نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.2, Summer 2019

۲۱-۴۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی بااستفاده از آنالیز دقت برآورد سرب، پارامترهای تصویری و داده‌های طیف‌سنجی میدانی

روح‌الله گودرزی[۱]، مهدی مختارزاده[۲]، محمدجواد ولدان زوج[۲*]

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی وژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیارگروه فتوگرامتری و سنجش ازدور، دانشکده مهندسی ژئودزی وژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

چکیده

تأثیر خطای ناشی از ارتفاع و ناهمواری سطح زمین بر مقدار رادیانس ثبت شدهٔ تصاویر ماهواره‌ای، احتمال کاهش دقت نتایج خروجی الگوریتم‌های اعمال شده بر روی تصاویر را افزایش خواهد داد. بدین منظور برای کاهش اثر توپوگرافی روی تصاویر، مدل‌های تصحیح مختلفی براساس نوع برهم‌کنش نور و سطح زمین تعریف شده‌اند. با توجه به یکسان نبودن تاثیر انواع تصحیحات، در این پژوهش، تصحیحات توپوگرافی از جمله مدل‌لامبرتین(مدل کسینوس‌ها) و مدل‌های غیرلامبرتین (مدل‌های مینه‌آرت و تصحیح C) بر روی تصاویر لندست از محدودهٔ ایرانکوه اصفهان اعمال شدند. به منظور ارزیابی این مدل‌ها، پارامترهای آماری (اختلاف میانگین و انحراف معیار هر باند) تصاویر قبل و بعد از تصحیح، پارامترهای مبنی بر داده‌های طیف‌سنجی (زاویهٔ شباهت و فاصلهٔ اقلیدسی) و تأثیر تصحیحات بر دقت برآورد سرب از تصاویر با مدل رگرسین خطی مورد استفاده قرار گرفت. باتوجه به نتایج حاصل از ارزیابی به سه روش ذکر شده، مدل کسینوس‌ها نسبت به مدل‌های غیرلامبرتین عملکرد ضعیفی جهت رفع اثر توپوگرافی از خود نشان داد. دقت کلی زاویه شباهت بالاتر از ۰٫۹۷ بین طیف تصویر و دادهٔ طیف‌سنجی برای مدل مینه‌آرت و کسینوس‌ها به ترتیب برابر با ۰٫۹۷۳ و ۰٫۸۹۱ حاصل شد و همچنین مقدار ۰٫۸۳ خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) و ۰٫۶۵ ضریب تعیین ($2R$) ناشی از مدل رگرسیون بر تصویر لندست۸ تصحیح شده با مدل مینه‌آرت، عملکرد بهتر مدل مینه‌آرت را نشان داد.

کلید واژه‌ها: تصحیح توپوگرافی، سرب خاک، مدل رگرسیون خطی و طیف‌سنج SVC .

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران ، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۸۷۷۰۷۱

Email : valadanzouj@kntu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

۱- مقدمه

فناوری سنجش از دور[1] به عنوان یکی از تکنولوژی‌های نوین، امروزه مورد توجه بسیاری از محققان علوم کشاورزی، زمین‌شناسی و محیط زیست است[۱، ۲ و۳]. اصل مفهومی این فناوری، منحصر به فرد بودن طیف بازتابی امواج الکترومغناطیس اجسام خواهد بود. دلیل این امر تأثیرپذیری امواج الکترومغناطیس از خواص فیزیکی و شیمیایی مواد هنگام تعامل با اجسام است [۴و ۵]. با توجه به ایده‌ال نبودن شرایط محیطی، مقادیر ثبت شده رادیانس در تصاویر ماهواره‌ای همراه با خطا خواهند بود. محققان علوم مختلف هنگام استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، جهت افزایش دقت نتایج، ملزم به حذف و یا کاهش خطاهای محیطی از جمله اثر توپوگرافی هستند [۵،۶،۷،۸و۹]. به عبارت دیگر اثر توپوگرافی، بر روی سیگنال ثبت شده در تصاویر اپتیک برای محدوده‌های ناهموار زمین مشهودتر بوده به گونه‌ای که مناطق پشت به آفتاب تاریک‌تر دیده می‌شوند. بنابراین وضعیت پستی و بلندی یک منطقه باعث ایجاد اثراتی چون سایه زمین[2]، اثر شیب، اثر بیشترین شیب[3]، واریانس ناشی از همسایگی، اختلاف در زاویه تابش و در نهایت باعث افزایش اختلاف بین مقادیر بازتابی گونه‌های مختلف از عوارض می‌شود [۱۰و۱۱]. به منظور برطرف نمودن خطاهای ناشی از عامل توپوگرافی، مدل‌های تصحیح توپوگرافی لامبرتین و غیرلامبرتین براساس نوع تعامل نور و سطح اجسام تعریف می‌شود که در ادامه این مدل‌ها به تفصیل تشریح خواهند شد [۱۲،۱۳،۱۴و۱۵].

نسبت باندی یکی از روش‌های تصحیح توپوگرافی، به دلیل عدم نیاز به داده کمکی و فرض عدم وابستگی مقدار تصحیح آن به طول‌موج باندهای تصویر، به عنوان ساده‌ترین روش تصحیح شناخته می‌شود [۱۶، ۱۷و۱۸]. مدل‌های فیزیکی، تجربی آماری و نیمه‌تجربی مبتنی بر معادله تابشی نور جزء دسته دوم مدل‌های تصحیح توپوگرافی خواهند بود. بر خلاف مدل نسبت‌باندی، پارامترهای مربوط به زمین از جمله زاویه بزرگترین شیب، زاویه آزیموت و زاویه برخورد محلی و پارامترهای موقعیت خورشید، داده‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی مدل‌های دسته دوم می‌باشند [۱۷]. دسته‌بندی دیگر برای مدل‌های تصحیح توپوگرافی براساس مشخصات انعکاسی سطح می‌باشد که در دو دسته لامبرتین[4] و غیرلامبرتین دسته‌بندی می‌شوند که به عنوان نمونه مدل تصحیح کسینوس‌ها از نوع مدل لامبرتین و مدل‌های تصحیح مینه‌آرت و c از نوع مدل‌های غیرلامبرتین در نظر گرفته می‌شوند [۱۶]. شکل (۱) دسته‌بندی مربوط به تصحیحات توپوگرافی را نشان می‌دهد.

فرض اساسی روش لامبرتین، انعکاس یکسان نور در تمام جهات و در نتیجه ثابت بودن مقدار ضریب تصحیح برای تمام باندها و عدم وابستگی به طول موج می‌باشد [۶, ۱۰, ۱۳و۱۶]. در روش‌های غیرلامبرتین برخلاف روش لامبرتین، ثابت نبودن انعکاس در جهات مختلف و وابستگی مقدار ضریب تصحیح به طول موج نور بازتابی فرض اساسی در نظر گرفته می‌شود که به منظور تصحیح، از مدل تابع توزیع بازتابندگی[5] استفاده می‌کنند [۱۶]. لازم به ذکر است وابستگی مقدار ضریب تصحیح به نوع عارضه، وابستگی به طول موج، آگاهی از هندسه عکس‌برداری، دسترسی به اطلاعات جانبی از جمله مدل رقومی زمین، موجب پیچیدگی پیاده‌سازی این مدل‌ها خواهند شد [۱۳].

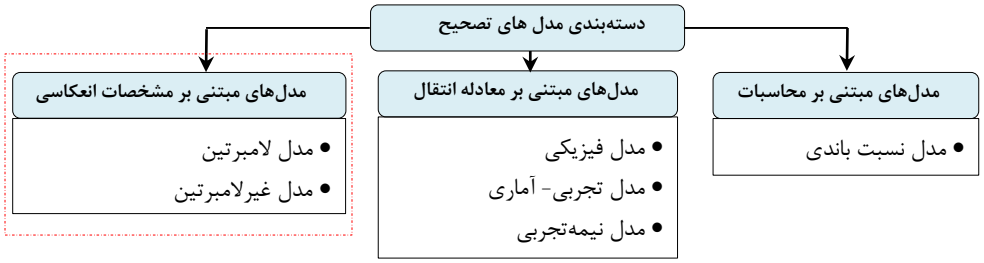
اما علاوه بر موارد ذکر شده دو معضل عمده در پیاده‌سازی و ارزیابی تصحیحات توپوگرافی وجود دارد که عبارتند از:

- استراتژی‌های گوناگون جهت انتخاب نمونه آموزشی به منظور برآورد ضرایب تصحیح؛

[1] *Remote sensing*
[2] *Traian shadow*
[3] *Aspect effect*
[4] *Lambertin method*
[5] *Bidirectional reflectance distribution function*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

- استفاده از مقایسه پارامترهای آماری تصاویر قبل و بعد از تصحیح (میانگین، انحراف معیارو...) به‌عنوان معیارهای ارزیابی مدل‌های توپوگرافی.



شکل ۱: دسته‌بندی مدل‌های تصحیح توپوگرافی

با توجه به دو مشکل مذکور در این تحقیق از تمام پیکسل‌ها به منظور برآورد ضرایب تصحیح استفاده شد و علاوه بر پارامترهای آماری تصویر مبنا، از دو دسته معیار دیگر نیز استفاده شده است که عبارتند از: پارامترهای مستخرج داده‌های طیف سنجی (زاویه شباهت و فاصله اقلیدسی) و ارزیابی دقت برآورد سرب خاک از تصاویر با اعمال تصحیحات توپوگرافی. به‌عبارت دیگر هدف از این پژوهش ارزیابی اعمال مدل‌های تصحیح توپوگرافی لامبرتین (کسینوس‌ها) و غیرلامبرتین (مینه‌آرت و تصحیح C) بر روی سری تصاویر لندست با استفاده از سه دسته معیار مذکور می‌باشد. در ادامه مروری بر تحقیقات و مطالعات پیشین شده است.

ریچر[1] و همکاران مدل‌های مختلف تصحیح توپوگرافی غیرلامبرتین را بر روی تصاویر لندست ۵، لندست۷ و اسپات مورد ارزیابی قراردادند که در آن از کمیت CV[2] و تفسیر بصری ناشی از اطلاعات تصویر قبل و بعد از تصحیح به عنوان معیارهای ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی استفاده شده است. با توجه به معضلات بیان شده، توصیه می‌شود از منابع دقیق‌تر جهت ارزیابی اعمال مدل تصحیح توپوگرافی استفاده شود که البته در این تحقیق در نظر گرفته نشده است [۱۳].

همان‌طور که گفته شد؛ وجود استراتژی‌های مختلف انتخاب نمونه آموزشی جهت تعیین ضرایب تصحیح به عنوان یک مسئله در اعمال تصحیحات مطرح می‌باشد. بنابراین لوو[3] و همکاران ضمن استفاده از مدل مینه‌آرت، به منظور محاسبه ضریب تصحیح از استراتژی خاصی برای نمونه‌گیری استفاده کردند که در آن پیکسل‌های با زاویه برخورد محلی کمتر از ۱ درجه حذف شدند. ابتکار به کار گرفته شده در این تحقیق استفاده از اطلاعات بافت و کمیت هموژنیته برای ارزیابی مدل‌ها است که در نهایت از اطلاعات تصویر استخراج شده و برای ارزیابی صحت مناسب نمی‌باشند. ضمن اینکه مقدار این کمیت وابسته به ابعاد پنجره جستجو می‌باشد[۱۹].

