

بررسی امکان کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER با استفاده از نمکزارهای مناطق خشک ایران

حسین نظم فر^{۱*}

nazmfar@uma.ac.ir

نادر سرمستی^۲

سید کاظم علوی پناه^۳

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: یکی از موضوعات اساسی در تحلیل‌های کمی داده‌های رقومی ماهواره‌ای، اطمینان از پایداری حساسیت رادیومتری سنجنده ماهواره پس از پرتاب به فضاست که دستیابی به چنین هدفی نیازمند کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی امکان استفاده از نمکزارهای مناطق خشک به‌عنوان پدیده‌های زمینی مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده‌های LISSIII و ASTER می‌باشد. بدین منظور از نمکزارهای مناطق خشک دامغان، کاشان و مهارلو برای کالیبراسیون رادیومتری باندهای انعکاسی سنجنده‌های LISSIII و ASTER استفاده شد.

روش بررسی: ابتدا ویژگی‌های نمکزارهای مناطق مورد مطالعه بر اساس تحقیقات قبلی، مطالعات میدانی و داده‌های ماهواره‌ای موجود ارزیابی گردید. سپس با استفاده از روابط کالیبراسیون، اطلاعات موجود در فایل‌های راهنما و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مورد استفاده، بازتاب طیفی نمکزارها در باندهای انعکاسی محاسبه شده و همبستگی بین درجه روشنایی تصاویر و بازتاب طیفی نمکزارها (تابش دریافتی سنجنده ماهواره در بالای اتمسفر) ارزیابی شد.

یافته‌ها: رابطه خطی و ضریب همبستگی بالا (بیشتر از ۰/۸) در هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER نشان داد که نمکزارهای مناطق خشک به‌عنوان پدیده‌های زمینی مرجع می‌توانند برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده‌های LISSIII و ASTER در باندهای انعکاسی محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک کارایی داشته باشند.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد که روند تغییرات بسیار هماهنگ با یکدیگر می‌باشد (ضریب تبیین بین ۰/۸ تا ۰/۹)، به‌عبارتی با افزایش مقدار درجه روشنایی، مقدار بازتاب طیفی نیز افزایش پیدا می‌کند. به‌دلیل وجود رابطه خطی و ضریب همبستگی بالا (بیشتر از

۱- استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه محقق اردبیلی. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشجوی دکتری جغرافیا دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران.

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.

واژه های کلیدی: کالیبراسیون، سنجنده، کاشان، دامغان، مهارلو.

Evaluation Possibility of Calibration of LISSIII & ASTER Sensors by Using of Salt Crusts in Dry Areas of Iran

Hossein Nazmfar^{1*}

nazmfar@uma.ac.ir

Nader Sarmasty²

S.Kazem Alavipanah³

Admission Date: October 27, 2015

Date Received: January 6, 2014

Abstract

Background and Objective: One of the key issues in quantitative analysis of digital satellite data is to ensure that the sensitivity of the satellite's radiometer is stable after launch. Achieving such a goal requires radiometric calibration of the satellite sensor. The aim of this study was to investigate the possibility of using arid salt marshes as reference terrestrial phenomena for radiometric calibration of LISSIII and ASTER sensors. For this purpose, salt fields in dry areas of Damghan, Kashan and Maharloo were used for radiometric calibration of reflective bands of LISSIII and ASTER sensors.

Method: First, the characteristics of salt fields in the study areas were evaluated based on previous research, field studies and available satellite data. Then, using the calibration relationships, the information in the guide files as well as the calibration coefficients of the sensors used, the spectral reflectance of the saltworks in the reflection bands were calculated and the correlation between the brightness of the images and the spectral reflection of the saltworks (satellite sensor radiation above the atmosphere) was evaluated.

Findings: The linear relationship and high correlation coefficient (more than 0.8) in each of the visible and infrared bands near LISSIII and ASTER sensors showed that arid salt marshes as reference terrestrial phenomena can be limited to radiometric calibration of LISSIII and ASTER sensors in LISSIII and ASTER sensors. And infrared close to have efficiency.

Discussion and Conclusion: The results showed that the trend of changes is very consistent with each other (explanation coefficient between 0.8 to 0.9), in other words, with increasing the degree of brightness, the amount of spectral reflection also increases. Due to the linear relationship and high correlation coefficient (more than 0.8) in each of the visible and infrared bands near LISSIII and ASTER sensors, the atmosphere did not have much effect on the received radiation of the sensor.

Keywords: Calibration, Sensor, Kashsn, Damghan, Maharlo.

1- Professor, Urban Planning, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran * (Corresponding Author)

2- B.Sc., Geography University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Professor, Remote Sensing University of Tehran, Tehran, Iran

مقدمه

می‌دهند(۹). هر یک از باندهای سنجنده ماهواره دارای منحنی کالیبراسیون^۶ می‌باشند که خصوصیات آنها از طریق کالیبراسیون پیش از پرتاب^۷ شناخته شده‌اند و فرض بر این است که در طول عمر سنجنده ماهواره ثابت باشند (۱۰). روش‌های مختلفی برای کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره پس از پرتاب به فضا پیشنهاد شده که مهم‌ترین آنها کالیبراسیون جایگزین^۸ است (۱۱). روش کالیبراسیون جایگزین با استفاده از پدیده‌های مرجع شامل اقیانوس، بیابان، ابر، برف، دریاچه خشک و ... انجام می‌شود که مناطق خشک برای کالیبراسیون رادیومتری برخی سنجنده‌ها در سطح وسیعی استفاده شده‌اند (۱۲). این مناطق بازتاب‌های طیفی 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 (۱۳). 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 (۱۴). با توجه به کالیبراسیون رادیومتری سنجنده ماهواره یکی از موضوعات اساسی در پردازش کمی داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد، لذا هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده از نمکزارهای مناطق خشک به‌عنوان پدیده‌های زمینی مرجع برای کالیبراسیون رادیومتری باندهای انعکاسی سنجنده‌های LISSIII و ASTER به روش کالیبراسیون جایگزین می‌باشد تا امکان مطالعات پیش در درازمدت فراهم شود.

