارای تصحیحات استاندارد هندسی و رادیومتری می‌باشند. داده‌های سطح یک در حالت $L1B$ بر حسب مقیاسی از تابش ارائه شده‌اند که همان درجه روشنایی کالیبره شده می‌باشند. برای تبدیل درجه روشنایی کالیبره شده به تابش طیفی ورودی این سنجنده ضرایب تبدیل واحد مورد استفاده قرار می‌گیرند (Arai, 2007). درجه روشنایی پیکسل‌های داده‌های کالیبره شده سطح یک در حالت $L1B$ سنجنده ASTER طبق رابطه (۴) به تابش طیفی تبدیل می‌شوند:

$$L_{\lambda} = (DN - 1) \times UCC \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)، L_{λ} : تابش طیفی ورودی سنجنده برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، UCC : ضریب تبدیل واحد برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ می‌باشد (Markham, 2005). در این تحقیق از روابط (۶، ۷ و ۸) برای کالیبراسیون باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک (۱، ۲ و ۳) سنجنده ASTER استفاده شد

$$L_1 = (DN - 1) \times 0.676 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$L_2 = (DN - 1) \times 0.708 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$L_3 = (DN - 1) \times 0.862 \quad \text{رابطه (۸)}$$

پس از تبدیلات و محاسبه تابش طیفی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER، از رابطه (۹) برای تبدیل تابش به بازتاب طیفی استفاده شد:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_s} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در رابطه (۹)، ρ_p : میزان بازتاب که کمیتی بدون واحد است، L_λ : تابش طیفی ورودی سنجنده بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، d : فاصله زمین - خورشید بر حسب واحد نجومی که به روز، سال، زاویه زینت خورشیدی، زمان اخذ تصویر، طول و عرض جغرافیایی بستگی دارد، $ESUN_\lambda$: انرژی تابشی خورشید در بالای جو در باندی به مرکز λ بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، θ_s : زاویه زینت خورشیدی در هنگام اخذ تصویر به درجه می باشد (Markham, 2004). جدول (الف و ب) مقادیر $ESUN_\lambda$ سنجنده‌های LISSIII و ASTER را نشان می دهد که از فایل راهنمای سنجنده‌های مورد استفاده اخذ شده است.

جدول الف - مقادیر $ESUN_\lambda$ سنجنده LISSIII بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$

شماره باند	۲	۳	۴	۵
$ESUN_\lambda$	۱۸۵/۲۱۶	۱۵۷/۷۳۱	۱۰۹/۶۶۶	۲۴/۰۶۲

جدول ب - مقادیر $ESUN_\lambda$ سنجنده ASTER بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$

شماره باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
$ESUN_\lambda$	۱۸۴۵/۹۹	۱۵۵۵/۷۴	۱۱۱۹/۴۷	۲۳۱/۲۵	۷۹/۸۱	۷۴/۹۹	۶۸/۶۶	۵۹/۷۴	۵۶/۹۲

۵- نتایج

بر اساس تحلیل تصاویر سنجنده‌های LISSIII و ASTER، نمک‌زارها بیشترین بازتاب طیفی را در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک نشان می دهند. بنابراین، استفاده از نمک‌زار برای کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER می تواند دقت نسبتاً بالایی را نشان دهد. پس از ارزیابی نمک‌زارهای مناطق مورد مطالعه برای کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER، درجات روشنایی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک طبق روابط (۲، ۳، ۴) و (۶، ۷، ۸) به تابش طیفی دریافتی سنجنده ماهواره تبدیل شدند. تبدیل درجه روشنایی به تابش طیفی دریافتی سنجنده ماهواره، مرحله اساسی تبدیل داده‌های رقومی ماهواره‌ای به مقیاس رادیومتری می باشد. برای انجام محاسبات از فرمول نویسی نرم افزار ILWIS، اطلاعات موجود در فایل راهنمای تصاویر سنجنده‌های LISSIII و ASTER و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مورد استفاده (جدول ۱ و ۲) بهره گرفته شد و در نهایت درجه روشنایی با استفاده از رابطه (۹) کالیبره شده و به بازتاب طیفی تبدیل شدند. با روی هم اندازی لایه‌های اطلاعاتی درجه روشنایی و بازتاب طیفی محاسبه شده برای هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER و اجرای دستور Cross در محیط نرم افزار ILWIS، همبستگی بین درجه روشنایی و بازتاب طیفی از طریق منحنی کالیبراسیون بررسی شد. همان طور که انتظار می رفت، روند تغییرات بسیار هماهنگ با یکدیگر می باشد (ضریب تبیین بین ۰/۸۰ تا ۰/۹)، به عبارتی با افزایش مقدار درجه روشنایی، مقدار بازتاب طیفی نیز افزایش پیدا می کند. به دلیل وجود رابطه خطی و

