نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه برداری

سال ششم، شماره نخست، بهار ۱۳۹۷
Vol.6, No.1, Spring 2018
۱۵۵-۱۶۹

ارائه روشی جهت نرمال‌سازی و هم مختصات نمودن تصاویر چند زمانه جهت آشکارسازی تغییرات

یوسف رضائی [۱*]، محمد جواد ولدان زوج [۲]، محمود رضا صاحبی [۳]

۱- استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا
۲- استاد گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۱۸

چکیده

تصاویر ماهواره‌ای جهت پایش و ارزیابی تغییرات پوشش‌های زمینی در بازه‌های زمانی به‌کار می‌روند. همسانی رادیومتریکی و هندسی بین تصاویر چندزمانه و چند سنجنده اخذ شده، به علت تغییرات در سنجنده، شرایط جوی، زاویه تابش خورشید و زاویه دید سنجنده، به‌ندرت ممکن است وجود داشته باشد و می‌تواند باعث ایجاد مشکل در آشکارسازی تغییرات شود. همسان‌سازی رادیومتریکی و هندسی تصاویر چند زمانه و چند سنجنده‌ای که از یک منطقه از سطح زمین برای آشکارسازی تغییرات و اختلافات نسبی عوارض زمینی اخذ شده‌اند بسیار ضروری می‌باشد. از داده‌های زمینی جهت کالیبراسیون رادیومتریک مطلق و یا عوارض شبه‌پایدار (PIF) جهت نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی تصاویر چند زمانه می‌توان استفاده نمود، اما جمع‌آوری داده‌های زمینی هزینه بر بوده و اخذ همزمان آنها با گذر ماهواره با مشکلاتی همراه است و همچنین انتخاب عوارض شبه‌پایدار نیز بصورت بصری بوده و نیاز به نظارت کاربر دارد. در این تحقیق به منظور نرمال‌سازی رادیومتریکی و هندسی دو تصویر چند زمانه از منطقه یخچالی علم چال، روشی ارائه شده است. در این تحقیق، انتخاب عوارض شبه‌پایدار به‌صورت خودکار و آماری می‌باشد و تصاویر ماهواره‌ای به یک سطح رادیومتریکی مرجع تبدیل می‌شوند. جهت هم مختصات سازی تصاویر، ابتدا نویز در آنها حذف شده و به‌صورت تکراری با استفاده از روش تناظریابی تصاویر، دو تصویر هم مختصات گردیدند. به‌منظور ارزیابی نتایج از مقایسه هیستوگرام تصاویر، پارامترهای آماری و نقاط مستقل چک استفاده گردید. نتایج نشان دهنده نزدیکی پارامترهای آماری دو تصویر همسان شده به‌یکدیگر می‌باشد، همچنین با استفاده از نقاط چک مقدار جذر میانگین مربع خطاها روش هم‌مختصات سازی برابر ۰/۵۲ به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: تصاویر چند زمانه، نرمال‌سازی رادیومتریکی، هم مختصات سازی، عوارض شبه‌پایدار

*نویسنده مکاتبه کننده: همدان- دانشگاه بوعلی سینا- دانشکده مهندسی – گروه عمران
تلفن: ۰۸۱۳۸۲۹۲۵۰۵

Email : yrezaei@basu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

۱- مقدمه

انجام بسیاری از پروژه ها چون مدیریت منابع طبیعی، توسعه شهری، مدیریت بحران، برنامه‌ریزی‌ها و اهدافی از این قبیل بدون در اختیار داشتن اطلاعات و نقشه‌های جامع، دقیق، یکپارچه و به‌روز از محیط پیرامون، غیر ممکن می‌باشد. در این راستا یکی از مسائلی که امروزه توجه محققان را بسیار به خود جلب کرده است، بررسی و تعیین تغییرات عوارض، در طی گذشت زمان و تاثیر آنها بر محیط اطراف می‌باشد. یکی از رایج ترین روشها استفاده از محاسبه تابع همبستگی بین عکسهای هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده از عارضه در دو بازه زمانی می‌باشد. تصاویرگرفته شده از یک عارضه مربوط به شکل ظاهری آن عارضه است. در نتیجه هر گونه تغییر و تحول در شکل ظاهری آن عارضه در این عکسها و تصاویر منعکس می‌شود. در استفاده از روش همبستگی در آشکارسازی تغییرات، بزرگتر بودن مقدار تابع همبستگی محاسبه شده بین دو تصویر، نشانگر تغییرات کمتر عارضه از نظر سیمای سطحی است[۱].