پژوهشگران تحقیقات اندکی را در داخل و خارج کشور انجام داده‌اند که به بعضی از آنها اشاره می‌گردد. رودگرمی و همکاران (۱۵) کاربرد تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجنش از دور را

داده‌های خام سنجنش از دور، آنچنان که به‌وسیله سنجنده‌های موجود در ماهواره دریافت می‌شود، ممکن است کمبودها و یا پارازیت‌هایی داشته باشند. حساسیت رادیومتری^۱ سنجنده ماهواره مربوط به حد درجه جزئیاتی است که داده‌های جمع‌آوری شده در آن بیان می‌شوند (۱). مقادیر رقومی ثبت شده در سنجنده بیانگر مقدار نسبی بازتابش از سطح زمین است (۲). معمولاً می‌توان از ارزش‌های رقومی ثبت شده در سنجنده‌ها برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای کاربری‌های مختلف استفاده کرد که این کاربرد خالی از اشکال نیست زیرا ارزش‌های رقومی ثبت شده توسط سنجنده‌ها از یک پدیده معین، تحت تأثیر زاویه دید، موقعیت و زاویه خورشید، شرایط آب و هوایی و ... قرار می‌گیرد و در زمان‌های متفاوت مختلف است (۳). بنابراین بسیار مفید است که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای کاربری‌های مختلف کمی و کیفی، ارزش‌های رقومی را به واحدهای بازتاب طیفی تبدیل شوند و بازتاب واقعی پدیده‌ها در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۴). کالیبراسیون رادیومتری^۲ سنجنده ماهواره 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 ... به‌کار گرفته شوند (۵). کالیبراسیون رادیومتری رابطه بین درجه روشنایی^۳ و مقدار واقعی انرژی دریافتی سنجنده ماهواره را توجیه می‌کند (۶). گروه کالیبراسیون و اعتبارسنجی^۴ ماهواره‌های نظاره‌گر زمینی^۵، کالیبراسیون را فرایند ارزیابی کمی حساسیت رادیومتری سنجنده به سیگنال‌های ورودی تعریف می‌کنند (۷). مرحله اساسی پردازش رادیومتری داده‌های ماهواره‌ای، محاسبه تابش طیفی دریافتی سنجنده ماهواره می‌باشد (۸). معمولاً آشکارسازهای سنجنده ماهواره نسبت به تابش طیفی ورودی به‌صورت خطی واکنش نشان

- 1- Radiometric Sensitivity
- 2- Radiometric Calibration
- 3- Digital Number
- 4- The Working Group on Calibration and Validation
- 5- Earth Observation Satellites

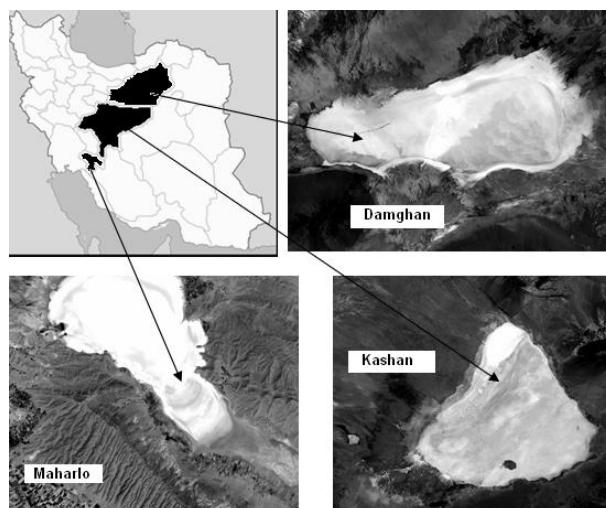
- 6- Calibration Curve
- 7- Pre_Launch
- 8- Vicarious Calibration

پی بردند که پدیده‌های زمینی یکنواخت با بازتاب‌های طیفی بالا برای ارزیابی روند کالیبراسیون رادیومتری مطلق سنجنده‌های TM⁺ و ETM⁺ ماهواره لندست در مدت زمان طولانی جایگزین مناسبی می‌باشند. تونوکا^۴ و همکاران (۲۰) به بررسی کالیبراسیون جایگزین باندهای حرارتی سنجنده ASTER پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که روش کالیبراسیون جایگزین از صحت بالایی برخوردار می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق سه منطقه دامغان، کاشان و مهارلو می‌باشد. پلایای دامغان در جنوب شرقی شهرستان دامغان و شرق استان سمنان واقع شده است. ارتفاع پلایا از سطح دریا ۱۰۵۰ متر می‌باشد. محدوده منطقه مطالعاتی دامغان 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. پلایای کاشان در غرب ایران مرکزی و در قسمتی از چاله زمین‌ساختی قم-اردکان قرار دارد. محدوده مورد بررسی بخشی از کویر بزرگ ایران را تشکیل می‌دهد که در استان اصفهان و شامل اراضی کاشان و آران بین ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. پلایای مهارلو در ۱۸ کیلومتری جنوب شیراز بین ۱۱ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۲۵ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این حوزه ۴۲۷۱ کیلومتر مربع بوده و حداکثر درازای آن از جهت غرب به شرق به ۳۵٫۵ کیلومتر می‌رسد. ارتفاع متوسط آن ۱۴۸۲ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. شکل (۱) موقعیت مناطق مورد مطالعه را در کشور نشان می‌دهد.