ضریب همبستگی بالا (بیشتر از ۰/۸) در هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER، اتمسفر تأثیر چندانی در تابش دریافتی سنجنده نداشته است. ضریب تشخیص ($R^2 \times 100$) هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده LISSIII در منطقه دامغان به ترتیب معادل ۸۷، ۸۸ و ۹۰ درصد، در منطقه کاشان به ترتیب معادل ۸۶، ۸۲ و ۸۹، در منطقه مهارلو به ترتیب معادل ۸۰، ۸۵ و ۹۱ درصد می‌باشد و ضریب تشخیص هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده ASTER در منطقه دامغان به ترتیب معادل ۸۵، ۸۹ و ۹۲ درصد، در منطقه کاشان به ترتیب معادل ۸۶، ۸۳ و ۸۹، در منطقه مهارلو به ترتیب معادل ۸۸، ۹۱ و ۹۳ درصد می‌باشد. بنابراین، درصد عمده تغییرات (بیشتر از ۸۰ درصد) تابع بازتاب طیفی نمک‌زار و درصد ناچیزی (کمتر از ۲۰ درصد) متأثر از عوامل ناخواسته نظیر اتمسفر و می‌باشد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد، نمک‌زارها می‌توانند برای کالیبراسیون سنجنده ماهواره در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده شوند.

۶- بحث و نتیجه گیری

مقایسه همبستگی درجه‌روشنایی با بازتاب طیفی منحنی کالیبراسیون هر یک از باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER نشان می‌دهد که استفاده از نمک‌زار در مقادیر بازتاب طیفی حداکثر، خطاهای ناشی از اثرات اتمسفر و کالیبراسیون سنجنده ماهواره را کاهش می‌دهد که با نتایج (Thome, 2001) همخوانی دارد. وجود رابطه خطی و ضریب همبستگی بالا در هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER، نشان دهنده این مطلب است که باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER در این مدت تغییرات زیادی نداشته است که با نتایج (Thome, 1997) همخوانی دارد. بنابراین نمک‌زارها می‌توانند برای کالیبراسیون سنجنده ماهواره در باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده شوند.

منابع

- Arai, K., 2007, "Vicarious calibration of the solar reflection channels of radiometers onboard satellites through the field campaigns with measurements of refractive index and size distribution of aerosols", Remote Sens., Vol. 39, PP. 13_19.
- Farifteh, J. A. & R. J. Farshad, 2006, "Assessing salt_affected soils using remote sensing", Solute modeling and geo., Vol. 130, PP. 191_206.
- Henry, P., M. Dingirard, & M. Bodilis, 1993, "Spot multi_temporal calibration over stable desert areas", SPIE. 1938, PP. 67_76.
- Markham, B. L., 2004, "Vicarious calibration of ASTER thermal infrared bands", IEEE Trans. Geosic. Remote Sens., Vol. 43, PP. 2733_2746.
- Markham, B. L., & G. Chander, 2005, "Landsat TM and ETM⁺ thermal band calibration", Can. J. Remote Sens., Vol. 29, PP. 141_153.
- Scott, K. P., K. J. Thome, & M. R. Brownlee, 1996, "Evaluation of the Railroad Valley Playa for use in vicarious calibration," Proc. SPIE Conf., Vol. 2818.
- Thome, K., S. Schiller, J. Conel, K. Arai, & S. Tsuchida, 1996, "Results of the 1996 earth observing system vicarious calibration campaign at Lunar Lake Playa, Nevada (USA)", Merologia., Vol. 35, PP. 631_638.
- Thome, K. J., "Absolute radiometric calibration of landsat_7 ETM⁺ using the reflectance_based method", 1997, Remote Sens. Env., Vol. 78, PP. 27_38.
- Thome, K., B. Markham, J. Barker, P. Slater, & S. Bigger, 2001, "Radiometric calibration of Landsat", Photogram. Eng. & Remote Sens., Vol. 63, PP. 853_858.