بررسی تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، از طریق مقایسه تصاویر اخذ شده از منطقه در زمان‌های مختلف با استفاده از الگوریتم‌های پیکسل مبنا امکان پذیر می‌باشد ولی با توجه با اختلاف رادیومتریکی بین دو تصویر که ناشی از زاویه دید و تابش متفاوت و اثرات جذب و پراکنش اتمسفری می‌باشد، پیش‌نیاز استفاده از این الگوریتم‌ها، داشتن تصاویر با ویژگی‌های هندسی و رادیومتریکی مشابه می‌باشد[۲]. بنابراین لازم است قبل از اعمال هر نوع الگوریتم برروی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی موجود، پیش‌پردازش‌هایی صورت گیرد. در ابتدا لازم است که ابعاد پیکسل تصاویر موجود، همسان شود. سپس، کالیبراسیون رادیومتریکی نسبی تصاویر چندزمانه و هم مرجع نمودن آنها از مراحل بعدی پیش پردازش‌ها می‌باشد.

کالیبراسیون رادیومتریکی می‌تواند به دو صورت مطلق یا نسبی انجام گردد، که گاها با آن تصحیح نیز گفته می‌شود[۲]. در روش مطلق رابطه بین مقادیر پیکسل‌ها (DN[1]) با رادیانس سطح زمین برقرار می‌شود که برای این امر نیاز به ضرائب کالیبراسیون سنجنده و الگوریتم تصحیح اتمسفری می‌باشد، ولیکن در بسیاری از کاربردهای عملی به دلیل مشکل بودن اخذ داده‌های موردنیاز، این روش به سادگی قابل اجرا نمی‌باشد[۳]. تعیین میزان بازتابندگی زمینی از طریق تصاویر ماهواره‌ای به مسائلی نظیر تصحیح اتمسفری و در اختیار داشتن ویژگی‌های جوی مربوط به زمان تصویربرداری نیازمند می‌باشد. برای اکثر تصاویر ماهواره‌ای چنین اطلاعاتی غالباً موجود نیست و حتی در صورتی که فرآیند اخذ تصویر از قبیل برنامه‌ریزی شده باشد جمع‌آوری چنین اطلاعاتی ساده نمی‌باشد [۴].

از آنجا که در بسیاری از کاربردها، نیازی به استخراج میزان بازتابندگی مطلق از سطح زمین نمی‌باشد، می‌توان از یک نرمالیزاسیون نسبی با استفاده از اطلاعات رادیومتریک موجود در تصاویر، جهت همسان‌سازی سطح رادیومتریکی تصاویر چندزمانه بهره‌گرفت.

درحالت نسبی، یکی از روش‌های عمومی، تعیین و محاسبه یک رابطه خطی بین پیکسل‌های متناظر در دو تصویر می‌باشد به شرط آن که ویژگی‌های طیفی این پیکسل‌ها در طول زمان تغییر نکرده باشد. این پیکسل‌ها تحت عنوان عوارض شبه‌پایدار (PIF)[2] شناخته می‌شوند [۴، ۵، ۶، ۷ و ۸]. یکی از مهم‌ترین مراحل در الگوریتم‌های مختلف، انتخاب این عناصر (PIF) می‌باشد. جهت انتخاب این عناصر روش‌های مختلفی وجود دارد، در اکثر روش‌ها این انتخاب بر اساس عوارض موجود در تصویر و به‌صورت بصری می‌باشد. یک روش جهت نرمال‌سازی رادیومتریک تصاویر که جهت تهیه موزائیک از تصاویر

[1] Digital Number
[2] Pseudo Invariant Feature

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

ماهواره‌ای چند زمانه توسعه داده شد، الگوریتم VPM[1] می‌باشد [۲]. در این روش، فاصله مربعی بین مقادیر پیکسل‌ها در دو تصویر محاسبه می‌شود، مقادیر کوچکتر برای این فاصله، نشاندهنده شباهت بین این پیکسل‌ها می‌باشد. همچنین یک معیار بر اساس مربع اختلاف انحراف معیار دو تصویر پایه و هدف، جهت جلوگیری از تاثیر پیکسل‌های دارای مقادیر صفر در نتایج، تعریف گردیده است. این الگوریتم خطای کلی نرمال سازی را برای تمام تصاویر مورد استفاده حداقل و میانگین انحراف معیار تصاویر ورودی را حفظ می‌نماید. نتایج حاصل از اعمال این روش نشان داد که کارائی مناسبی جهت تهیه موزائیک تصویری یکدست و مناسب از نظر بصری را دارا می‌باشد [۲].