در پیش‌بینی اثرات زیست‌محیطی ارزیابی نمودند و نتیجه گرفته‌اند که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای کاربری‌های مختلف کمی و کیفی، باید ارزش‌های رقومی به واحدهای بازتاب طیفی تبدیل شوند و بازتاب واقعی پدیده‌ها در تجزیه و تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گیرد. کوفمن^۱ و پرایس^۲ (۱۶) با حذف آثار اتمسفری و تصحیحات رادیومتری مربوط به ضرایب کالیبراسیون سنجنده ماهواره لندست مقادیر ارزش رقومی را به بازتاب طیفی تبدیل نموده و بیان داشته که شاخص‌های حاصل از این تبدیل به‌وضوح روابط بهتری را با پارامترهای کمی پوشش گیاهی از یک سو و پایش دقیق‌تر عرصه‌های دارای پوشش گیاهی در زمان‌های مختلف ارائه نموده است. تام^۳ و همکاران (۱۷) روش مبتنی بر بازتاب طیفی را برای تخمین حساسیت رادیومتری سنجنده TM ماهواره لندست ۵ با استفاده از داده‌های تصویری دریافتی در ۸ تاریخ بین جولای ۱۹۸۴ و آگوست ۱۹۹۲ از اراضی شنی روشن به کار بردند. نتایج نشان داد که تغییر واضحی در حساسیت رادیومتری سنجنده TM ماهواره لندست ۵ در طول دوره فعالیت وجود داشته است که برای باندهای محدوده مرئی نسبت به باندهای دیگر زیاد بوده است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که از اراضی شنی با بازتاب‌های طیفی بالا می‌توان برای کالیبراسیون سنجنده TM ماهواره لندست استفاده نمود. اسکات و همکاران (۱۸) کالیبراسیون رادیومتریکی مطلق سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست را در مناطق بیابانی نیم‌مکزیکو بررسی نموده و پی بردند که تغییر واضحی در حساسیت رادیومتری سنجنده ETM⁺ ماهواره لندست وجود داشته است که در باندهای محدوده مرئی نسبت به باندهای دیگر زیاد بوده است. از نتایج دیگر این تحقیق برتری کالیبراسیون جایگزین سنجنده ماهواره با استفاده از مناطق بیابانی و خشک می‌باشد. هنری و همکاران (۱۹) کالیبراسیون رادیومتری مطلق سنجنده‌های TM و ETM⁺ ماهواره لندست را به روش جایگزین مبتنی بر انتخاب پدیده‌های زمینی مرجع در جنوب‌غربی استرالیا بررسی نموده و

1- Kufman
2- Price
3-Thome



شکل ۱- موقعیت مناطق مطالعاتی در ایران

Figure 1. Location of study areas in Iran

راديومتری نظير راه‌راه‌شدگی، خطای زیر هم قرارگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های دوبله و همچنین اثرات اتمسفری نظیر ابر مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای تصحیحات استاندارد بودند. شرط لازم و اولیه برای تفسیر صحیح اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور پایش سطح زمین، کالیبراسیون راديومتری سنجنده ماهواره است. برای انجام این مرحله از تحقیق، ابتدا خصوصیات نمک‌زارها ارزیابی شد. تحت شرایط آزمایشگاه، در شرایط رطوبتی پایین، نمک‌ها مقدار بازتاب بیشتری را در محدوده طیف مرئی مخصوصاً آبی و مادون قرمز نزدیک نشان می‌دهند. بازتاب پایین در شرایط حضور آب هیگروسکوپیک در نمک‌های معدنی یا رطوبت زیاد در نمک‌های تازه در باندهای مادون قرمز میانی اتفاق می‌افتد. شکل (۲) منحنی رفتار طیفی انواع نمک‌ها را نشان می‌دهد.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

برای انجام این تحقیق از تصاویر سنجنده‌های LISSIII و ASTER در تاریخ‌های مختلف تصویربرداری استفاده شده است که مشخصات آنها در جدول (۱) آورده شده است.

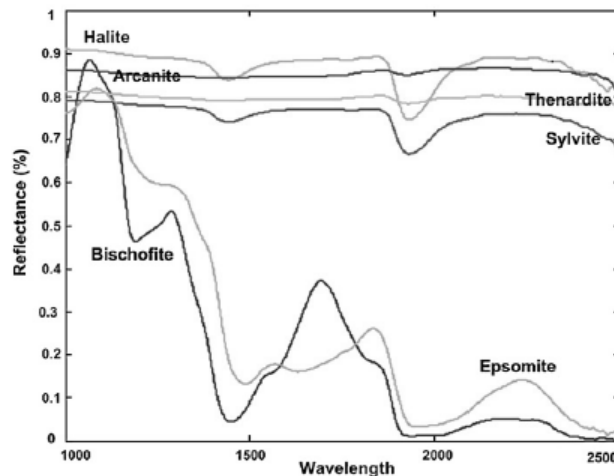
روش‌ها

به منظور کنترل کیفیت داده‌های مورد استفاده و آگاهی از این‌که خطاهای سیستماتیک و غیر سیستماتیک تا چه حد در تصحیح سیستمی برطرف‌شده یا باقی‌مانده است، داده‌ها مورد بررسی و مشاهده قرار گرفتند. پس از نمایش باندها به‌صورت تک‌بندی و ترکیبات رنگی مختلف با استفاده از نرم‌افزارهایی که قابلیت نمایش و بزرگ‌نمایی بالایی دارند، به‌کمک بزرگ‌نمایی آنها در بخش‌های مختلف تصاویر از لحاظ خطاهای

جدول ۱- مشخصات سنجنده‌های مورد استفاده

Table 1. Specifications of the meters used

نام منطقه	نام سنجنده	سال	ماه
دامغان	LISSIII	۲۰۰۷	نوامبر
کاشان		۲۰۰۷	جولای
مهارلو		۲۰۰۶	جولای
دامغان	ASTER	۲۰۰۲	سپتامبر
کاشان		۲۰۰۰	ژوئیه
مهارلو		۲۰۰۲	جولای



شکل ۲- منحنی بازتاب طیفی انواع نمک‌ها

Figure 2. Spectral reflection curve of different types of salts

کالیبراسیون یا حساسیت آشکارساز بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)/DN)$ ، Offset: نقطه تقاطع منحنی کالیبراسیون یا انحراف آشکارساز می‌باشد. نکته مهم این است که شیب و نقطه تقاطع منحنی کالیبراسیون فقط در سطح صفر داده‌های خام استفاده می‌شوند. مقادیر داده‌های کالیبره شده سنجنده LISSIII در سطح یک (L_1) به صورت Q_{cal} 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^۳ داده‌های مورد استفاده آورده شده است. با استفاده از رابطه (۲) درجه روشنایی پیکسل‌های داده‌های کالیبره شده سطح یک به تابش طیفی تبدیل می‌شوند:

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{\max \lambda} - L_{\min \lambda}}{Q_{cal \max} - Q_{cal \min}} \right) Q_{cal} + L_{\min \lambda} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، L_λ : تابش طیفی ورودی سنجنده بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، Q_{cal} : مقادیر رقومی کالیبره شده یا DN

با توجه به نمودار بازتاب طیفی نمک‌زها و داده‌های مورد استفاده و بازدهی‌های میدانی، سطح نمک‌زها نسبتاً هموار، وسیع و روشن، عاری از پوشش گیاهی بوده، بیشترین بازتاب طیفی نمک‌زها در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک، دور از مناطق زهکشی بوده و در زمان گذر ماهواره رطوبت نمک‌زها حداقل می‌باشد. با توجه به معیارهای یاد شده بالا، از نمک‌زهای مناطق مورد مطالعه برای کالیبراسیون رادیومتری باندهای انعکاسی مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER استفاده شد. مقادیر داده‌های خام سطح صفر^۱ (L_0) سنجنده LISSIII به صورت Q نمایش داده می‌شوند. تابش‌های طیفی طبق رابطه خطی به مقادیر ۷ بیتی (صفر تا ۱۲۸) درجه بندی می‌شوند که نمایانگر مقادیر درجات روشنایی می‌باشند. مقادیر حساسیت و انحراف آشکارساز سنجنده LISSIII برای تبدیل داده‌های خام (Q) به تابش طیفی ورودی سنجنده (L_λ) طبق رابطه (۲) استفاده می‌شوند:

$$Q = Gain \times L_\lambda \times Offset \quad (1)$$

$$L_\lambda = \frac{(Q - Offset)}{Gain}$$

در رابطه (۱)، Q: مقادیر رقومی خام، L_λ : تابش طیفی ورودی سنجنده بر حسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، Gain: شیب منحنی

جغرافیایی بستگی دارد، $ESUN_{\lambda}$: انرژی تابشی خورشید در بالای جو در باندی به مرکز λ برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، θ_s : زاویه زینت خورشیدی در هنگام اخذ تصویر به درجه می‌باشد (۱۴).

نتایج

پس از ارزیابی نمکزارهای مناطق مورد مطالعه برای کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER، درجات روشنایی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک 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 می‌باشد. برای انجام محاسبات از فرمول‌نویسی نرم‌افزار ILWIS، اطلاعات موجود در فایل راهنمای تصاویر سنجنده‌های LISSIII و ASTER و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مورد استفاده بهره گرفته شد. جدول ۲ مقادیر حداقل و حداکثر تابش طیفی سنجنده LISSIII را برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ نشان می‌دهد که از اطلاعات موجود در فایل راهنمای سنجنده LISSIII اخذ شده است.

جدول ۲- مقادیر حداقل و حداکثر تابش طیفی سنجنده LISSIII برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$

Table 2. Minimum and maximum values of spectral radiation of LISSIII sensor in terms of $(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

شماره باند	$L_{min\lambda}$	$L_{max\lambda}$
۲	۰	۱۴۸/۰۰۵
۳	۰	۱۵۶/۶۴۴
۴	۰	۱۶۴/۵۲۳
۵	۰	۲۴/۳۸۱

هر پیکسل، Q_{calmin} : حداقل مقادیر رقومی کالیبره‌شده $(DN=0)$ ، Q_{calmax} : حداکثر مقادیر رقومی کالیبره‌شده 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 $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ می‌باشد (۱۲).

داده‌های سنجنده ASTER در سطح صفر، سطح یک (L_1A) و (L_1B) جمع‌آوری می‌شوند. داده‌های سطح صفر و سطح یک در حالت L_1A به صورت خام و شامل ضرایب تصحیح هندسی و رادیومتری و دیگر داده‌های کمکی می‌باشند، اما داده‌های سطح یک در حالت L_1B کالیبره شده و دارای تصحیحات استاندارد هندسی و رادیومتری می‌باشند. داده‌های سطح یک در حالت L_1B بر حسب مقیاسی از تابش ارائه شده‌اند که همان درجه روشنایی کالیبره‌شده می‌باشند. برای تبدیل درجه روشنایی کالیبره‌شده به تابش طیفی ورودی این سنجنده ضرایب تبدیل واحد^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۳). درجه روشنایی پیکسل‌های داده‌های کالیبره‌شده سطح یک در حالت L_1B سنجنده ASTER طبق رابطه (۶) به تابش طیفی تبدیل می‌شوند:

$$L_{\lambda} = (DN - 1) \times UCC \quad (6)$$

در رابطه (۶)، 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 (۱۲).

پس از تبدیلات و محاسبه تابش طیفی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER، از رابطه (۱۰) برای تبدیل تابش به بازتاب طیفی استفاده شد:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، ρ_p : میزان بازتاب که کمیتی بدون واحد است، L_{λ} : تابش طیفی ورودی سنجنده برحسب $(w/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m))$ ، d : فاصله زمین-خورشید برحسب واحد نجومی که به روز، سال، زاویه زینت خورشیدی، زمان اخذ تصویر، طول و عرض

1- Level_1A

2- Level_1B

3- Unit Conversion Coefficients (UCC)

$$L_4 = \frac{164.543}{128} \times DN \quad (۵)$$

همچنین از روابط (۷، ۸، ۹) برای کالیبراسیون باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک (سنجنده (۱،۲،۳) سنجنده ASTER استفاده شد که ضرایب تبدیل واحد از جدول ۳ اخذ شده است.