همچنین در راستای انتخاب نمونه‌های آموزشی برای برآورد ضرایب تصحیح، رسه[4] و همکاران با اعمال سه استراتژی مختلف نمونه‌گیری به ارزیابی دقت و صحت ضرایب تصحیح مدل‌های توپوگرافی پرداختند. در این تحقیق مشخص شد؛ دقت محاسبه این ضریب وابسته به زاویه برخورد محلی می‌باشد. البته شایان ذکر است که راه حل ثابتی برای انتخاب نمونه‌ها وجود ندارد. بنابراین با توجه به اثر نمودن مقادیر تمام پیکسل‌های تصویر در تعیین ضریب تصحیح، انتخاب تمامی پیکسل‌های تصویر، احتمال افزایش دقت را به همراه دارد که در این تحقیق برای محاسبه ضریب تصحیح از

[1] *Richter*
[2] *Coefficient of variation*
[3] *Lu*
[4] *Reese*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

تمام پیکسل‌های تصویر استفاده نشده است [۲۰].
ازآنجا که تصحیح توپوگرافی وابستگی زیادی به مدل رقومی زمین دارد؛ لذا یکی دیگر از مشکلات اعمال تصحیحات توپوگرافی بر روی تصاویر مختلف، عدم وجود مدل رقومی با دقت هندسی بالاست. بنابراین ژنگ[1] و همکارانش جهت بالا بردن دقت پیاده‌سازی مدل‌های غیرلامبرتین بر روی تصویر لندست ۷ ابتدا با استفاده از تصویر استریو استر مدل رقومی با قدرت تفکیک ۱۵ متر منطقه را تهیه نمودند [۱۰].
استفاده از اطلاعات مبتنی بر تصویر، به عنوان معیار بررسی و ارزیابی تصحیح توپوگرافی نمی‌تواند بیانگر صحت نتایج باشد بنابراین ارزیابی دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصاویر در کلاس‌های مختلف قبل و بعد از تصحیحات روش مناسبی برای ارزیابی صحت و دقت مدل‌های توپوگرافی است. مهم‌ترین ویژگی این روش استقلال ارزیابی از اطلاعات تصویر بوده و مبتنی بر دانش میدانی است. مهم‌ترین ایراد این روش وابستگی نتایج به عواملی چون تعداد نمونه تست، تعداد کلاس، الگوریتم طبقه‌بندی و .... است. بنابراین باتوجه به تأثیر خطای توپوگرافی بر نتایج طبقه‌بندی، فوردر و همکارانش مدل‌های مختلف تصحیح توپوگرافی را بر روی تصاویر *TM* اعمال نمودند و دقت کلاس‌بندی تصویر قبل و بعد از تصحیح توپوگرافی را به عنوان معیار ارزیابی اعمال مدل‌ها در نظر گرفتند [۱۶]. همچنین فانوچن[2] به همراه همکارانش تأثیر تصحیحات توپوگرافی را بر روی دقت طبقه‌بندی نوع پوشش اراضی بررسی نمودند که در تحقیق مذکور به منظور ارزیابی دقت تصحیحات از ضریب کاپا استفاده شده است که بالا رفتن دقت طبقه‌بندی بعد از اعمال مدل‌های توپوگرافی بیانگر تأثیر این تصحیحات در کاهش خطای ناشی از ناهمواری زمین می‌باشد [۱۷]. همچنین وی و همکارانش در تحقیق دیگری تاثیر اثر توپوگرافی و اتمسفری را بر طبقه‌بندی درختان به روش ترکیب تصاویر[3] نیز مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. از دیگر تحقیقات در این زمینه می‌توان به پژوهش اسکات اشاره نمود که در آن اثر توپوگرافی بر روی مناطق جنگلی با زاویه شیب بالا را مورد ارزیابی قرار داده است [۲۱]. موریرا[4] و همکارانش به منظور بهبود عملکرد تصاویر ماهواره‌ای جهت طبقه‌بندی شیءگرا از مدل‌های تصحیح توپوگرافی استفاده کردند که با توجه به افزایش دقت طبقه‌بندی از ۰٫۸۱ به ۰٫۹۱ قبل و بعد از تصحیح، مدل‌های غیرلامبرتین عملکرد بهتری از خود نشان دادند [۲۲].
استفاده از نتایج و دقت آشکارسازی تغییرات نیز می‌تواند معیار مناسبی برای ارزیابی اعمال تصحیحات رادیومتریک از جمله توپوگرافی در نظر گرفته شود. از این رو ویسینی[5] و همکارانش با ارائه‌ی مدل تجربی توپوگرافی بر روی تصاویر چند زمانه *TM* مقدار خطای ناشی از این عامل را در آشکارسازی تغییرات کاهش دادند. در این روش اساس تصحیح، رابطه خطی بین رادیانس و مقدار زاویه برخورد i می‌باشد. لازم به ذکر است که دقت ناشی از پیاده‌سازی الگوریتم آشکارساز تغییرات به عنوان معیار ارزیابی در نظر گرفته شده است [۹].
برای مناطق با ناهمواری فراوان اعمال تصحیحات توپوگرافی در برآورد دقیق بیومس مبتنی بر شاخص‌های گیاهی از اهمیت بالایی برخوردار است. گائو[6] به همراه همکارانش پنج مدل لامبرتین و غیرلامبرتین توپوگرافی را بر روی تصویر *zy3* اعمال کرده و اثر این تصحیحات را بر بیومس درختچه‌های منطقه مورد ارزیابی قرار دادند، در این تحقیق برخی از پارامترها به صورت میدانی اندازه‌گیری شدند؛ بنابراین ضریب همبستگی رگرسیون بیومس به عنوان معیار مناسبی در ارزیابی تصاویر تصحیح شده مورد استفاده قرار گرفت [۲۳].

[1] *Zhang*
[2] *Vanonckelen*
[3] *Pixel based image composite*
[4] *Moreira*
[5] *Vincini*
[6] *Gao*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

با بررسی و مروری بر تحقیقات انجام شده، غالباً برای ارزیابی تصاویر تصحیح شده، از معیارها و پارامترهای مبتنی بر اطلاعات تصویری استفاده شده است. در برخی موارد کاربردی، از دقت طبقه‌بندی تصاویر به عنوان معیار دیگر بهره گرفته شد. در این تحقیق جهت بررسی صحت و دقت مدل‌ها از منابع معتبری مبتنی بر داده‌های طیف‌سنجی و آنالیز دقت برآورد سرب خاک با هدف مقایسه مدل‌های لامبرتین و غیرلامبرتین استفاده شده است. این تحقیق در چهار بخش مجزا ارائه شده است، بخش اول در برگیرنده مروری بر تحقیقات انجام شده و اهداف تحقیق می‌باشد. بخش دوم، اطلاعاتی درباره منطقه مورد مطالعه، داده‌های مورد استفاده در تحقیق، مدل رگرسیون خطی به منظور برآورد سرب خاک، مدل‌های تصحیح توپوگرافی و معیارهای ارزیابی را به تفکیک دربر می‌گیرد. در بخش سوم، نتایج حاصل از پیاده‌سازی مدل‌های توپوگرافی بر تصاویر مختلف به صورت کامل تشریح شده است. بخش چهارم نیز به صورت مختصر شامل نتیجه‌گیری‌و جمع‌بندی است.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش منطقه مورد مطالعه، داده‌های مورد استفاده، مدل رگرسیون خطی چندگانه[1] جهت برآورد سرب خاک، مدل‌های تصحیح توپوگرافی مورد استفاده در تحقیق به همراه معیارهای ارزیابی به صورت مختصر توضیح داده شده‌اند.

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ای به وسعت ۳۰۰۰ هزار هکتار با موقعیت جغرافیایی "۴۵ °۳۲ و "۴۵ °۵۱ واقع در ۱۹ کیلومتری جنوب اصفهان و دامنه‌های شمالی ایرانکوه به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است (شکل (۲)). مرتفع‌ترین نقطه ایرانکوه کوهی با ارتفاع ۲۴۵۰متر از سطح دریا است، در حالی که ارتفاع متوسط منطقه از سطح آب‌های آزاد ۴۸۰متر می‌باشد. باتوجه به شیب مخالف دامنه شمالی کوه، نسبت به نور خورشید، مقدار بازتابندگی ثبت شده در تصویر برای این دامنه کم می‌باشد. در حالی که روشنایی بالای دامنه جنوبی ایرانکوه ناشی از موافق بودن شیب با موقعیت خورشید می‌باشد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی از مجموعه داده‌ها به شرح ذیل استفاده شده است:

- تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸
- مدل رقومی زمین
- داده‌های طیف‌سنج *SVC*
- آنالیز سرب خاک با استفاده از دستگاه *ICP*

در ادامه هریک از داده‌های مورد استفاده در تحقیق به تفکیک تشریح شده است.

۲-۲-۱- تصاویر لندست و مدل رقومی زمین

لندست ۸ با دو سنجنده *OLI*[2] و *TIRS*[3] در تاریخ هشتم فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. این سنجنده شامل ۱۱ باند بوده که ۹ باند دارای رزلوشن ۳۰ متر، ۱ باند دارای رزلوشن ۱۵متر و ۲ باند محدوده حرارتی آن با رزلوشن ۱۰۰می‌باشد. تفاوت عمده تصاویر لندست۸ با لندست ۷ در باند۱ (*Ultra blue*) و باند ۹ این سنجنده می‌باشد. محدوده برداشت سنجنده ۱۷۰کیلومترشمالی‌جنوبی و ۱۸۳کیلومتر شرقی‌غربی می‌باشد [۲۴]. در جدول (۱)، مشخصات تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ قابل مشاهده می‌باشد.

همچنین در این پژوهش جهت اعمال تصحیحات از مدل رقومی *ASTERGDEM2*[4] استفاده شده‌است. سنجنده استر با توجه به قابلیت برداشت داده در حالت استریو، برای تولید مدل رقومی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سال ۲۰۰۱ از جفت تصویر استریو برای تولید مدل رقومی ۶۰ کیلومتری با رزلوشن ۱۰ تا ۳۰

[1] *Linear Regression Model*
[2] *Operational Land Imager*
[3] *Thermal Infrared Sensor*
[4] *Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer and Global Digital Elevation Model*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

متر استفاده شد [۲۵]. فرمت مورد استفاده برای این تصاویر *GEOTIFF*[1] بوده و درسیستم مختصات جغرافیایی[2] ارائه شده‌است دقت مکانی آن ۱ ثانیه کمانی(۳۰ متر) بوده، همچنین ژئویید مورد استفاده برای این مدل *EGM96*[3] در دیتم *WGS84*می‌باشد [۲۵].

۲-۲-۲- داده‌های طیف‌سنج

به منظور ارزیابی و بررسی صحت نتایج حاصل از اعمال مدل‌های تصحیح توپوگرافی، یکی از معیارها، مقایسه بین طیف پیکسل‌های تصویر و طیف متناظر حاصل از طیف‌سنجی زمینی همان پیکسل‌هاست. از آنجا که طیف‌سنجی به صورت نقطه‌ای صورت می‌گیرد؛ بنابراین در مرکز هر پیکسل یک مثلث متساوی‌الاضلاع با طول ۱۵ متر تصور نموده و عملیات طیف‌سنجی بر روی رئوس و مرکز مثلث مذکور انجام پذیرفت. در نتیجه به ازای هر پیکسل چهار طیف نماینده برداشت شده و میانگین آنان به عنوان طیف حاصل از طیف‌سنجی پیکسل مورد نظر درنظر گرفته شد. شایان ذکر است مطابق با شکل (۲)، ۳۸ پیکسل با توزیع مکانی مناسب از سطح منطقه به عنوان پیکسل‌های نمونه برداشت شد (نقاط سبزرنگ بیانگر موقعیت پیکسل‌های نمونه می‌باشد).

در این تحقیق جهت طیف‌سنجی از دستگاه *SVC* با یک دیوید سیلیکونی و دو دیوید ایندیم آرسنیک گالیم در محدوده طیفی ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر و با ۱۰۲۴باند طیفی استفاده شد[۲۶]. باتوجه به اختلاف تعداد باند تصاویر لندست و داده‌های طیف‌سنج، برای نمونه‌برداری طیفی[4] (همسان‌سازی طیف نمونه‌ها با طیف تصاویر لندست) از تابع پاسخ[5] سنجنده استفاده شد(شکل(۳)) [۲۷].