یک روش برای انتخاب PIF ها که توسط هال و همکاران در سال ۱۹۹۱، ارائه شده است، استفاده از دو مجموعه پیکسل‌های روشن و تاریک می‌باشد [۴]. هر چند که این روش نتایج خوبی را می‌دهد و لیکن مشکلاتی از قبیل انتخاب بصری نقاط تاریک و روشن برروی تصاویر را دارد که انتخاب این PIF ها را وابسته به کاربر می‌نماید. مشکل دیگر این است که ممکن است بعضی مقادیر ضریب مقیاس(gain) نرمالیزاسیون کمتر از یک و بعضی مقادیر جابجایی (offset) از صفر کوچکتر باشند که منجر به از دست رفتن قدرت تفکیک رادیومتریکی تصاویر می‌شود. چرا که داده‌های تصویر رقومی به فرمت عدد صحیح ذخیره می‌شوند و وقتی در عدد کمتر از واحد ضرب شوند، محدوده مقادیر رقومی کاهش پیدا می‌کند و بعضی سطوح رقومی در فرمت صحیح از بین می روند. هم چنان که اگر مقدار offset از صفر کمتر باشد بعضی سطوح مقادیر رقومی پایین به‌دلیل عدم فرمت صحیح از بین می‌روند. مشکل بعدی این روش عدم وجود راهکاری جهت کنترل کیفیت می باشد[۹].

در روش ارائه شده توسط [۸]، انتخاب PIFها از طریق تبدیل مولفه‌های اصلی (PCA[2]) انجام می‌شود و پس از آن ضرایب نرمال سازی توسط الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی می‌شود. در این روش جهت کاهش اثر ابر و اثرات عوارضی که به سرعت تغییر می‌نماید، با روش کرینجینگ یک درونیابی بین مقادیر محاسباتی پیکسل‌های تصویر هدف انجام می‌شود. مزیت این روش، عدم نیاز به حذف پیکسل‌های ابری و حذف اثر اتمسفر می‌باشد ولی این روش دارای محاسبات زیادی بوده و جهت افزایش سرعت انجام محاسبات نیاز به انجام محاسبات موازی می‌باشد [۸].

استفاده از تبدیل مولفه‌های اصلی و انتخاب PIFها به‌صورت آماری، یک روش دیگر جهت انتخاب PIFها، می‌باشد، که نتایج خوبی به‌منظور نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی تصاویر از خود نشان داده است [۴]. استفاده از شبکه عصبی و خودکار نمودن فرآیند هم‌سان سازی با استفاده تبدیل CVA[3]، PCA و خوشه‌بندی k میانگین (K-means) جهت مشخص نمودن پیکسل‌های بدون تغییر، یکی دیگر از روش‌هایی است که جهت نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی توسعه داده شده و بر روی تصاویر لندست اعمال گردیده است[۱۰]. استفاده از تئوری رگرسیون و مدلسازی هیستوگرام تصویر و محاسبه ضرایب تبدیل خطی جهت استخراج پیکسل‌های شبه پایدار و نرمالسازی تصویر نیزیکی از روش‌هایی است که اخیرا توسعه داده شده است[۱۱].

یکی دیگر از مراحلی که قبل از ارزیابی تغییرات بایستی بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام گیرد، هم مختصات سازی[4] تصاویر می‌باشد. ساده ترین روش استفاده از روش دستی و انتخاب نقاط کنترل متناظر

[1] variance-preserving mosaic

[2] Change Vector Analysis
[3] Change Vector Analysis
[4] Coregistration

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

بر روی دو تصویر می‌باشد. اما این روش زمانبر بوده و وابسته به دقت کار کاربر می‌باشد. امروزه از الگوریتم‌های خودکار جهت انجام این فرآیند استفاده می‌شود [۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵].