از روابط (۳، ۴، ۵) برای کالیبراسیون باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک (باندهای (۲،۳،۴) سنجنده LISSIII استفاده شد:

$$L_2 = \frac{148.005}{128} \times DN \quad (۳)$$

$$L_3 = \frac{156.644}{128} \times DN \quad (۴)$$

جدول ۳- ضرایب تبدیل واحد باندهای سنجنده ASTER بر حسب ((w/(m².sr.μm))

Table 3 . Conversion coefficients of ASTER sensor band units in terms of ((m2. sr.μm) w /)

شماره باند	حساسیت بالا	حساسیت نرمال	حساسیت پایین (۱)	حساسیت پایین (۲)
۱	۰/۶۷۶	۱/۶۸۸	۲/۲۵	N/A
۲	۰/۷۰۸	۱/۴۱۵	۱/۸۹	N/A
۳(N)	۰/۴۲۳	۰/۸۶۲	۱/۱۵	N/A
۳(B)	۰/۴۲۳	۰/۸۶۲	۱/۱۵	N/A

آب و هوایی روی تصاویر حذف می‌گردد و نتیجه حاصل نسبتاً استاندارد می‌شود که مستقیماً جهت مقایسه بازتاب پدیده‌ها بین تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های متفاوت قابل کاربرد می‌باشد. جدول ۴الف و ب مقادیر ESUN_λ سنجنده‌های LISSIII و ASTER را نشان می‌دهد که از فایل راهنمای سنجنده‌های مورد استفاده اخذ شده است.

$$L_1 = (DN - 1) \times 0.676 \quad (۷)$$

$$L_2 = (DN - 1) \times 0.708 \quad (۸)$$

$$L_3 = (DN - 1) \times 0.862 \quad (۹)$$

پس از محاسبه تابش طیفی، ارزش‌های رقومی به بازتاب طیفی تبدیل شدند. با تبدیل مقادیر تابش طیفی به بازتاب طیفی آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل، عرض جغرافیایی، شرایط

جدول ۴- الف: مقادیر ESUN_λ سنجنده LISSIII بر حسب ((w/(m².sr.μm))

Table 4. A: ESUN_λ values of LISSIII sensor in terms of ((m2.sr.μm) w /)

شماره باند	۲	۳	۴	۵
ESUN _λ	۱۸۵/۲۱۶	۱۵۷/۷۳۱	۱۰۹/۶۶۶	۲۴/۰۶۲

جدول ۴- ب: مقادیر ESUN_λ سنجنده ASTER بر حسب ((w/(m².sr.μm))

Table 4. b: ESUN_λ values of ASTER sensor in terms of ((m2. sr.μm) w /)

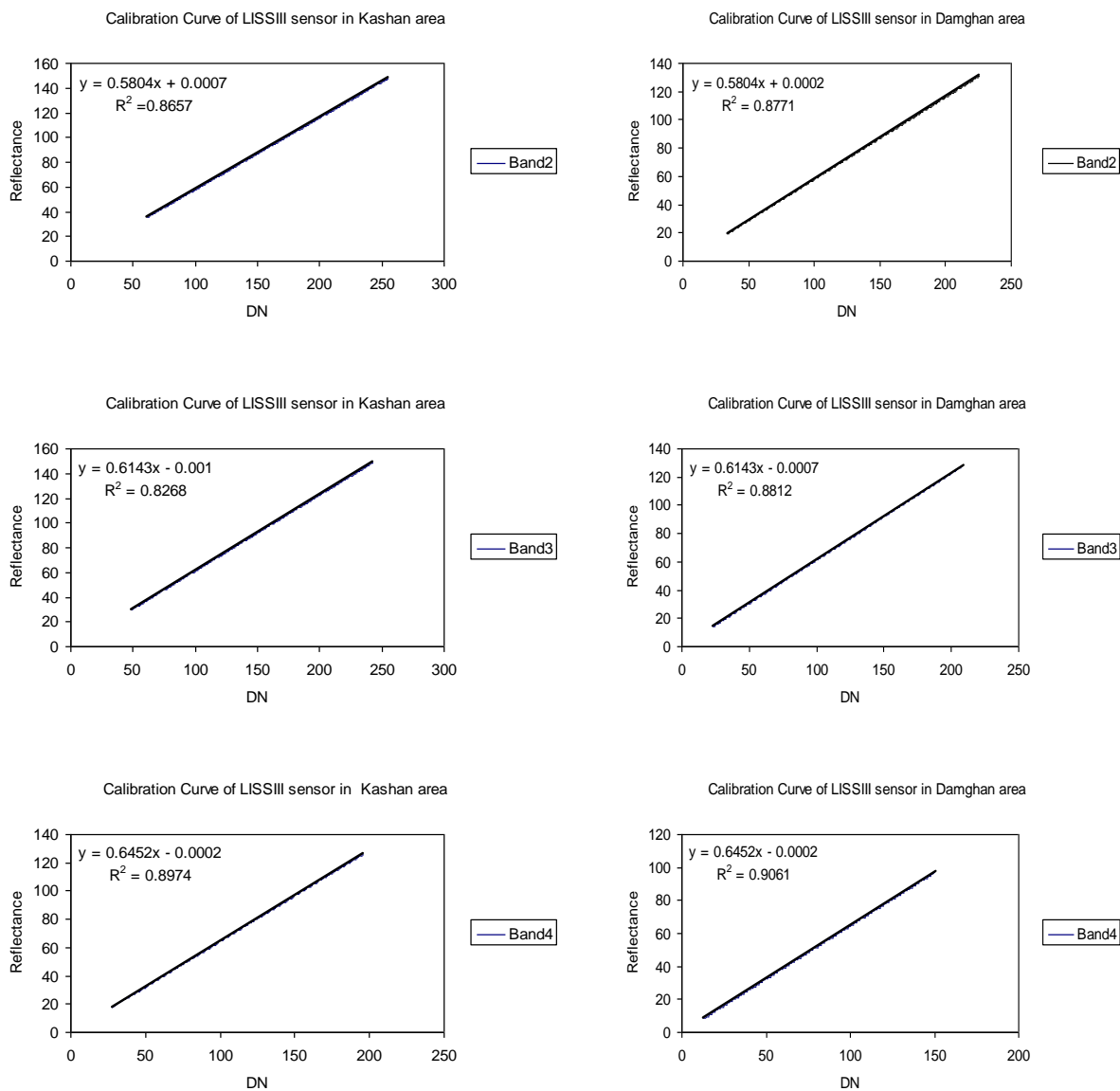
شماره باند	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ESUN _λ	۱۸۴۵/۹۹	۱۵۵۵/۷۴	۱۱۱۹/۴۷	۲۳۱/۲۵	۷۹/۸۱	۷۴/۹۹	۶۸/۶۶	۵۹/۷۴	۵۶/۹۲