۲-۲-۳- آنالیز سرب نمونه‌ها

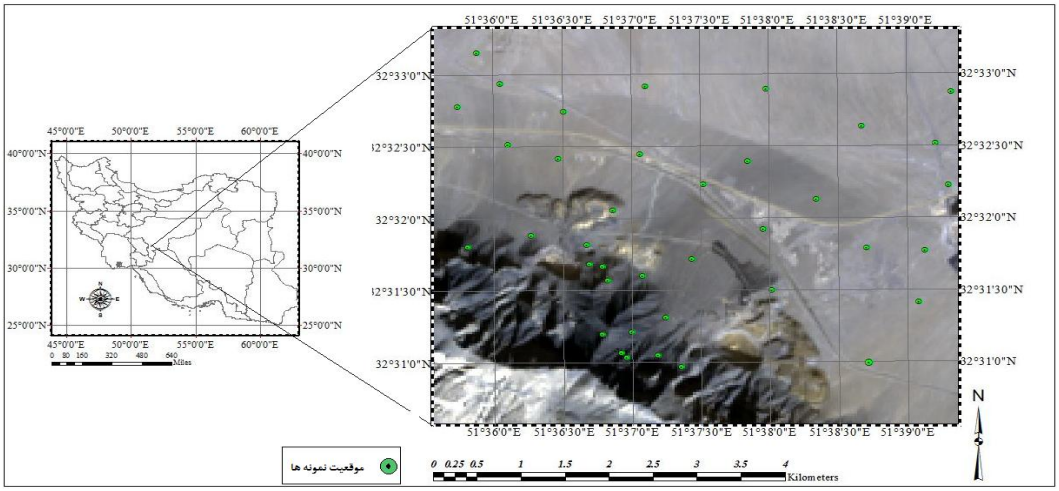
سومین روش به منظور ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی، بررسی دقت برآورد سرب خاک با روش رگرسیون خطی بعد از اعمال تصحیح توپوگرافی است. بنابراین نمونه‌های برداشت شده که در قسمت قبل نحوه برداشت آنان تشریح شد؛ به آزمایشگاه خاک انتقال یافته و با استفاده از دستگاه *ICP*[6] (پلاسمای جفت شده القایی) مقدار سرب‌شان اندازه‌گیری شد. پارامترهای آماری مربوط به اندازه‌گیری سرب نمونه‌های خاک در جدول (۲) قابل مشاهده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸

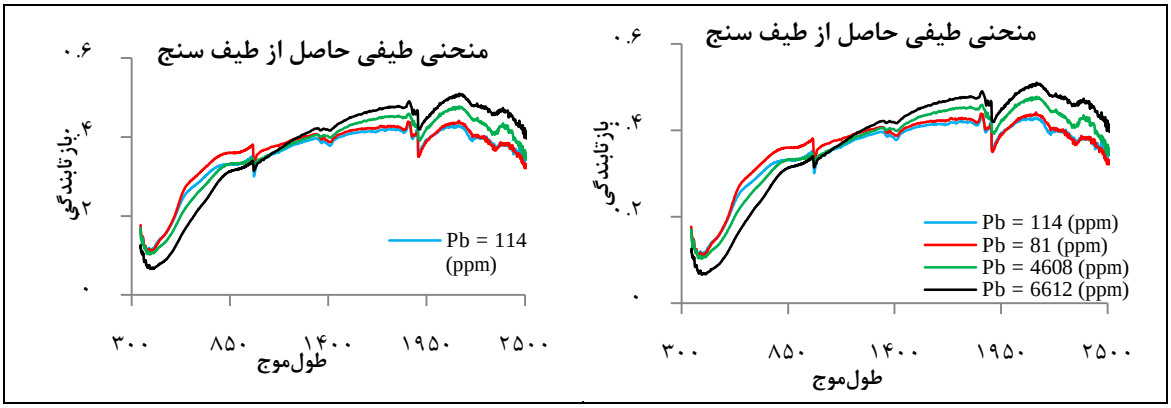
	تاریخ پرتاب	حد تفکیک مکانی	حد تفکیک زمانی	تعداد باند	پریود(دقیقه)	ارتفاع	زمان اخذ داده
لندست ۵ (*TM*[7])	مارس ۱۹۸۴	۳۰ تا ۱۲۰ متر	۱۸ روز	۷	۹۸/۷	۷۰۵	مارس ۲۰۱۳
لندست ۷ (*ETM+*[8])	آوریل ۱۹۹۹	۱۵ تا ۶۰ متر	۱۶ روز	۸	۹۸/۸	۷۰۵	می ۲۰۱۳
لندست ۸ (*OLI/TIRS*)	فوریه ۲۰۱۳	۱۵ تا ۱۰۰ متر	۱۶ روز	۱۱	۹۸/۸	۷۰۵	نوامبر ۲۰۱۳

[1] *Georefrenced Tagged Image File Format*
[2] *Geography System*
[2] *Earth Gravitational Model*
[4] *Spectral Resampling*
[5] *Response Function*
[6] *Inductively Coupled Plasma*
[7] *Thematic Mapper*
[8] *Enhanced Thematic Mapper Plus*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]



شکل ۲: منطقه مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌ها جهت انجام طیف‌سنجی



شکل ۳: (الف)، منحنی طیفی حاصل از طیف‌سنجی.(ب) منحنی طیفی نمونه‌برداری‌شده

جدول ۲: پارامتر آماری مقادیر غلظت سرب خاک

	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	انحراف معیار
مقدار سرب (*ppm*)	۱۲۴۲٫۱۱۴	۹۷۹۷	۶۰٫۳۶	۲۱۱۸٫۰۸۴
لگاریتم مقدار سرب	۶٫۰۶۰۹	۹٫۱۸۹۸	۴٫۱۰۰۳	۱٫۴۲۸۷

۲-۳- مدل‌های تصحیح توپوگرافی

در این بخش به صورت مختصر تئوری مدل‌های تصحیح توپوگرافی مورد استفاده در تحقیق تشریح شده‌اند. مدل کسینوس‌ها، مدل مینه‌آرت و مدل تصحیح C به منظور پیاده‌سازی تصحیحات توپوگرافی در نظر گرفته شده‌اند.

۲-۳-۱- مدل تصحیح توپوگرافی کسینوس‌ها

مدل کسینوس‌ها از دسته مدل‌های لامبرتین تصحیح توپوگرافی بوده که با توجه به ثابت بودن ضریب تصحیح این مدل برای تمام باندها و عدم وابستگی خطا نسبت به طول موج، یکی از ساده‌ترین روش‌های تصحیح

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

توپوگرافی محسوب می‌شود. وابستگی این مدل به زاویه برخورد محلی نور خورشید، باعث تغییر مقدار تصحیح به ازای هر پیکسل خواهد شد [۱۲, ۱۳و۲۰].

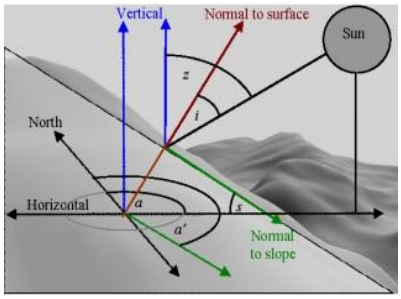
رابطه (۱) نحوه‌ی محاسبه مقدار بازتابندگی تصحیح شده با استفاده از مدل کسینوس‌ها را نشان می‌دهد [۱۲, ۱۷, ۱۸و۲۰].

در رابطه(۱) پارامتر L_H مقدار بازتابندگی تصحیح شده برای یک پیکسل، پارامتر L_T بیانگر بازتابندگی اولیه‌ی قبل از تصحیح و Z زاویه زنیت خورشید قابل استخراج از فایل همراه تصویر و i زاویه برخورد محلی (*Local incidence angle*) سطحی برای هرپیکسل بوده که از رابطه مثلثات کروی (رابطه (۲)) تعیین می‌گردد[۵, ۱۲, ۱۳و۲۰].

$$L_H = L_T\left(\frac{\cos(z)}{\cos(i)}\right) \qquad \text{رابطه(۱)}$$

$$\cos(i) = \cos(z)\cos(s) + \sin(z)\sin(s)\cos(a - a') \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه(۲) i زاویه برخورد محلی، z زاویه زنیت خورشید[۱]، s زاویه شیب زمین[۲]، a زاویه آزیموت خورشید و a' زاویه زاویه بزرگترین شیب زمین می‌باشند [۶, ۱۶]. مقدار زاویه i به ازای هر پیکسل تصویر، خروجی رابطه (۲) خواهد بود که به دو پارامتر مرتبط با شرایط محیطی زمین یعنی زاویه شیب زمین و زاویه بزرگترین شیب[۳] وابسته است. محاسبه‌ی زاویه بزرگترین شیب و زاویه شیب زمین، به مدل رقومی زمین از منطقه وابسته می‌باشد [۷]. زاویای آزیموت خورشید و زاویه زنیت خورشید نیز از فایل همراه تصویر قابل استخراج خواهند بود [۲۰]. شکل(۴) نمای کلی از پارامترهای معرفی شده در رابطه(۲) را نشان می‌دهد.



شکل ۴: پارامترهای لازم برای تصحیح توپوگرافی [۲۰]

۲-۳-۲- مدل تصحیح توپوگرافی *C*

با توجه به ثابت بودن ضریب تصحیح کسینوس‌ها برای تمام باندها و همچنین وجود خطای تصحیح بیش ازحد[۴]، تعریف مدل‌های غیرلامبرتین راه حل مناسبی برای رفع معایب مدل کسینوس‌ها است[۱۶]. مدل C ساده‌ترین مدل غیرلامبرتین بوده که با اضافه شدن ضریب C به صورت و مخرج کسر رابطه (۱) مدل اصلاح شده‌ی کسینوس‌ها محسوب می‌شود. محاسبه پارامتر C با ایجاد رگرسیون خطی بین مقدار بازتابندگی پیکسل و کسینوس زاویه برخورد محلی متناسب با همان پیکسل، موجب وابستگی این مدل به طول موج خواهد شد. در رابطه(۳) مقدار بازتابندگی پیکسل‌های یک باند

[1] *Zenith solar angle*
[2] *Terrain slope*
[3] *Aspect*
[4] *Overcorrection*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

به عنوان متغیّر وابسته و مقدار کسینوس زاویه برخورد محلی به عنوان متغیّر مستقل در نظر گرفته می‌شوند. با حل معادله رگرسیون خطی تک‌متغیره با روش کمترین مربعات دو پارامتر مجهول m و b محاسبه شده و نسبت این ۲ پارامتر بیانگر مقدار ضریب تصحیح برای آن باند در نظر گرفته خواهد شد[۴, ۱۳و۲۰].

رابطه(۳) $$L_T = b + m.(cos(i)) \quad , \quad c_k = \frac{b}{m}$$

L_T بازتابندگی تصویر قبل از تصحیح برای هر باند، i زاویه برخورد محلی به ازای هر پیکسل، b و m ضرایب مجهول رگرسیون در رابطه (۳) می‌باشند [۴, ۱۳, ۱۵و۲۰]. جهت حل معادله رگرسیون رابطه (۳) به روش کمترین مربعات، انتخاب نمونه‌های آموزشی[1] مناسب ضروری است [۱۲, ۱۳و۲۰]. در این تحقیق، تمام پیکسل‌های تصویر به عنوان نمونه آموزشی مورد استفاده قرار گرفته اند. رابطه (۴) معادله تصحیح توپوگرافی C را نشان می‌دهد.

رابطه(۴) $$L_H = L_T\left(\frac{cos(z) + c_k}{cos(i) + c_k}\right)$$

در رابطه (۴) پارامتر C ضریب تصحیح باندk، z زاویه زنیت خورشیدی، L_T بازتابندگی تصویر قبل از تصحیح، L_H بازتابندگی تصحیح شده می‌باشد.