یکی از روش‌های هم‌مختصات سازی تصاویر استفاده از تناظریابی تصویری می‌باشد. بدین‌منظور روش‌های مختلف پیکسل مبنا و عارضه مبنا توسعه داده شده است[۱۶]. از روش‌های عمومی پیکسل مبنا جهت هم‌مختصات سازی تصاویر، می‌توان به استفاده از معیار همبستگی و محاسبه آن اشاره نمود[۱۷]. در این روش با انتخاب یک نقطه در تصویر اول، با معرفی یک پنجره، نقطه متناظر آن پیکسل در تصویر دوم با محاسبه مقدار همبستگی، تعیین می‌شود. این روش بصورت خودکار بوده ولی کیفیت تصاویر مورد استفاده و وجود نویز و اختلاف رادیومتریکی تصاویر باعث ایجاد خطا و عدم دقت آن می‌شود [۱۳].

در این تحقیق، با توجه به اهمیت مراحل نرمال‌سازی رادیومتریکی و هم مختصات سازی، یک الگوریتم ترکیبی جهت انجام این دو مرحله، به‌صورت خودکار، پیشنهاد شده است. در مرحله اول با استفاده از تبدیل PCA و به‌صورت تکراری نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی تصاویر انجام می‌شود. در مرحله بعد با معرفی یک روش مبتنی بر معادلات چند جمله‌ای و محاسبه مقادیر ناهمبستگی، به‌صورت تکراری عملیات هم مختصات سازی تصاویر انجام می‌گیرد. در این مرحله جهت افزایش دقت و بهبود نتایج از روش‌های کاهش نویز نیز استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به معرفی داده‌های استفاده شده و الگوریتم‌های به‌کار گرفته شده پرداخته می‌شود.

۲-۱- داده‌های مورد استفاده

با توجه به اهمیت یخچال‌های طبیعی و اندازه‌گیری میزان تغییرات سطحی آنها، مجموعه داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به منطقه یخچالی علم چال می‌باشد که شامل تصویر ماهواره‌ای اسپات ۵ و کوئیک برد به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ می‌باشد. این تصاویر با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM[1]) تولید شده به وسیله عکس‌های هوایی، ارتو گردیدند. در شکل (۱)، تصاویر مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده است.

۲-۲- الگوریتم مورد استفاده

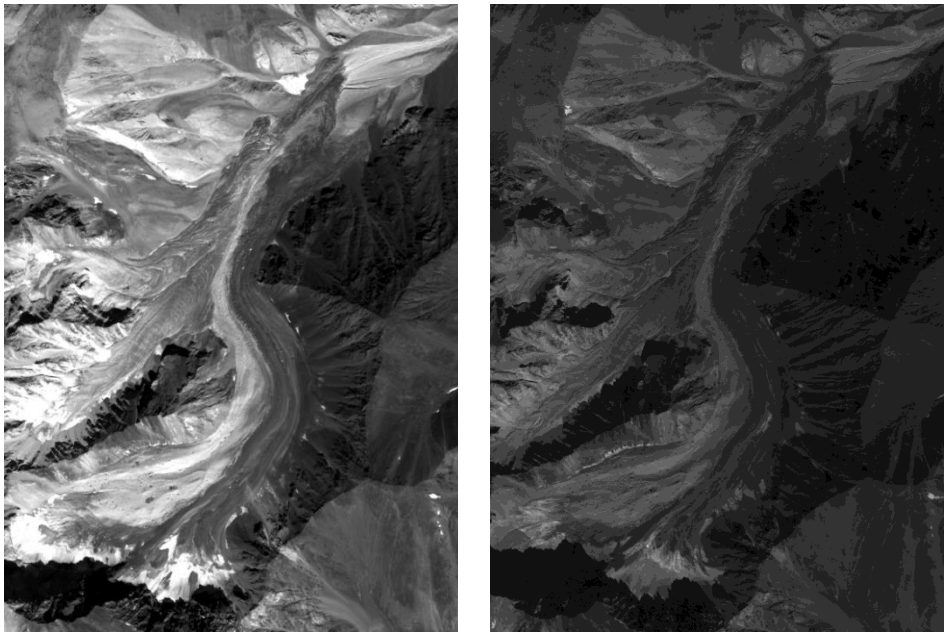
با توجه به تفاوت رادیومتریکی و هندسی بین تصاویر چندزمانه و استفاده از الگوریتم خودکار جهت هم مختصات سازی، ابتدا تصاویر از نظر رادیومتریکی نرمال‌سازی شده و پس از آن از نظر هندسی هم مختصات گردیدند. در شکل (۲) روندنمای انجام این پژوهش نشان داده شده است.