شد. شکل‌های تا ۱۱ منحنی کالیبراسیون هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده LISSIII و ASTER را در مناطق دامغان، کاشان و مهارلو نشان می‌دهد. محور افقی درجه روشنایی با مقادیر بین صفر تا ۲۵۵، محور عمودی بازتاب

با رویهم‌اندازی 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 نرم‌افزار ILWIS، همبستگی بین درجه روشنایی و بازتاب طیفی از طریق منحنی کالیبراسیون بررسی

مقادیر بین صفر تا ارا نشان می‌دهد.

طیفی با مقادیر بین صفر تا ۲۵۵ و R^2 ضریب همبستگی با

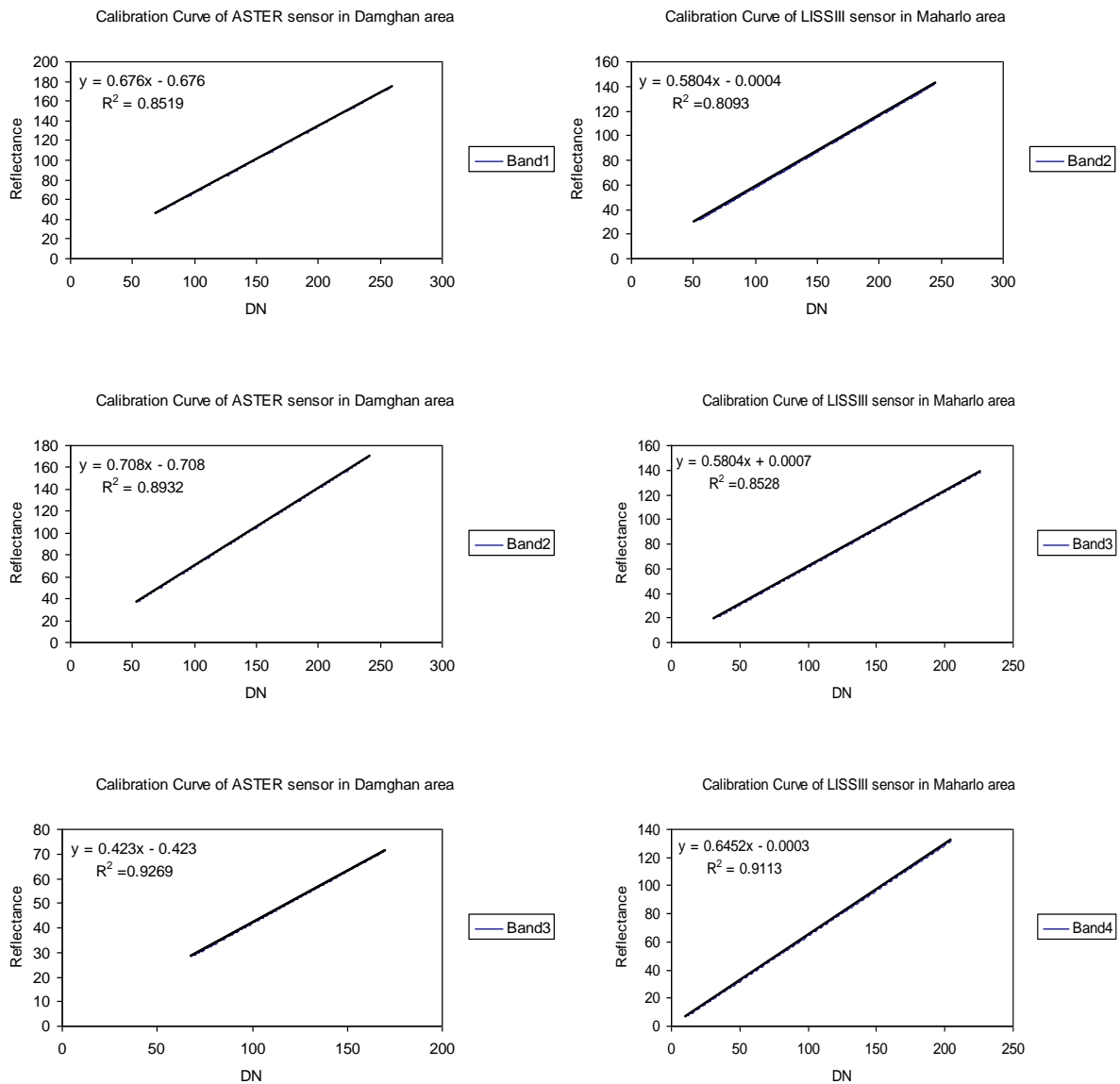


شکل ۷- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده LISSIII در منطقه کاشان

Figure 7. Calibration curve of visible and infrared bands near LISSIII sensor in Kashan region

شکل ۶- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده LISSIII در منطقه دامغان

Figure 6. Calibration curve of visible and infrared bands near LISSIII sensor in Damghan region