۲-۳-۳-مدل تصحیح توپوگرافی مینه‌آرت

یکی از مدل‌های غیرلامبرتین[2] با وابستگی شدید نسبت به طول موج، مدل مینه‌آرت است. محاسبه بازتابندگی تصحیح شده تصویر با استفاده از مدل مینه‌آرت براساس رابطه‌ی (۵) صورت می‌گیرد [۱۴, ۱۶, ۱۹, ۲۲و۲۳].

رابطه(۵) $$L_H = \frac{L_T\, cos(s)}{(cos(s)cos(i))^k}$$

L_H بازتابندگی تصحیح شده، L_T بازتابندگی تصویر قبل از تصحیح، i زاویه برخورد محلی، s زاویه شیب زمین، مولفه k ضریب تصحیح باند kم می‌باشد. مشکل اصلی معادله رابطه (۵) تعیین مقدار k بوده لذا مقدار ضریب تصحیح k برای هر باند ازمعادله رگرسیون رابطه(۶) محاسبه خواهد شد [۱۴, ۱۶, ۱۹, ۲۲و۲۳].

رابطه(۶) $$log(L_T cos(s)) = log(L_H) + klog(cos(s)cos(i))$$

در رابطه (۶) k مجهول معادله و به ازای هر پیکسل در هر باند معادله بالا صادق خواهد بود. برای محاسبه مقدار مجهول از روش کمترین مربعات با هدف مینیمم کردن بردار خطاها استفاده خواهد شد [۱۳].

۲-۴-مدل رگرسیون خطی چندگانه جهت برآورد سرب

مدل رگرسیون خطی چندگانه ساده‌ترین مدل خطی برای ایجاد ارتباط بین دودسته داده است[۲۸]. در این پژوهش مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای ایجاد ارتباط بین باندهای تصویر و مقدار سرب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه استفاده شده است. این مدل یک ترکیب خطی از متغیرهای مستقل (باندهای تصویر) و متغیرهای وابسته (مقدار سرب) ایجادمی‌کند [۲۸،۲۹،۳۰و۳۱]. رابطه (۷) شکل کلی برای رگرسیون چند متغیره را نشان می‌دهد.

رابطه (۷) $$y = a_0 + a_1x_1 + \ldots + a_nx_n + \varepsilon$$

در رابطه (۷)، x_i متغیرهای مستقل (باندهای تصویر)، y متغیر وابسته (مقدار سرب) و a_i ضرایب رگرسیون می‌باشند [۳۲]. معادله فوق براساس مینیمم نمودن پارامتر ε با روش کمترین مربعات حل می‌شود [۳۰].

۲-۵- معیارهای ارزیابی

با توجه به اینکه هدف پژوهش، بررسی صحت نتایج اعمال مدل‌های تصحیح توپوگرافی است؛ لذا معیارهای ارزیابی به سه دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه به

[1] *Train sample*

[2] *Non_lambertin method*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

صورت مفصل تشریح شده‌اند.

۲-۵-۱- پارامترهای مبتنی بر اطلاعات تصویر قبل و بعد از تصحیح

متداول‌ترین معیار ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی، استفاده از پارامترهای مستخرج از تصاویر قبل و بعد از تصویر می‌باشد که مهم‌ترین این پارامترها عبارتند از:

- **اختلاف میانگین (m) هر باند تصویر پردازش شده با باند متناظر در تصویر پردازش نشده:** از آنجا که اثر تصحیحات توپوگرافی ناچیز است و به عبارتی فقط موجب نرم‌ترشدن هیستوگرام تصویر می‌شود، بنابراین اختلاف میانگین باندها برای قبل و بعد از تصحیح، باید ناچیز باشد. بنابراین نزدیکی این پارامتر به صفر موید مناسب بودن و عملکرد بهتر مدل تصحیح خواهد بود [۱۳].
- **اختلاف انحراف معیار (σ) هر باند تصویر پردازش شده از باند متناظر تصویر پردازش نشده:** از نظر مفاهیم پردازش تصویر انحراف معیار در تصاویر نشان‌دهنده اطّلاعات است؛ بنابراین تغییر در انحراف معیار بیانگر تغییر در اطلاعات تصویر می‌باشد. براین‌اساس اگر اختلاف انحراف معیار برای قبل و بعد از تصحیح تصاویر به صفر نزدیک تر باشد، بیانگر عدم تغییر در اطلاعات با اعمال تصحیحات است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل می‌باشد [۱۳].
- **ضریب همبستگی (r) بین مقدار زاویه محلی و مقدار بازتابندگی هر باند تصویر بعد از تصحیح:** با توجه به اینکه یکی از عوامل ایجاد خطای توپوگرافی وابستگی شدید مقدار بازتابندگی به زاویه محلی است، بنابراین بعد از تصحیح می‌بایست مقدار این وابستگی کاهش یابد. مدل تصحیح توپوگرافی که موجب کاهش ضریب همبستگی زاویه برخورد محلی و مقدار بازتابندگی تصویر شود؛ عملکرد بهتری در کاهش و رفع خطای توپوگرافی دارد [۹, ۱۳و۲۰].

۲-۵-۲- پارامترهای مبتنی بر اطلاعات طیف‌سنجی

وجه تمایز این پژوهش، استفاده از داده‌های طیف‌سنج به منظور ارزیابی صحت نتایج حاصل از اعمال تصحیحات توپوگرافی است که بدین منظور دو پارامتر زاویه شباهت و فاصله اقلیدسی استفاده شده است.

۲-۵-۲-۱-درصد تشابه طیف حاصل از طیف‌سنجی و طیف متناظر تصویری به کل (دقت کلی زاویه شباهت)

با توجه به اینکه ۳۸ پیکسل از محدوده، طیف‌سنجی شده‌اند؛ لذا بررسی تشابه طیف حاصل از طیف‌سنجی و طیف تصویر پردازش شده با اعمال مدل توپوگرافی یکی از معیارهای ارزیابی صحت نتایج می‌باشد. یکی از متداول‌ترین پارامترهای بررسی تشابه دو دسته طیف، استفاده از زاویه شباهت است. بدین منظور زاویه شباهت هر ۳۸ پیکسل از رابطه (۸) محاسبه شده و تعداد پیکسل‌هایی که دارای زاویه شباهت بیشتر از ۱۰،۱۲،۱۴و۱۶ درجه هستند؛ بر تعداد کل پیکسل‌ها تقسیم و به عنوان درصد تشابه (دقت کلی) برای مدل در نظر گرفته خواهد شد. مدل تصحیح توپوگرافی که دارای درصد تشابه (دقت کلی) بیشتری باشد، عملکرد بهتری نسبت به دیگر مدل‌های تصحیح در رفع و کاهش خطای توپوگرافی خواهد داشت [۳۳و۳۴]

$$cos(\theta)=\frac{f(\lambda).e(\lambda)}{\|f(\lambda)\|.\|e(\lambda)\|}$$ رابطه (۸)

در رابطه (۸)، θ زاویه بین دو بردار (طیف تصویر و طیف حاصل از طیف سنجی)، f بردار طیفی پیکسل موجود در تصویر و e بردار طیفی حاصل از نمونه‌برداری‌مجدد طیف‌سنج با استفاده از تابع پاسخ سنجنده می‌باشند.

۲-۵-۲-۲- میانگین فاصله اقلیدسی طیف حاصل از طیف‌سنجی و طیف متناظر تصویری

استفاده از زاویه شباهت به تنهایی نمی‌تواند بیانگر شباهت دو دسته طیف باشد، مطابق شکل (۵)، ممکن است دو طیف دارای زاویه شباهت مناسبی بوده اما

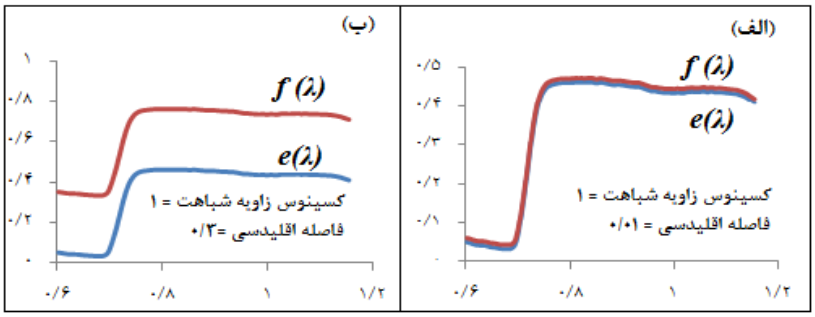
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

فاصله دو دسته طیف زیاد باشند. بنابراین مدلی که دارای درصد تشابه بیشتر به همراه میانگین فاصله اقلیدسی کمتر باشد؛ از عملکرد بهتری برخوردار خواهد بود.

۲-۵-۳- پارامترهای ارزیابی دقت برآورد سرب

استفاده از دقت برآورد سرب با روش رگرسیون خطی چندگانه به ازای ۳۸ پیکسل از تصاویر تصحیح شده، به‌عنوان معیار دیگر ارزیابی صحت نتایج تصحیح توپوگرافی در نظر گرفته شد. به منظور بررسی دقت برآورد سرب در این پژوهش از پارامترهای ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) استفاده شد که در جدول(۳) نشان داده شده است[۲۶، ۳۰و۳۵].



شکل ۵: دو دسته طیف با زاویه شباهت یکسان و فاصله اقلیدسی متفاوت.

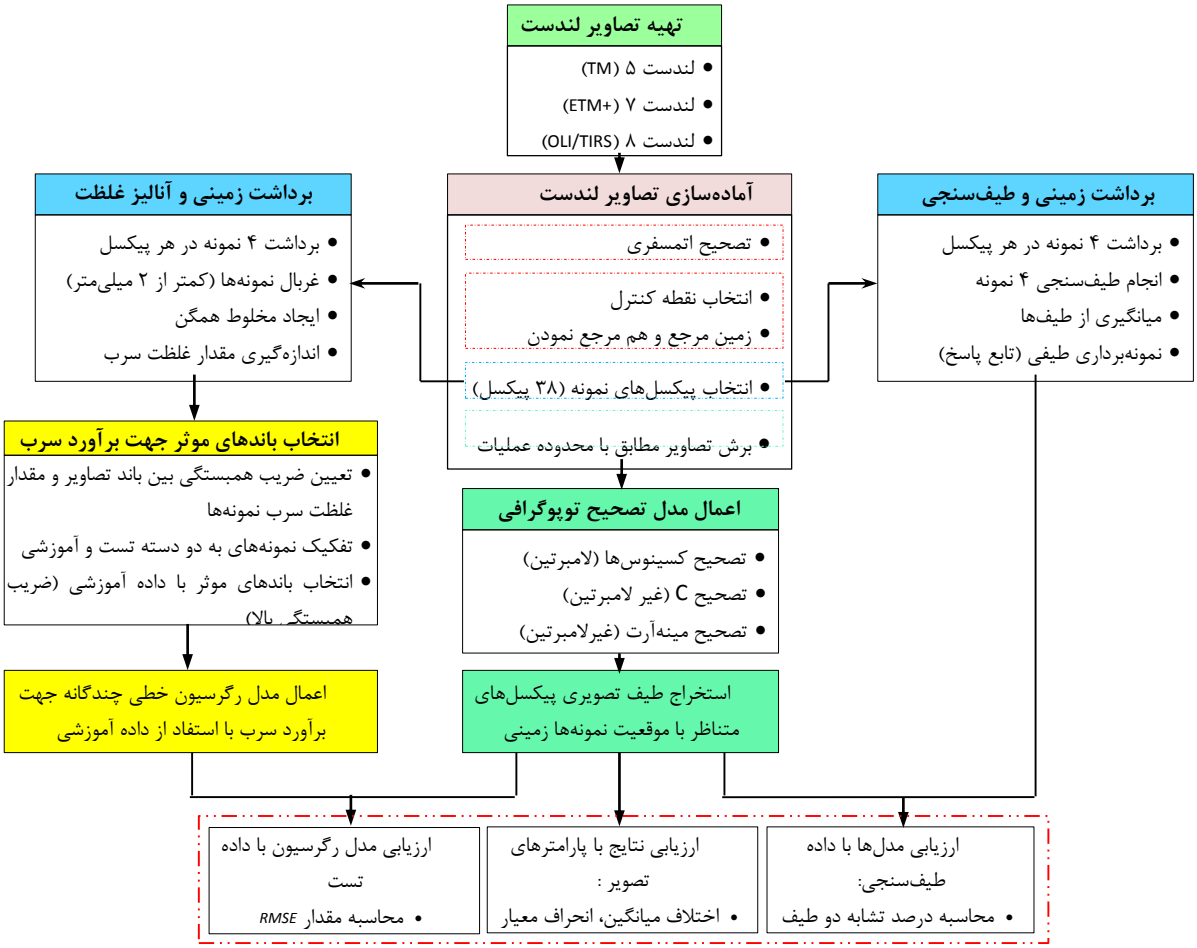
جدول ۳: پارامترهای ارزیابی دقت برآورد سرب