۲-۲-۱- نرمال‌سازی رادیومتریک نسبی

همان‌طور که بیان گردید، جهت انجام عملیات نرمال‌سازی سطح رادیومتریکی دو تصاویر، نیاز به تعیینPIF ها، می‌باشند. ویژگی‌های بازتابندگی PIFها در پیکسل‌های متناظر در دو بازه زمانی دارای تغییر نبوده و در صورت تغییر، این تغییرات در مقادیر DN های مربوط به PIF ها در دو تصویر به‌صورت خطی می‌باشند. همچنین، اثراتی که منجر به تغییرات فوق می‌شوند از همدیگر مستقل هستند به‌صورتی که اثر کلی برابر با مجموع خطی تک تک اثرات می‌باشد[۳].

[1] Digital Elevation Model

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]



شکل۱: تصاویر اسپات ۵ و کوئیک برد منطقه یخچالی علم‌چال

در الگوریتم به کار گرفته شده در این تحقیق نیز مشابه تحقیق [۴]، انتخاب عناصر شبه پایدار در زمان، به‌صورت آماری و خودکار می‌باشد. در این الگوریتم، تصاویر ماهواره‌ای به یک سطح رادیومتریکی مرجع که با استفاده از اطلاعات دو تصویر محاسبه شده‌اند، منتقل می‌شوند و از این طریق به لحاظ رادیومتریکی نرمالیزه می‌گردند. ویژگی بارز این الگوریتم، استفاده از تبدیل مولفه‌های اصلی (PCA) جهت کنترل کیفیت روش به کارگرفته شده می‌باشد.

اگر L را رادیانس سطح زمین در نظر بگیریم، تغییرات در کالیبراسیون سنجنده و زاویه دید، زاویه تابش خورشید و تأثیرات جوی منجر به تغییراتی درپاسخ هدف می‌شود و در صورتی که تصاویر چندزمانه از یک منطقه را داشته باشیم، طبق رابطه (۱) خواهیم داشت [۳]:

رابطه (۱)

$$Q_j(i) = L_j(i) \times a_j + b_j \qquad j = 1, 2, 3, \ldots, m$$

که m تعداد کل تصاویر و Q مقدار DN تصویر و a,b ضرائب خطی gain و offset می‌باشند.

با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای PIF ها، مقدار متوسط رادیانس در تصاویر($\overline{L_j}$) و انحراف معیار رادیانس سطح زمین (σ_{Lj}) در تصاویر مختلف ثابت می باشد، بنابراین می‌توان طبق رابطه (۲) نوشت[۳]:

رابطه (۲)