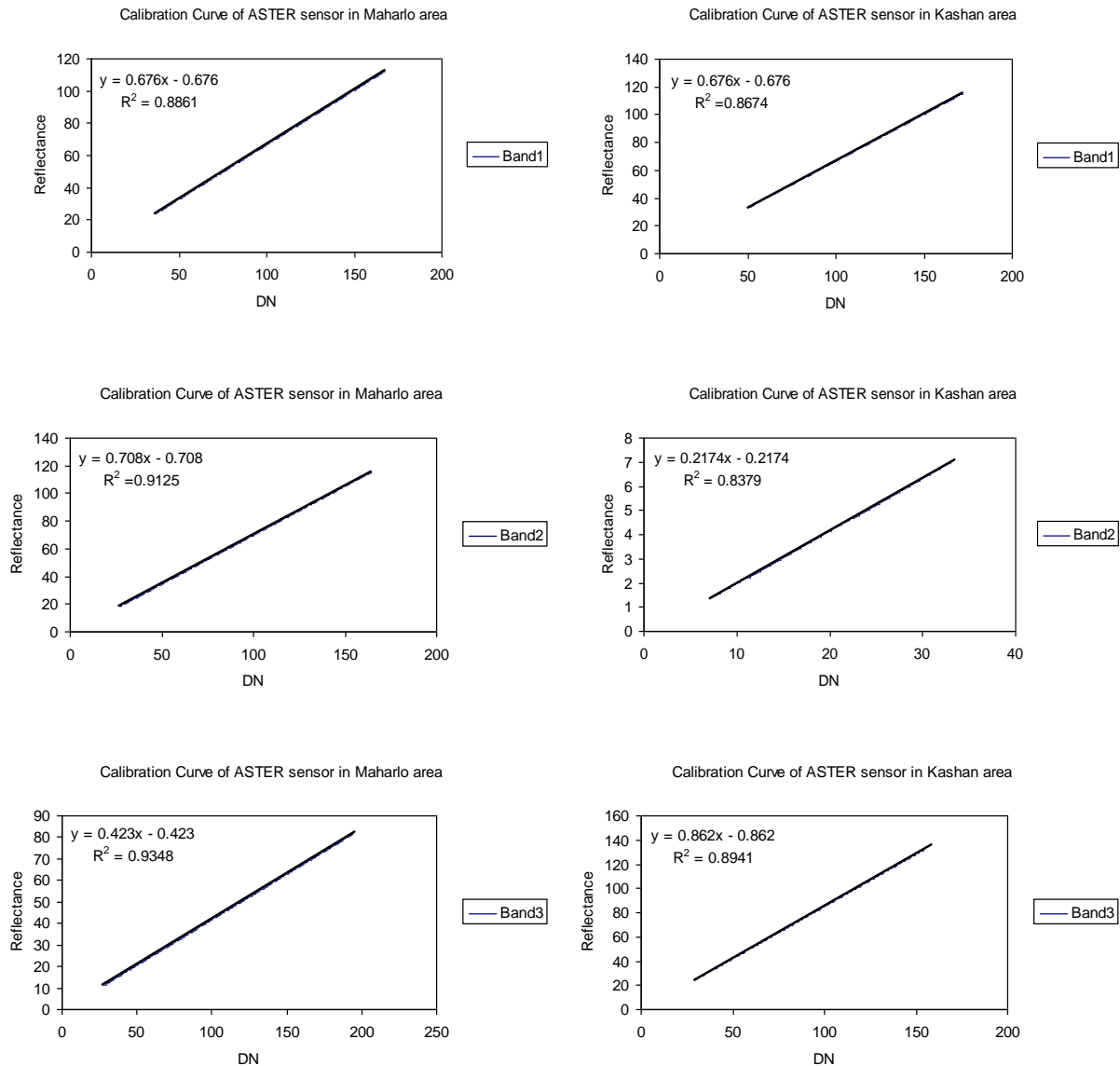


شکل ۹- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده ASTER در منطقه دامغان

Figure 9. Calibration curve of visible and infrared bands near ASTER sensor in Damghan region

شکل ۸- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده LISSIII در منطقه مهارلو

Figure 8. Calibration curve of visible and infrared bands near LISSIII sensor in Maharloo area



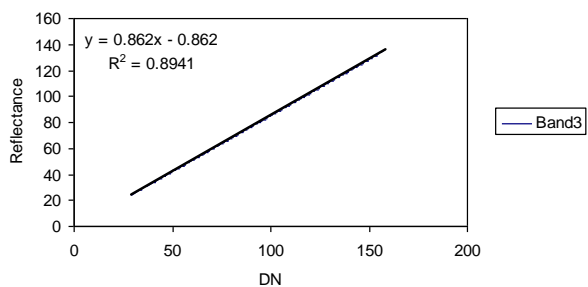
شکل ۱۱- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده ASTER در منطقه مهارلو

Figure 11. Calibration curve of visible and infrared bands near ASTER sensor in Maharloo area

اطلاعات موجود در فایل راهنمای تصاویر سنجنده‌های LISSIII و ASTER و همچنین ضرایب کالیبراسیون سنجنده‌های مورد استفاده بهره گرفته شد. پس از محاسبه تابش طیفی، ارزش‌های رقومی به بازتاب طیفی تبدیل شدند. با رویکرد اندازبیلایه‌های 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

شکل ۱۰- منحنی کالیبراسیون باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده ASTER در منطقه کاشان

Figure 10. Calibration curve of visible and infrared bands near ASTER sensor in Kashan region



بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، امکان استفاده از نمکزارهای مناطق خشک کاشان، دامغان و مهارلو در کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER ارزیابی شد. پس از ارزیابی نمکزارهای مناطق مورد مطالعه برای کالیبراسیون سنجنده‌های LISSIII و ASTER، درجات روشنایی باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک به تابش طیفی دریافتی سنجنده ماهواره تبدیل شدند. برای انجام محاسبات از فرمول‌نویسی نرم‌افزار ILWIS،