نام پارامتر	فرمول		توضیحات
خطای جذر میانگین مربعات	رابطه (۹)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i^{pre} - y_i^{mea})^2}{n}}$	هرچقدر مقدار این کمیت پایین تر باشد موید عملکرد مناسب‌تر مدل خواهد بود (مرجع دهی).
ضریب تعیین	رابطه (۱۰)	$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_i^{mea} - \bar{y})^2}{\sum(y_i^{pre} - y_i^{mea})^2}$	مقدار ضریب تعیین بین صفر ویک است. هرچقدر این ضریب بالاتر باشد موید عملکرد بهتر مدل می‌باشد (مرجع دهی).

۲-۶- گردش کار روش پیشنهادی

مراحل کلی اعمال تصحیحات توپوگرافی مورد استفاده در این پژوهش بر روی تصاویر لندست۵، ۷ و ۸ به همراه نحوه ارزیابی صحت نتایج در فلوچارت شکل (۵) قابل مشاهده است. همان‌طور که از فلوچارت شکل(۶) مشاهده می‌شود؛ روش اجرا در این پژوهش از چهار بخش عمده تشکیل شده است. آماده‌سازی تصاویر (تصحیح اتمسفری، تصحیح هندسی و برش تصویر مطابق با محدوده عملیات) بخش اول گردش کار است. در بخش دوم (عملیات زمینی)، به منظور جمع‌آوری اطلاعات عملیات برداشت نمونه‌ها صورت می‌گیرد. انجام آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک به همراه طیف‌سنجی نمونه‌ها بخش سوم (عملیات آزمایشگاهی) اجرا را شامل می‌شود. در پایان اجرای پژوهش، تصحیحات توپوگرافی بر روی تصحیحات اعمال و مدل رگرسیون خطی به‌منظور برآورد سرب نمونه‌ها به‌عنوان بخش چهارم (عملیات ستادی) پیاده‌سازی می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]



شکل ۶: فلوچارت و گردش کار ارزیابی نتایج تصحیحات توپوگرافی

مراحل انجام کار به صورت کلی عبارتند از :

الف) انجام پیش‌پردازش‌ها: بعد از دانلود تصاویر سری لندست، انجام پردازش‌های اولیه از جمله تصحیح اتمسفری و هندسی امری ضروریست. به‌منظور تبدیل مقادیر درجه خاکستری تصویر به مقادیر بازتابندگی، مدل اتمسفری *FLAASH*[1] استفاده شد. انجام تصحیحات هندسی تصاویر شامل دو بخش می‌باشد؛ بخش اول زمین مرجع نمودن باند پن تصویر لندست ۸ با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰، ۱:۲۰۰۰ و نقاط برداشتی از منطقه می‌باشد و بخش دوم مربوط به هم‌مرجع نمودن سایر تصاویر با استفاده از تصویر پن زمین مرجع شده در بخش اول می‌باشد. کلیه اقدامات مربوط به پیش پردازش تصاویر با نرم‌افزار انوی[2] انجام پذیرفت.

ب) انتخاب پیکسل‌های نمونه: به منظور انتخاب پیکسل‌های نمونه از معیارهای مختلفی چون توزیع

[1] *Fast Line-Of-Sight Atmospheric Analysis Of Spectral Hypercubes*

[2] *ENVI*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

نمونه‌ها با پراکندگی مناسب در سطح محدوده تصویر، موقعیت آبراهه‌ها، دسترسی آسان به نمونه‌ها، نظر کارشناس خاک‌شناس معدن ایرانکوه، نقشه‌های پراکندگی غلظت سرب آرشیو شده و اطلاعات جانبی دیگر مثل نقشه خاک شناسی استفاده شد. با انتخاب موقعیت پیکسل‌های نمونه بر روی تصویر زمین مرجع شده، با توجه به اختلاط پیکسلی، ۴ نمونه در هر پیکسل به عنوان نماینده انتخاب شد.

ج) آنالیز آزمایشگاهی و طیف‌سنجی: نمونه‌های منتخب در مرحله قبل، جهت اندازه‌گیری طیف و غلظت سرب، به آزمایشگاه‌های مربوطه ارسال شدند. قبل از انجام آزمایش، ابتدا نمونه‌ها با استفاده از الک دو میلی‌متر غربال شدند.

د) اعمال تصحیحات به تصویر: سه مدل تصحیح توپوگرافی مورد نظر در این تحقیق بر روی سری تصاویر لندست اعمال شدند.

ه) ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی: ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی به سه شکل انجام پذیرفت. ارزیابی مدل با استفاده از پارامترهای آماری مستخرج از اطلاعات تصویر، استفاده از بررسی شباهت طیف ناشی از طیف‌سنجی و طیف تصویری متناظر با نقاط نمونه‌ای که به منظور بررسی صحت نتایج، حالت اول بسیار سودمند است. در پایان، بررسی آنالیز دقّت برآورد سرب از تصاویر تصحیح شده مورد نظر بود که با هدف بررسی نتیجهٔ تصحیحات بر الگوریتم‌های کاربردی، روی تصویر صورت گرفت.

۳- نتایج پیاده‌سازی

مطابق با فلوچارت شکل (۵)، ارزیابی نتایج حاصل از اعمال مدل‌های تصحیح توپوگرافی به سه طریق صورت می‌پذیرد. بنابراین در این بخش نتایج مربوط به هریک از روش‌های ارزیابی به صورت مجزا ارائه شده است.

۳-۱- ارزیابی مدل‌ها با پارامترهای مبتنی بر اطلاعات تصویر قبل و بعد از تصحیح

مقادیر اختلاف میانگین و انحراف معیار بازتابندگی پیکسل‌های تصاویر قبل و بعد از تصحیح در جدول‌های(۴)، (۵) و (۶) قابل مشاهده است[۱۳].

مطابق با مطالب بخش معیارهای ارزیابی، چنان‌چه اختلاف میانگین و انحراف معیار تصویر قبل و بعد از تصحیح برای هر مدل کمتر باشد؛ مدل تصحیح توپوگرافی عملکرد بهتر و مناسب‌تری در رفع و یا کاهش خطا دارد. بنابراین با توجه به مقادیر ارائه شده در جداول(۴)، (۵) و (۶) موارد و نتایج ذیل مشاهده شد:

- با مقایسه هر سه جدول مشاهده شد که مدل تصحیح توپوگرافی کسینوس‌ها نسبت به دو مدل دیگر عملکرد ضعیفی در رفع خطای ناشی از ناهمواری سطح زمین داشته و موجب اثر خطای بیش از حد شده است. به عبارت دیگر مدل‌های لامبرتین نسبت به مدل غیرلامبرتین توانایی کمتری در رفع خطای توپوگرافی دارد.
- مدل‌های تصحیح C و مدل مینه‌آرت تا حدود زیادی تأثیر یکسانی از نظر کاهش خطای توپوگرافی بر روی سه تصویر دارند.

به منظور بررسی اثر مدل‌های توپوگرافی بر روی تصاویر، همبستگی بین مقادیر بازتابندگی تصاویر تصحیح شده (باندهای ۱، ۲ و ۳) و مقدار زاویه برخورد محلی محاسبه شد (جدول (۷)).

همان‌طور که گفته شده؛ هرچه مقدار ضریب همبستگی بین کسینوس زاویه برخورد محلی و مقدار بازتابندگی تصاویر بعد از تصحیح کمتر باشد؛ نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل تصحیح توپوگرافی در رفع و کاهش خطای ناشی از ناهمواری سطح زمین است. بنابراین با بررسی جدول (۷) می‌توان مشاهده نمود که مدل تصحیح مینه‌آرت نسبت به دو مدل دیگر برای هر سه تصویر لندست عملکرد بهتری در رفع خطای توپوگرافی از خود نشان داده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

جدول ۴: مقادیر اختلاف میانگین و انحراف معیار بازتابندگی تصویر لندست ۵ قبل و بعد از تصحیح

مدل	پارامتر ارزیابی	باند۱	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶
تصحیح کسینوس‌ها	اختلاف میانگین	۰٫۰۲۸۶۹۷	۰٫۰۳۱۴۵۳	۰٫۰۳۵۲۴۹	۰٫۰۴۲۴۲۴	۰٫۰۵۵۹۶۲۰	۰٫۰۵۱۰۱۲
	اختلاف انحراف معیار	۰٫۰۴۵۳۶۴	۰٫۰۴۵۹۹۵	۰٫۰۴۸۹۴۴	۰٫۰۶۰۰۹۱	۰٫۰۸۶۳۲۷	۰٫۰۷۷۹۲۳
تصحیح C	اختلاف میانگین	۰/۰۰۰۴۹۵	۰/۰۰۰۸۳۴	۰٫۰۰۱۰۷	۰٫۰۰۱۷۸	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰۸۴۶
	اختلاف انحراف معیار	۰٫۰۰۰۰۹۶	۰٫۰۰۰۱۳	۰٫۰۰۰۱۶۴	۰٫۰۰۰۰۴	۰٫۰۰۰۲۴۶	۰٫۰۰۰۲۳۲
تصحیح مینه‌آرت	اختلاف میانگین	۰٫۰۰۲۷۶	۰٫۰۰۲۸۳۲	۰٫۰۰۳۰۴۲	۰٫۰۰۳۷۰۳	۰٫۰۰۵۲۳	۰٫۰۰۴۷۵
	اختلاف انحراف معیار	۰٫۰۰۰۹۸۳	۰٫۰۰۰۹	۰٫۰۰۱۲۷	۰٫۰۰۱۲۷۶	۰٫۰۰۰۵۲۱	۰٫۰۰۰۴۹۵

جدول ۵: مقادیر اختلاف میانگین و انحراف معیار بازتابندگی تصویر لندست ۷ قبل و بعد از تصحیح