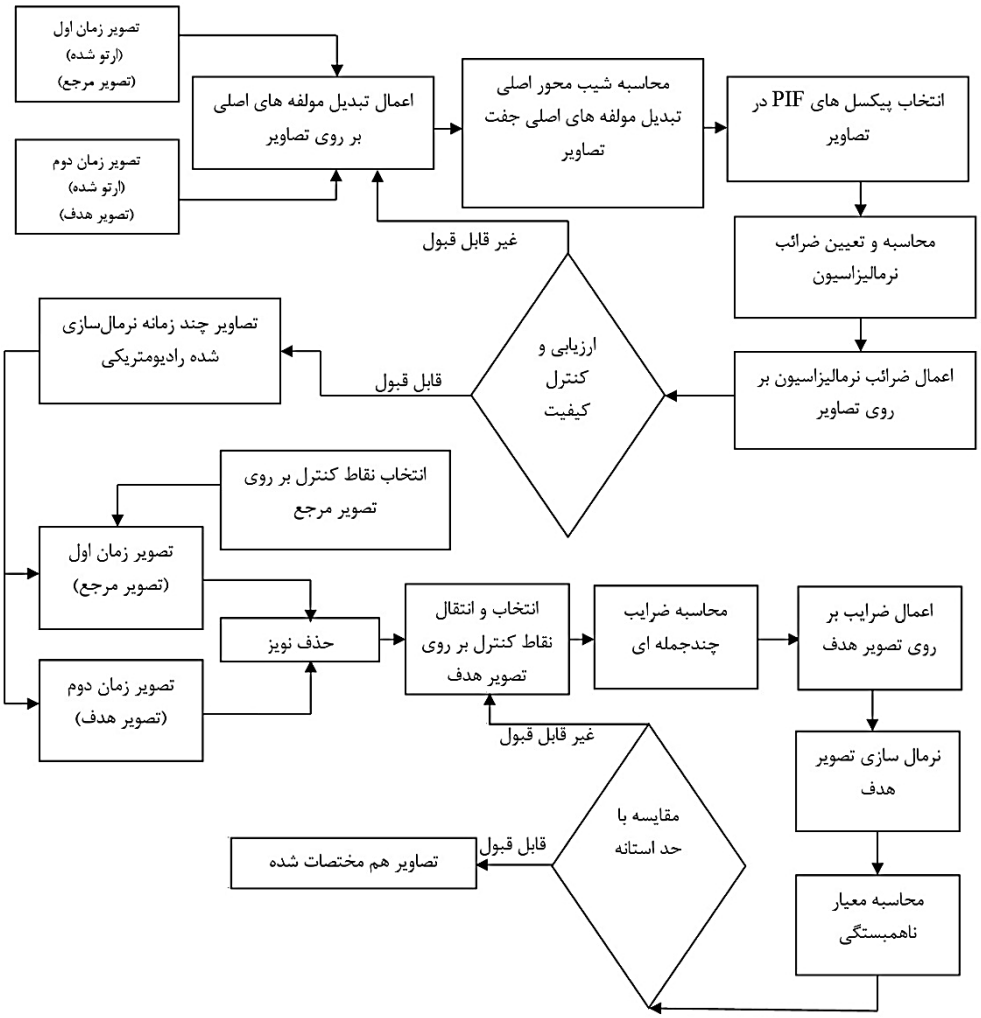
$$\overline{L_1} = \overline{L_2} = \ldots = \overline{L_m}$$

$$\sigma_{L_1} = \sigma_{L_2} = \ldots = \sigma_m$$

در حقیقت اگر هرکدام از مقادیر $\overline{L}$ یا σ_L معلوم باشد، رادیانس مطلق سطح بدون در نظر گرفتن اثرات غیر خطی قابل محاسبه می‌باشد ولیکن در عمل برای تصاویر ماهواره‌ای این امر به ندرت امکان پذیر است[۹]. جهت حل این مشکل، در صورتی که داده‌های تصویری به یک سطح رادیومتریکی مشترک آورده شوند، آشکارسازی تغییرات سطح زمین با استفاده از تصاویر چندزمانه ممکن می‌باشد. بنابراین، الگوریتم حاضر سعی در انتقال تصاویر چندزمانه به یک مقیاس رادیومتریکی مشترک را دارد تا تصاویر قابل مقایسه باشند. با توجه به ویژگی‌های PIF ها می‌توان به‌صورت رابطه (۳) نوشت.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]



شکل ۲: مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی

رابطه (۳)

$$N_j(i) = Q_j(i) \times \alpha_j + \beta_j \quad , \quad j = 1,2,3,...,m$$

که در رابطه (۳)، $N_j(i)$، رادیانس نرمالیزه شده و α_j , β_j ضرائب انتقال هستند. بنابراین طبق رابطه (۴) برای محاسبه مقادیر میانگین و انحراف معیار خواهیم داشت:

رابطه (۴)

$$\overline{N}_j(i) = \overline{Q}_j(i) \times \alpha_j + \beta_j \quad , \quad \sigma_{N_j} = \sigma_{Q_j} \times \alpha_j \quad , \quad j = 1,2,3,...,m$$

حال بایستی یک سطح رادیومتریکی مرجع به‌صورت رابطه (۵) تعریف کرد:

رابطه (۵)

$$N_{ref}(i) = Q_{ref}(i) \times \alpha_{ref} + \beta_{ref}$$

اگر $\alpha_{ref} = 1$ و $\beta_{ref} = 0$ قرار دهیم، رابطه (۶) به‌دست خواهد آمد:

رابطه (۶)

$$\overline{N}_{ref} = \overline{Q}_{ref} \quad \& \quad \sigma_{N_{ref}} = \sigma_{Q_{ref}}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

جهت محاسبه سطح مرجع، با توجه به ویژگی‌های بیان شده برای PIF ها، می‌توان از رابطه‌های (۷ و ۸) استفاده نمود:

رابطه (۷)

$$\alpha_j = \frac{\sigma_{Q_{ref}}}{\sigma_{Q_j}} \ , \ \beta_j = \overline{Q}_{ref} - \frac{\sigma_{Q_{ref}}}{\sigma_{Q_j}} \times \overline{Q}_j \ , \ j = 1,2,3,...,m$$

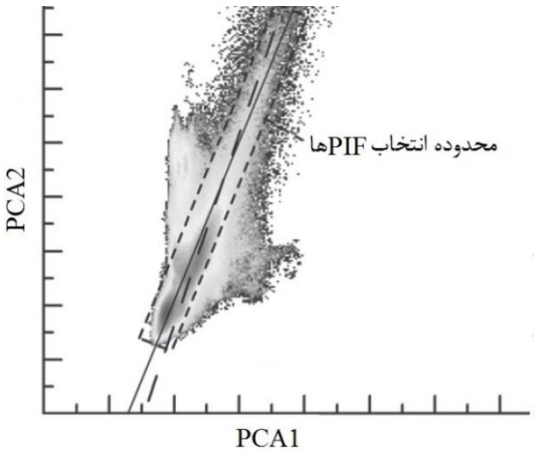
رابطه (۸)

$$Q_{ref}(i) = Q_j(i) \times \alpha_j + \beta_j \quad j = 1,2,3,...,m$$

که $\overline{Q}_{ref}$ و $\sigma_{Q_{ref}}$، نشان‌دهنده میانگین و انحراف معیار مقادیر PIF های سطح مرجع، $\overline{Q}_j$ و σ_{Q_j} مقادیر میانگین و انحراف معیار مقادیر PIF ها می‌باشد. روابط فوق نشان می‌دهد که مقادیر PIF ها در تصاویر مختلف ($\overline{Q}_j$) که شامل اثرات خطی هستند، به سطح مبنای $\overline{Q}_{ref}$ منتقل می‌شوند [۹]. در روابط فوق، مقادیر $\overline{Q}_{ref}$ و $\sigma_{Q_{ref}}$ برای همه تصاویر ثابت است بنابراین سطح مبنای رادیومتریکی باید به نحوی انتخاب شود که قدرت تفکیک رادیومتریکی همه تصاویر حفظ شود[۹].

- **انتخاب PIF ها**

با توجه به ویژگی‌های بیان شده در خصوص PIF ها، می‌توان از این ویژگی ها جهت انتخاب آنها بهره گرفت. اما در عمل انتخاب بهینه PIF ها با توجه با این که اهداف غیر متغیر با زمان در سطح زمین کم می‌باشند آسان نیست. استفاده از تبدیل مولفه‌های اصلی جهت انتخاب عوارض شبه‌پایدار نتایج خوبی داشته است [۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. در این تحقیق از تبدیل مولفه‌های اصلی جهت انتخاب این اهداف استفاده شده است. در ابتدا، مناطق مشترک در تصاویر استخراج شده و سپس تصاویر به صورت تقریبی هم مختصات می‌شوند. سپس برای جفت تصاویر، تبدیل مولفه‌های اصلی در حالت چندزمانه و نه چند طیفی محاسبه می‌شود، و با استفاده از نمودار پراکندگی مولفه‌های اول و دوم، PIFها انتخاب می‌شوند. اگر دو تصویر در دو زمان مختلف از یک منطقه اخذ شود و تغییرات پوشش زمینی رخ نداده باشد، این دو دارای همبستگی بوده و اگر نمودار پراکندگی این دو مولفه ترسیم شود در این حالت نمودار به‌صورت یک خط با شیب ۱، خواهد بود. تغییرات در پوشش زمینی باعث خواهد شد که شیب نمودار از حالت خط خارج شود و نمودار پراکندگی به‌صورت شکل (۳) خواهد بود [۱۸]. در این نمودار پراکندگی، پیکسل‌هایی که در راستای محور اصلی قرار می‌گیرند، می‌توانند عوارضی در نظر گرفته شوند که تغییری در دو زمان اخذ تصویر نداشته‌اند و می‌توان آنها را به‌عنوان PIF در نظر گرفت[۹]. در این حالت اگر محور اصلی محاسبه شود، می‌توان با تعیین یک محدوده در دو طرف محور اصلی، پیکسل‌های PIF را انتخاب نمود.