Reference

1. Fatemi, Seyed Baqer, 2006, "Fundamentals of Remote Sensing", Azadeh Publications, First Edition, 2006.
2. Rudgarmi et al., 2008, "Application of satellite imagery and remote sensing techniques in assessing the effects of biological development", Iranian Journal of Natural Resources, Volume 57, Number 2, pp. 1-12.
3. Xiao, Q., J. Liu, H. Yu, & H. Zhang, 2008, "Analysis and evaluation of optical uniformity for Dunhuang calibration site by airborne spectrum survey data", Remote Sens. 38:136_142.
4. - Matkan AA, Shakhiba A, Poor Ali S H, Nazmfar H. (2008), locating suitable sites for landfill using GIS. (study area: the city of Tabriz), Journal of Environmental Sciences, 2008, (2), 121- 132. (In Persian)
5. Thome, K. J., "Absolute radiometric calibration of landsat-7 ETM+ using the reflectance_based method", 2009, Remote Sens. Env. 78:27-38.
6. Nazmfar, H. (2012). An analysis of urban system with emphasis on entropy model (Casestudy: the cities of East Azerbaijan Province), Indian Journal of Science and Technology. Volume 5, Issue 9, p. 3340 -3344.
7. Scott, K. P., K. J. Thome, & M. R. Brownlee, 2010, "Evaluation of the Railroad Valley Playa for use in vicarious calibration," Proc. SPIE Conf. Vol. 2818.
8. Hossein Nazmfar (2019) An integrated approach of the analytic network process and fuzzy model mapping of

Cross در محیط نرم‌افزار ILWIS، همبستگی بین درجه روشنایی و بازتاب طیفی از طریق منحنی کالیبراسیون بررسی شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات بسیار هماهنگ با یکدیگر می‌باشد (ضریب تبیین بین ۰/۸ تا ۰/۹)، به عبارتی با افزایش مقدار درجه روشنایی، مقدار بازتاب طیفی نیز افزایش پیدا می‌کند. 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،۹۰ درصد؛ در منطقه کاشان به ترتیب معادل ۸۰،۸۵،۹۱؛ در منطقه مهارلو به ترتیب معادل ۸۶،۸۲،۸۹ درصد می‌باشد و ضریب تشخیص هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده ASTER در منطقه دامغان به ترتیب معادل ۸۵،۸۹،۹۲ درصد؛ در منطقه کاشان به ترتیب معادل ۸۶،۸۳،۸۹؛ در منطقه مهارلو به ترتیب معادل ۸۸،۹۱،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. مقایسه همبستگی درجه روشنایی با بازتاب طیفی منحنی کالیبراسیون هر یک از باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER نشان می‌دهد که استفاده از نمکزارهای مناطق خشک در مقادیر بازتاب طیفی حداکثر، خطاهای ناشی از اثرات اتمسفر و کالیبراسیون سنجنده ماهواره را کاهش می‌دهد. وجود رابطه خطی و ضریب همبستگی بالا در هر یک از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک سنجنده‌های LISSIII و ASTER، نشان‌دهنده این مطلب است که نمکزارهای مناطق خشک می‌توانند برای کالیبراسیون سنجنده ماهواره در باندهای محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک استفاده شوند که با نتایج تام و همکاران همخوانی دارد.

16. Nazmfar, H. Eshgi, A. Alavi, S. Pourmoradian, S. (2019): Analysis of travel and tourism competitiveness index in middle-east countries, Asia Pacific Journal of Tourism Research, 24 (1): 501-513.
17. Kaufman, Y. J. and Holben, B. N., 2010, Calibration of the AVHRR visible and near-IR bands by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection, Int. J. Remote Sens. 14:21-52.
18. Nazmfar, H. & Jafarzadeh, J. Classification of Satellite Images in Assessing Urban Land Use Change Using Scale Optimization in Object-Oriented Processes (A Case Study: Ardabil City, Iran) J Indian Soc Remote Sens (2018) 46: 1983. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0850-7>.
19. Markham. B. L, 2010, "Vicarious calibration of ASTER thermal infrared bands", IEEE Trans. Geosic. Remote Sens. 43:2733_2746.
20. Nazmfar, H., Beheshti. B. (2016). Application of Combined model analytical network process and fuzzy logic models in Landslide susceptibility zonation (Case Study: chellichay Catchment). Journal Geography and Environmental Planning, 27 (1): 53-68.
21. Tonnoka, H., F. D. Palluconi, S.J. Hook, & T. Motsunaga, 2009, "Vicarious calibration of ASTER thermal channels", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 43:2733-2746.
22. Nazmfar, H., Roshan Roodi, S. (2015). Assessment of Development Sustainability Level in 9th District of Mashhad District Based on Hierarchy Models and Network Analysis. evaluation of urban vulnerability against earthquake, Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10:1, 15121528, DOI: 10.1080/19475705.2019.1588791
9. Fraser, R. S. and Kaufman, Y. J., 2010, "Calibration of satellite sensors after launch", APPL. Opt. 25:1177-1185.
10. Thome, K., S. Schiller, J. Conel, K. Arai, & S. Tsuchida, 2009, "Results of the 1996 earth observing system vicarious calibration campaign at Lunar Lake Playa, Nevada (USA)", Merologia. 35:631_638.
11. Nazmfar, H. Eshgi, A. Alavi, S. Pourmoradian, S. (2019): Analysis of travel and tourism competitiveness index in middle-east countries, Asia Pacific Journal of Tourism Research, 24 (1): 501-513.
12. . Henry, P., M. Dinguirard, & M. Bodilis, 2012, "Spot multi-temporal calibration over stable desert areas", SPIE. 1938:67_76.
13. Farifteh, J. A. & R. J. Farshad, 2009, "Assessing salt_affected soils using remote sensing", Solute modeling and geo. 130:191_206.
14. Nazmfar, H. Alavi, S. Eshgi, A. Feizizadeh. B. (2019): Vulnerability evaluation of urban buildings to various earthquake intensities: a case study of the municipal zone 9 of Tehran, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, DOI: 10.1080/10807039.2018.1556086.
15. Thome, K., B. Markham, J. Barker, P. Slater, & S. Bigger, 2010, "Radiometric calibration of Landsat", Photogram. Eng. & Remote Sens. 63:853-858

24. Nazmfar, H. (2017). Urban development predictions direction of using a combination GIS and Bayesian the probabilistic model (case study: Ardabil), Human Geography Research Quarterly, 49, 357-370. (In Persian)
- Journal Management System. 5(15): 49-68.
23. Palluconi, F. D., 2010, "Validation of the ASTER thermal infrared surface radiance data product". Proc. SPIE. 2820:97-104.