مدل	پارامتر ارزیابی	باند۱	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶
تصحیح کسینوس‌ها	اختلاف میانگین	۰٫۲۰۰۰۲۱	۰٫۲۱۹۸۲۲	۰٫۲۵۶۷۷	۰٫۳۰۸۹۳	۰٫۳۶۸۰۳۴	۰٫۳۱۰۸۰۱
	اختلاف انحراف‌معیار	۰٫۰۹۴۶۰۴	۰٫۰۹۹۹۳۸	۰٫۱۱۳۴۹۲	۰٫۱۴۱۰۶۹	۰٫۱۶۹۷۱۷	۰٫۱۴۱۸۰
تصحیح C	اختلاف میانگین	۰٫۰۰۰۰۰۳	۰٫۰۰۰۰	۰٫۰۰۰۰۱۱	۰٫۰۰۰۰۰۹	۰٫۰۰۰۰۱۲	۰٫۰۰۰۰۰۹
	اختلاف انحراف‌معیار	۰	۰	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۸	۰٫۰۰۰۰۰۲	۰٫۰۰۰۰۰۱
تصحیح مینه‌آرت	اختلاف میانگین	۰٫۰۰۳۸۹۱	۰٫۰۰۴۱۵۷	۰٫۰۰۴۷۲۶	۰٫۰۰۵۸۲۵	۰٫۰۰۷۱۰۵	۰٫۰۰۵۹۵۶
	اختلاف انحراف‌معیار	۰٫۰۰۴۰۲۸	۰٫۰۰۴۰۰۶	۰٫۰۰۴۹۲۵	۰٫۰۰۵۹۵۵	۰٫۰۰۴۸۶۹	۰٫۰۰۳۹۱۲

جدول ۶: مقادیر اختلاف میانگین و انحراف معیار بازتابندگی تصویر لندست ۸ قبل و بعد از تصحیح

مدل	پارامتر ارزیابی	باند۱	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶
تصحیح کسینوس‌ها	اختلاف میانگین	۰٫۰۴۱۳۶۹	۰٫۰۳۹۱۲۱	۰٫۰۳۸۳۳۳	۰٫۰۴۳۸۳۲	۰٫۰۵۳۲۰۹	۰٫۰۵۸۰۲۲
	اختلاف انحراف‌معیار	۰٫۰۲۸۶۵	۰٫۰۱۷۱۷۳	۰٫۰۱۲۲۹۷	۰٫۰۱۱۲۷۲	۰٫۰۱۳۱۹۳	۰٫۰۱۹۰۱۳
تصحیح C	اختلاف میانگین	۰٫۰۰۱۷۷۲	۰٫۰۰۲۱۴۱	۰٫۰۰۳۱۲۳	۰٫۰۰۴۲۲۳	۰٫۰۰۴۹۸۶	۰٫۰۰۴۳۶۳
	اختلاف انحراف‌معیار	۰٫۰۰۰۱۱۲	۰/۰۰۰۷۳۵	۰٫۰۰۲۶۷۷	۰٫۰۰۴۸۹۰	۰٫۰۰۶۴۱۴	۰٫۰۰۶۳۰۴
تصحیح مینه‌آرت	اختلاف میانگین	۰٫۰۰۲۶۰۲	۰٫۰۰۲۲۶۰	۰٫۰۰۱۶۶۸	۰٫۰۰۱۳۸۶	۰٫۰۰۱۲۰۴	۰٫۰۰۱۳۲۲
	اختلاف انحراف‌معیار	۰٫۰۰۰۸۸	۰٫۰۰۰۱۶۵	۰٫۰۰۰۴۳۵	۰٫۰۰۰۵۷۴	۰٫۰۰۰۶۶۷	۰٫۰۰۱۱۸۵

جدول ۷ : ضریب همبستگی بین کسینوس زاویه برخورد محلی و مقدار بازتابندگی تصاویر تصحیح شده

	تصویر لندست ۵			تصویر لندست ۷			تصویر لندست ۸		
	باند۱	باند ۲	باند۳	باند۱	باند ۲	باند۳	باند۱	باند ۲	باند۳
تصحیح کسینوس‌ها	-۰٫۶۹	-۰٫۶۹	-۰٫۶۷	-۰٫۷۱	-۰٫۷۰	-۰٫۷۰	-۰٫۶۷	-۰٫۵۹	-۰٫۴۶
تصحیح C	۰٫۲۷	۰٫۲۸	۰٫۲۸	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
تصحیح مینه‌آرت	-۰٫۰۰۲	-۰٫۰۰۴	-۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۰۰۴	-۰٫۰۰۲	-۰٫۰۰۳	-۰٫۰۰۶

۳-۲- ارزیابی مدل‌ها با پارامترهای مبتنی بر اطلاعات طیف‌سنجی

استفاده از پارامترهای مبتنی بر اطلاعات تصویر به منظور ارزیابی مدل‌های تصحیح توپوگرافی، متداول‌ترین معیارها در این زمینه است در این پژوهش به منظور اطمینان از خروجی این مدل‌ها، از منابع معتبر و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

داده‌های طیف‌سنجی استفاده شده است. بدین منظور ۳۸ نمونه (به نمایندگی ۳۸ پیکسل) با توزیع مکانی مناسب از سطح منطقه برداشت و با طیف متناظر تصویری شان توسط پارامترهای زاویه شباهت و فاصله اقلیدسی مقایسه شدند. بنابراین در مرحله اول مقدار زاویه شباهت بین طیف همسان شده (نمونه‌برداری مجدد) حاصل از طیف‌سنجی و طیف متناظر تصویر (به ازای هر یک از نمونه‌ها) محاسبه و با تقسیم تعداد نمونه‌های مشابه به تعداد کل، پارامتر درصد تشابه (دقت کلی) تعیین شد. نمونه‌هایی با زاویه شباهت کمتر از ۱۶، ۱۴ ، ۱۲ و ۱۰ درجه به عنوان نمونه‌های مشابه در نظر گرفته شد. جدول (۸) مقدار دقت کلی مدل کمیت زاویه شباهت بر روی هر یک از تصاویر تصحیح شده با مدل‌های تصحیح توپوگرافی به همراه تعداد نمونه‌های متشابه (مقادیر داخل پرانتز) را نشان می‌دهد.

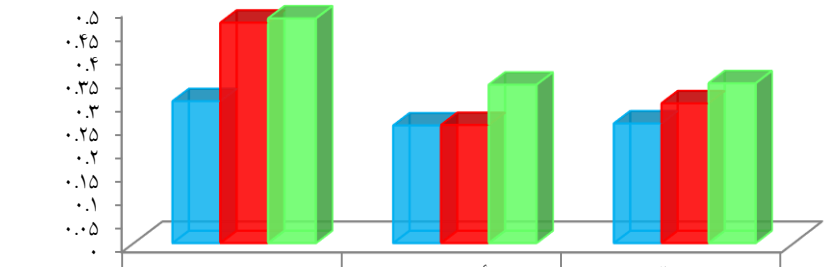
جدول ۸: دقت کلی میزان تشابه طیف نمونه‌ها (تعداد نمونه‌های متشابه) و طیف حاصل از اعمال مدل‌های توپوگرافی بر روی تصاویر

	لندست ۵			لندست ۷			لندست ۸		
	کسینوس	C	مینه‌آرت	کسینوس	C	مینه‌آرت	کسینوس	C	مینه‌آرت
۱۶ درجه ≤ زاویه شباهت	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)
۱۴ درجه ≤ زاویه شباهت	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۱(۳۵)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)
۱۲ درجه ≤ زاویه شباهت	۰/۸۹(۳۴)	۰/۸۹(۳۴)	۰/۸۹(۳۴)	۰/۸۶(۳۳)	۰/۸۶(۳۳)	۰/۸۹(۳۴)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)	۰/۹۷(۳۷)
۱۰ درجه ≤ زاویه شباهت	۰/۷۲(۲۸)	۰/۷۲(۲۸)	۰/۷۲(۲۸)	۰/۸۱(۳۱)	۰/۸۱(۳۱)	۰/۸۲(۳۲)	۰/۸۴(۳۲)	۰/۹۲(۳۶)	۰/۹۲(۳۶)

با بررسی جدول (۸) مشاهده می‌شود که بازتابندگی تصاویر تصحیح شده با مدل توپوگرافی غیرلامبرتین (به ویژه مدل مینه‌آرت) تشابه و انطباق به مراتب بیشتری به داده‌های طیف‌سنجی دارد. ضمن اینکه برای هر سه نوع تصویر مدل مینه‌آرت عملکرد بهتری از خود در رفع و کاهش خطای توپوگرافی نشان داده است.

طبق توضیحات قسمت‌های قبل، زاویه شباهت به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی جهت بررسی میزان تشابه دو دسته طیف باشد؛ از این‌رو از میانگین فاصله اقلیدسی نیز استفاده شده است. نمودار شکل(۷) میانگین فاصله اقلیدسی ۳۸ نمونه را برای سه مدل تصحیح توپوگرافی نشان می‌دهد.

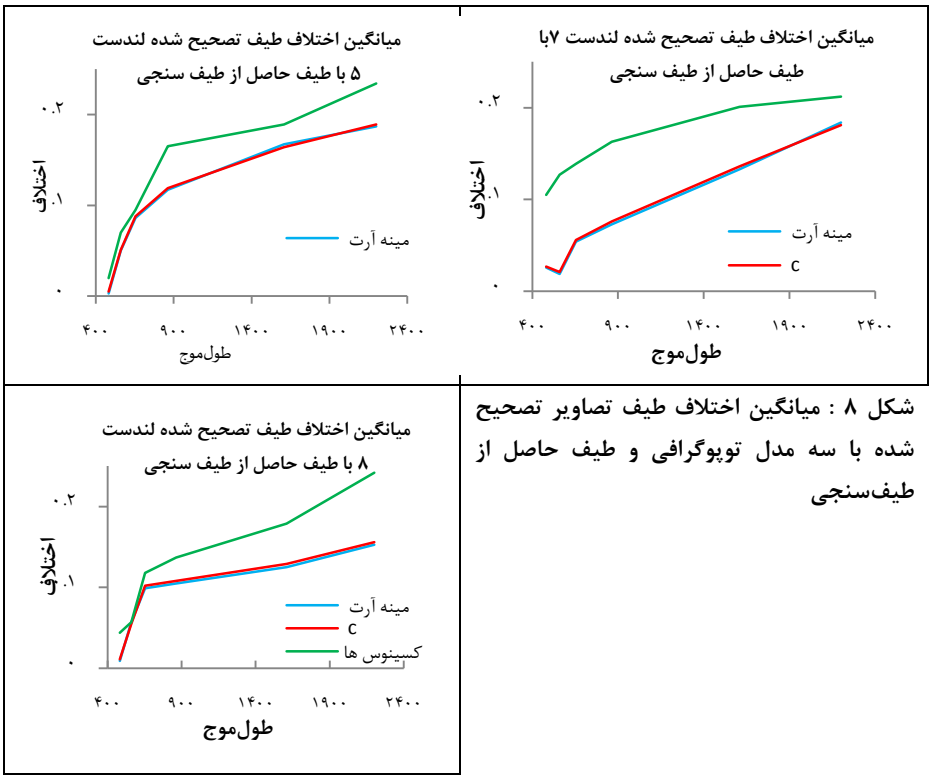
به‌منظور مشاهده اختلاف طیف تصاویر تصحیح شده از طیف حاصل طیف‌سنجی، می‌توان به شکل(۸) مراجعه کرد.



	کسینوس ها	أتصحیح	مینه آرت
لندست ۸	۰.۳۰۱۸۵۷	۰.۲۵۰۱۱۸	۰.۲۵۴۳۸۷
لندست ۷	۰.۴۶۸۶۳۶	۰.۲۵۱۱۰۷	۰.۲۹۷۱۹۹
لندست ۵	۰.۴۷۷۶۱۱	۰.۳۳۶۷۵۴	۰.۳۳۹۸۲۳

شکل ۷: میانگین فاصله اقلیدسی بین طیف تصویر و طیف نمونه‌های حاصل از طیف‌سنجی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]



شکل ۸ : میانگین اختلاف طیف تصاویر تصحیح شده با سه مدل توپوگرافی و طیف حاصل از طیف‌سنجی

۳-۳- ارزیابی مدل‌های توپوگرافی با آنالیز دقت برآورد سرب

استفاده از اطلاعات تصویر به عنوان معیارهای ارزیابی صحت خروجی مدل‌های توپوگرافی، توصیه نمی‌شود؛ لذا به منظور اطمینان یافتن نسبت به صحت نتایج، از منابع معتبرتر از جمله اطلاعات طیف‌سنجی و همچنین آنالیز دقت پیاده‌سازی الگوریتم‌های مختلف روی تصاویر استفاده می‌شود. در این بخش، از آنالیز دقت برآورد سرب خاک بعد از اعمال تصحیح توپوگرافی به منظور ارزیابی تأثیر مدل‌های تصحیح توپوگرافی بر روی تصاویر استفاده شده است. جهت ارزیابی دقت برآورد سرب از طریق تصاویر تصحیح شده، ۷۰ درصد نمونه‌های برداشتی(۲۶ نمونه) به عنوان داده آموزشی و ۳۰ درصد (۱۲ نمونه) به عنوان داده تست در نظر گرفته شد. با محاسبه ضریب همبستگی بین بازتابندگی باندهای مختلف از تصاویر و مقدار غلظت سرب با بهره‌گیری از داده آموزشی، مشاهده شد؛ سه باند اول از تصاویر دارای بیشترین ضریب همبستگی بوده در نتیجه به عنوان باندهای موثر (متغیرهای مستقل) انتخاب شدند. ضرایب معادله رگرسیون خطی به روش کمترین مربعات با استفاده از داده آموزشی محاسبه شدند. جهت ارزیابی مدل، ضرایب بدست آمده بر داده‌های تست اعمال و مقادیر پیش‌بینی شده غلظت سرب (شکل (۵)، (۶) و (۷))، پارامتر خطای جذر میانگین مربعات ($RMSE$) و ضریب تعیین (R^2) محاسبه گردید (جدول(۹) و (۱۰)).

با بررسی جداول (۹) و (۱۰) مشخص شد که مدل مینه‌آرت نسبت به دو مدل دیگر در رفع و کاهش خطای ناشی از ناهمواری سطح زمین عملکرد بهتری از خود نشان داده است. ضمن اینکه تصحیح مینه‌آرت بر روی تصویر لندست۸ با خطای جذر میانگین مربعات ۰/۸۳ و ضریب تعیین ۰/۶۵ بهترین عملکرد را در برآورد سرب منطقه از خود نشان داده است. مقادیر پیش‌بینی شده (محور y) با استفاده از مدل رگرسیون خطی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

چندگانه و مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت سرب (محورx) در شکل (۹) قابل رؤیت می‌باشند. به منظور بررسی نمودارها باید توجه داشت هرچقدر خط مشکی به خط سبز رنگ تر نزدیک‌تر باشد؛ عملکرد بهتر مدل را نشان می‌دهد.

با مشاهدهٔ نمودارهای شکل (۹) مشخص شد که مدل مینه‌آرت بر روی تصویر لندست ۵، نسبت به دو مدل دیگر عملکرد بهتری از خود نشان داده است؛ چرا که خط برازش مقادیر غلظت سرب اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (خط مشکی رنگ) به خط بهینه‌ترین حالت برازش (خط سبزرنگ) نزدیک‌تر است.

با توجّه به نمودارهای شکل (۱۰) و همچنین بررسی وضعیت خط برازش شده و خط بهینه، مشاهده شد اعمال مدل مینه‌آرت نسبت به دو مدل دیگر تصحیح توپوگرافی جهت برآورد سرب تأثیر بیشتری داشته است.

با مشاهده نمودارهای شکل (۱۱)، اعمال مدل مینه آرت بر روی تصویر لندست ۸ بهترین عملکرد را در برآورد سرب منطقه از خود نشان داده است. نزدیکی خط سبز رنگ و خط مشکی رنگ نمودار (الف) از شکل(۱۱) مؤیّد این امر می‌باشد.

جدول ۹: نتیجه آنالیز دقت سرب نمونه‌های تست با استفاده از *RMSE*

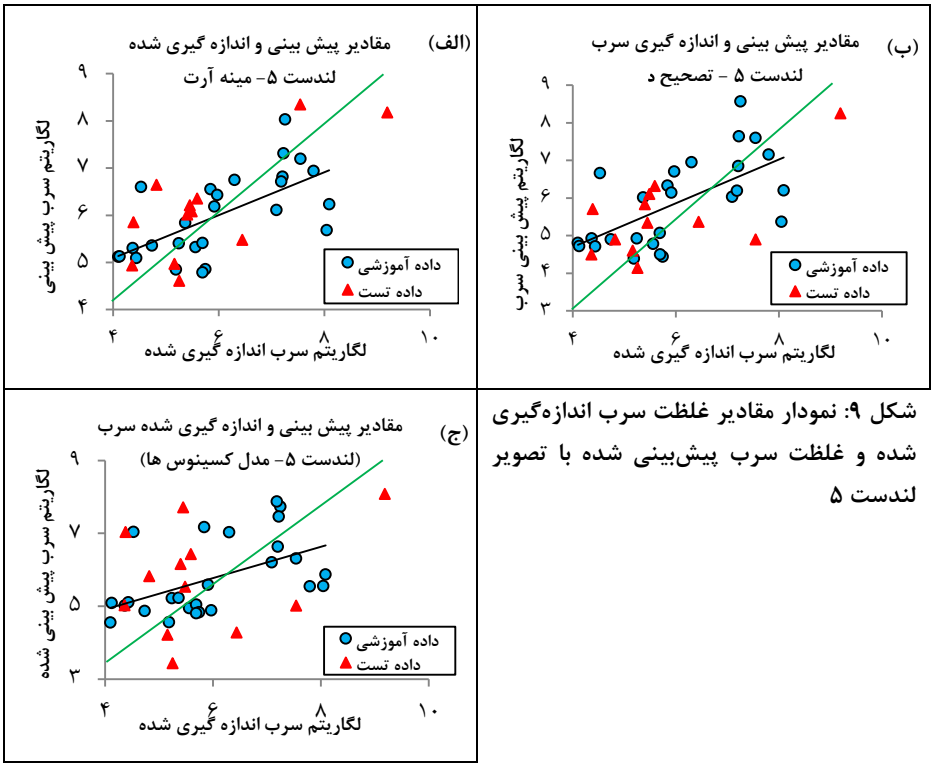
	لندست ۵	لندست ۷	لندست ۸
تصحیح کسینوس‌ها	۱٫۶۹	۱٫۲۲	۱٫۲۶
تصحیح C	۱٫۱۱	۱٫۳۴	۰٫۹۷
تصحیح مینه‌آرت	۰٫۹۹	۱٫۵	**۰٫۸۳**

جدول ۱۰: نتیجه آنالیز دقت سرب نمونه‌های تست با استفاده از R^2

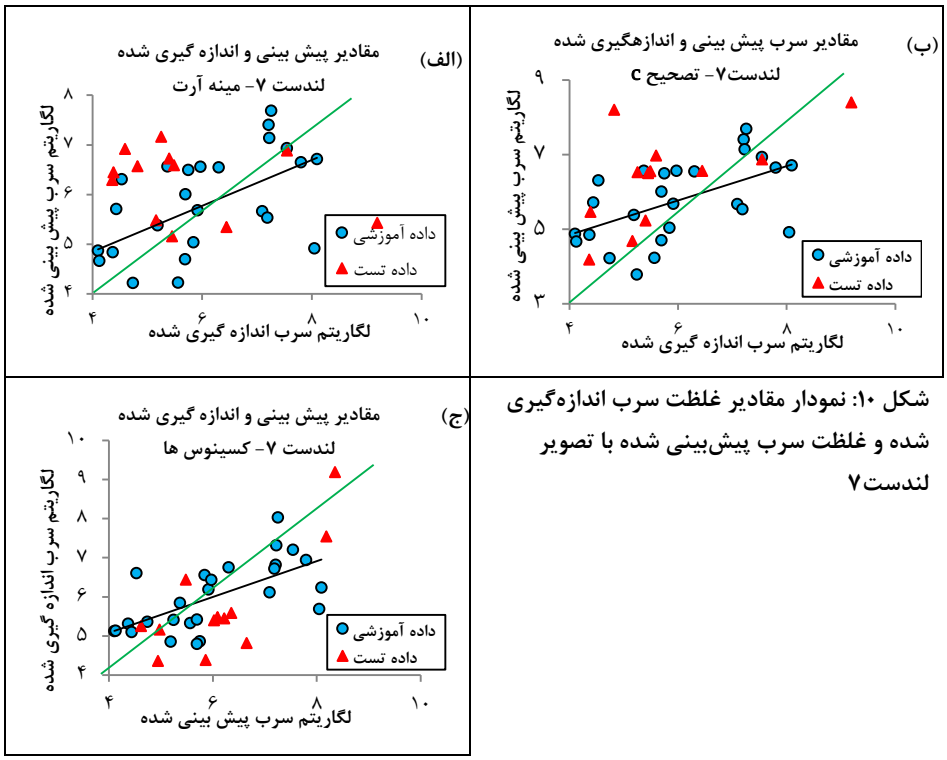
	لندست ۵	لندست ۷	لندست ۸
تصحیح کسینوس‌ها	۰٫۰۷	۰٫۳۷	۰٫۳۱
تصحیح C	۰٫۴۲	۰٫۳۶	۰٫۶۰
تصحیح مینه‌آرت	۰٫۵۷	۰٫۳۵	**۰٫۶۵**

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]



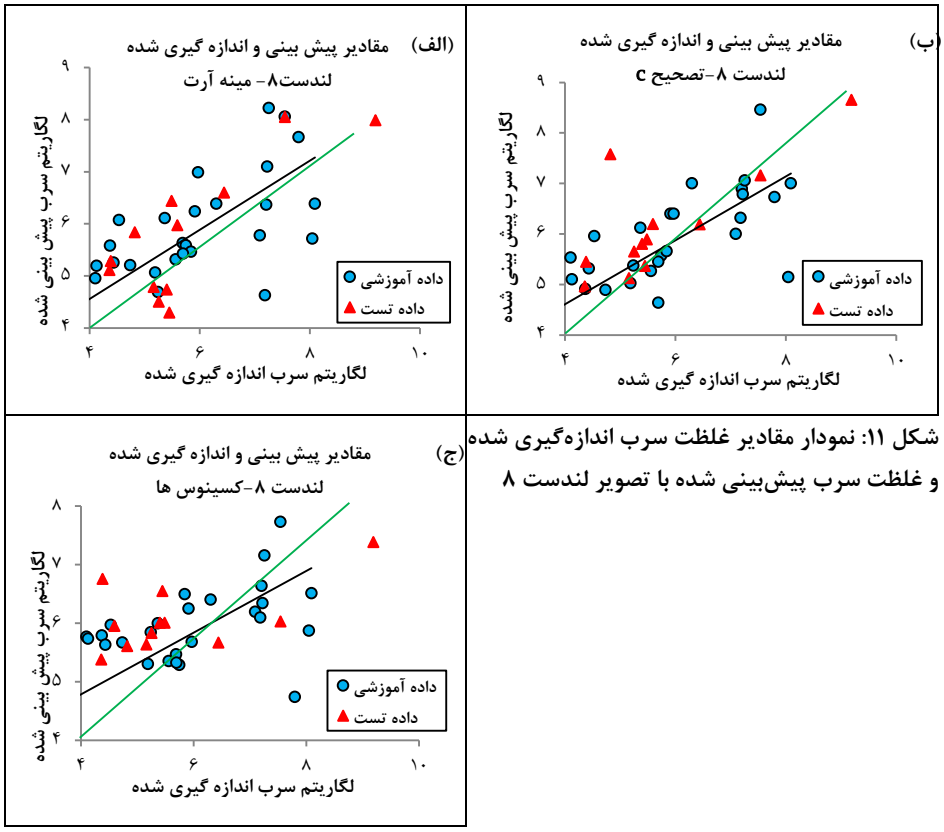
شکل ۹: نمودار مقادیر غلظت سرب اندازه‌گیری شده و غلظت سرب پیش‌بینی شده با تصویر لندست ۵



شکل ۱۰: نمودار مقادیر غلظت سرب اندازه‌گیری شده و غلظت سرب پیش‌بینی شده با تصویر لندست۷

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]



شکل ۱۱: نمودار مقادیر غلظت سرب اندازه‌گیری شده و غلظت سرب پیش‌بینی شده با تصویر لندست ۸

۴- نتیجه‌گیری

تأثیر خطای ناشی از اثر توپوگرافی به دلیل هندسه قرارگیری سنجنده، منبع نور و تارگت، باعث کاهش دقت اعمال الگوریتم‌های مختلف بر روی تصاویر می‌گردد. بنابراین یکی از اقدامات لازم قبل از آنالیزهای تصویری، انجام تصحیحات رادیومتریکی از جمله تصحیحات ناشی از اثر توپوگرافی است. در این تحقیق دقت پیاده‌سازی مدل‌های توپوگرافی غیرلامبرتین و لامبرتین بر روی تصاویر لندست با استفاده از اطلاعات تصویر ارزیابی و صحت آنان با استفاده از اطلاعات طیف‌سنجی و دقت برآورد سرب خاک مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به این‌که مقایسه مدل‌های لامبرتین و غیرلامبرتین توپوگرافی در کاهش خطای ناشی از ناهمواری سطح زمین با استفاده از منابع معتبر مبتنی بر اطلاعات طیف‌سنجی و آنالیز دقت برآورد سرب، (علاوه بر پارامترهای مبتنی بر اطّلاعات تصویر) هدف این پژوهش بود؛ بنابراین نتایج اعمال مدل‌های تصحیح توپوگرافی بر روی تصاویر لندست، با هر سه نوع معیار ارزیابی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

ارزیابی مدل‌های توپوگرافی با استفاده از پارمترهای مبتنی بر اطلاعات تصویر، نشان داد که مدل‌های غیرلامبرتین نسبت به مدل لامبرتین عملکرد بهتری در رفع خطای ناشی از اثر توپوگرافی از خود نشان داده‌اند. موید این امر مقادیر ناچیز پارامتر اختلاف میانگین و انحراف معیار بازتابندگی تصاویر قبل از اعمال تصحیحات نسبت به بازتابندگی بعد از تصحیحات است. به‌عنوان مثال اختلاف میانگین باند ۳ تصویر لندست ۸ برای تصحیح کسینوس‌ها، c و مینه‌آرت به ترتیب برابر با ۰٫۰۳۸، ۰٫۰۰۳ و ۰٫۰۰۱ به‌دست آمد.

دلیل اعمال تصحیحات توپوگرافی بر روی تصاویر ماهواره‌ای، افزایش دقت پیاده‌سازی الگوریتم‌های مختلف بر روی این تصاویر است. بنابراین در این پژوهش علاوه بر دو دسته معیار مبتنی بر اطلاعات

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]
[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

تصویر و طیف‌سنجی از آنالیز دقت برآورد سرب به‌وسیله تصاویر تصحیح شده استفاده شد که مقدار ۰٫۸۳ خطای جذر میانگین مربعات (*RMSE*) و ۰٫۶۵ ضریب تعیین (R^2) ناشی از مدل رگرسیون بر تصویر لندست۸ تصحیح شده با مدل مینه‌آرت نشانگر عملکرد بهتر مدل غیرلامبرتین نسبت به مدل لامبرتین است. همچنین میزان دقت برآورد سرب با استفاده مدل مینه‌آرت نسبت به مدل تصحیح *C* نیز بیشتر است.

مراجع

[1] J. Richards, "Introduction to the physics and techniques of remote sensing," Elsevier, 1990.

[2] R. A. Schowengerdt, Remote sensing: models and methods for image processing: Academic press, 2006.

[3] C. Elachi and J. J. Van Zyl, Introduction to the physics and techniques of remote sensing vol. 28: John Wiley & Sons, 2006.

[4] P. Teillet, B. Guindon, and D. Goodenough, "On the slope-aspect correction of multispectral scanner data," Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 8, pp. 84-106, 1982.

[5] T. R. Allen,"Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper data in three mountain environments," Geocarto International, vol. 15, pp. 15-22, 2000.

[6] D.L.Civco,"Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, pp. 1303-1309, 1989.

[7] D. Riaño, E. Chuvieco, J. Salas, and I. Aguado, "Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types (2003)," IEEE Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 41, pp. 1056-1061, 2003.

[8] M.Vincini, D. Reeder, and E. Frazzi, "An empirical topographic normalization method for forest TM data," in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International, 2002, pp. 2091-2093.

[9] M.Vincini, D. Reeder, and E. Frazzi, "Influences of topography on TM data and vegetation indices of deciduous forests," ed, 2011.

[10] Y. Zhang and X. Li, "Topographic normalization of Landsat TM images in rugged terrain based on the high-resolution DEM derived from ASTER," Proceedings of the PIERS Proceeding, Suzhou, China, vol. 1216, p. 712716, 2011.

[11] Y. Zhang, Y. Bai, and C. Li, "Topographic normalization of Landsat TM images in rugged terrain," in Image and Signal Processing (CISP), 2014 7th International Congress on, 2014, pp. 580-585.

[12] M. P.Bishop, J. F. Shroder, and J. D. Colby, "Remote sensing and geomorphometry for studying relief production in high mountains," Geomorphology, vol. 55, pp. 345-361, 2003.

[13] R. Richter, T. Kellenberger, and H. Kaufmann, "Comparison of topographic correction methods," Remote Sensing, vol. 1, pp. 184-196, 2009.

[14] S. Hantson and E. Chuvieco, "Evaluation of different topographic correction methods for Landsat imagery," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 13, pp. 691-700, 2011.

[15] C. Wei, T. Qingjiu, and W. Liming, "A model of topographic correction and reflectance retrieval for optical satellite data in forested areas," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRC). Beijing China, pp. 243-248, 2008.

[16] P.Füreder, "Topographic correction of satellite images for improved LULC classification in alpine areas," Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, vol. 45, pp. 187-194, 2010.

[17] S. Vanonckelen, S. Lhermitte, and A. Van Rompaey, "The effect of atmospheric and topographic correction methods on land cover classification accuracy," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 24, pp. 9-21, 2013.

[18] S. Vanonckelen, S. Lhermitte, and A. Van Rompaey, "The effect of atmospheric and topographic correction on pixel-based image

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

composites: Improved forest cover detection in mountain environments," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 35, pp. 320-328, 2015.

[19] H. Ge, D. Lu, S. He, A. Xu, G. Zhou, and H. Du, "Pixel-based Minnaert correction method for reducing topographic effects on a Landsat 7 ETM+ image," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 74, pp. 1343-1350, 2008.

[20] H. Reese and H. Olsson, "C-correction of optical satellite data over alpine vegetation areas: A comparison of sampling strategies for determining the empirical c-parameter," Remote Sensing of Environment, vol. 115, pp. 1387-1400, 2011.

[21] S. A. Soenen, D. R. Peddle, and C. A. Coburn, "< img src="/images/tex/265. gif" alt="\ hbox {SCS+ C}">: A Modified Sun-Canopy-Sensor Topographic Correction in Forested Terrain," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 43, pp. 2148-2159, 2005.

[22] E. P. Moreira and M. M. Valeriano, "Application and evaluation of topographic correction methods to improve land cover mapping using object-based classification," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 32, pp. 208-217, 2014.

[23] M.-L. Gao, W.-J. Zhao, Z.-N. Gong, H.-L. Gong, Z. Chen, and X.-M. Tang, "Topographic correction of ZY-3 satellite images and its effects on estimation of shrub leaf biomass in mountainous areas," Remote Sensing, vol. 6, pp. 2745-2764, 2014.

[24] D. P. Roy, M. Wulder, T. Loveland, C. Woodcock, R. Allen, M. Anderson, et al., "Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research," Remote Sensing of Environment, vol. 145, pp. 154-172, 2014.

[25] H. Fujisada, G. B. Bailey, G. G. Kelly, S. Hara, and M. J. Abrams, "Aster dem performance," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 43, pp. 2707-2714, 2005.

[26] R. Goodarzi, M. Mokhtarzade, and M. Zoej, "A Robust Fuzzy Neural Network Model for Soil Lead Estimation from Spectral Features," Remote Sensing, vol. 7, pp. 8416-8435, 2015.

[27] S. L. Cundill, H. van der Werff, and M. van der Meijde, "Adjusting Spectral Indices for Spectral Response Function Differences of Very High Spatial Resolution Sensors Simulated from Field Spectra," Sensors, vol. 15, pp. 6221-6240, 2015.

[28] H. Ibrahim, A. Hatira, and T. Gallali, "Relationship between nitrogen and soil properties: Using multiple linear regressions and structural equation modeling," Int. J. Res. Appl. Sci, vol. 2, pp. 1-7, 2013.

[29] R. G. Brereton, "Introduction to multivariate calibration in analytical chemistryElectronic Supplementary Information available. See http://www. rsc. org/suppdata/an/b0/b003805i," Analyst, vol. 125, pp. 2125-2154, 2000.

[30] D. C. Montgomery, E. A. Peck, and G. G. Vining, Introduction to linear regression analysis: John Wiley & Sons, 2015.

[31] S. R. Jammalamadaka, "Introduction to linear regression analysis," ed: Taylor & Francis, 2003.

[32] F. A. Yitagesu, F. Van der Meer, H. Van der Werff, and W. Zigterman, "A multivariate regression analysis for deriving engineering parameters of expansive soils from spectral reflectance," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 37, pp. 1319-1323, 2008.

[33] P. E. Dennison, K. Q. Halligan, and D. A. Roberts, "A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper," Remote Sensing of Environment, vol. 93, pp. 359-367, 2004.

[34] E. Choe, F. van der Meer, F. van Ruitenbeek, H. van der Werff, B. de Smeth, and K.-W. Kim, "Mapping of heavy metal pollution in stream sediments using combined geochemistry, field spectroscopy, and hyperspectral remote sensing: A case study of the Rodalquilar mining area, SE Spain," Remote Sensing of Environment, vol. 112, pp. 3222-3233, 2008.

[35] J. Taylor, Introduction to error analysis, the study of uncertainties in physical measurements, 1997.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.2, Summer 2019

Research Paper

Evaluation and Comparison of Topographic Correction Models Is Applied on the Series Landsat Images Using Spectrometery Data

Roohollah Goodarzi[1], Mahdi Mokhtarzadeh[2], Mohammad javad Valadanzouj[2]*

1- Ms.c student of remote sensing in Department of Geomatics, K.N.Toosi University
2- Associate professor in Department of Geomatics, K.N.Toosi University

Abstract

The effect of topography on the radiance record in satellite image, probably reduce the accuracy of algorithem impliementation on the images . Therefore, to reduce the effect of topography, various correction models based on interaction between light and object needs to be defined. This research introduces lombertin correction model (Cosine model) and non_lombertin correction model (mineart and C correction models) which can be applied on the serios landsat images of Irankouh. In order to evaluate of models, statistical parameters (mean difference and standard deviation of each band) before and after correction, Spectroscopy parameters (similarity angle and Euclidean distance) and accuracy of lead content estimation from Images were used. According to the results of the methods evaluation, the cosines model showed a poor performance compared to the other models. Overall accuracy of similarity angle (above 0.97) between image and spectroscopy data for Minaret and Cosines models was 0.973 and 0.891, respectively. Also RMSE=0.83 and R^2 =0.65 of lead content estimation of landsat 8 correction image using mineart model showed good performance.

Key words: *Topographic Correction, Landsat 8 Images, SVC Spectrometer.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-16]

[DOI: 10.29252/jgit.7.2.21]

Correspondence Address *Remote Sensing Group, Department of Geomatics, K.N.Toosi University, Tehran, Iran.*
Tel : *+98 21 88877071.*
Email : *valadanzouj@kntu.ac.ir*