شکل ۳: نمودار پراکندگی مولفه‌های اول و دوم تصاویر پایه و هدف. پیکسل‌هایی که بر روی محور اصلی قرار می‌گیرند، دارای کمترین تغییرات بوده‌اند، بازسازی شده از [۸].

- **محاسبه ضرائب نرمالیزاسیون**

حال برای تعیین ضرائب نرمالیزاسیون برای هر تصویر جهت انتقال آن به سطح رادیومتریکی مبنا، میانگین $\overline{S}_j$ و انحراف معیار σ_{Q_j} پیکسل‌های PIF انتخاب شده بایستی محاسبه شود. بر اساس رابطه (۹) خواهیم داشت:

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

رابطه (۹)
$$gain(j)=\frac{\sigma_{Q_{ref}}}{\sigma_{Q_j}}\ ;\ Offsset(j)=\overline{Q}_{ref}-\frac{\sigma_{Q_{ref}}}{\sigma_{Q_j}}\times\overline{Q}_j$$

بـرای حفـظ قـدرت تفکیـک رادیـومتریکی، $\sigma_{Q_{ref}}$ و $\overline{Q}_{ref}$ باید به نحـوی انتخـاب شـوند کـه مقـدار gain بزرگتر یا مساوی ۱ و مقدار offset بزرگتـر یـا مسـاوی صفر شود. بـدین منظـور اگـر $\sigma_{Q_{ref}}=\max(\sigma_{Q_j})$ و $\overline{S}_{ref}=\max((\frac{\sigma_{Q_{ref}}}{\sigma_{Q_j}})\times\overline{Q}_j)\ ,\ j=1,2,3,..,m$ انتخـــاب شـــوند، شـــرایط $gain(j)\geq 1$ و $Offset(j)\geq 0$ برقرار خواهند شد[۹].

- **کنترل کیفیت و عملیات تکرار**

برای به‌دسـت آوردن نتـایج دقیـق، کنتـرل کیفیـت از اهمیـت خاصـی برخـوردار اسـت. راهکارهـای مختلـف جهت این امر وجـود دارد بـه عنـوان مثـال اسـتفاده از داده‌های زمینی یا عکس های هوایی یکی از روش‌هـای بررسی صحت الگوریتم می باشد ولیکن اخذ این داده‌ها مشکل است [۴]. در این تحقیق، کنترل کیفیـت در دو مرحله صورت می‌گیرد. یکی در مرحله انتخاب PIF هـا و دیگـــری بعـــد از اعمـــال ضـــرائب نرمالیزاســـیون رادیومتریکی بر روی تصاویر می‌باشد. در مرحله انتخـاب PIF ها، برای تعیـین محـدوده‌ای از محـور اصـلی کـه این انتخاب در آن صورت بگیـرد، از معیـار همبسـتگی استفاده می‌گردد. برای این منظـور ضـرایب همبسـتگی خطـــی بـــین مجموعـــهPIF هـــای انتخـــاب شـــده محاسبه می‌شود. اگر ضریب همبستگی کـوچکتر از ۰/۹ باشد آن مجموعه داده به عنوان PIF انتخاب نمی‌شـود. بدین منظور می‌توان مقدار همبستگی را از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود [۴].

رابطه (۱۰)
$$\rho_{12}=\frac{\sigma_{12}}{\sqrt{\sigma_1.\sigma_2}}$$

در رابطه فوق، ρ_{12} ضریب همبستگی مجموعه PIF هـا در دو تصویر، σ_{12} کوواریانس مجموعـه PIF هـا در دو تصویر، σ_1 انحراف معیار PIF ها در تصـویر اول و σ_2 انحراف معیار PIF ها در تصویردوم، می‌باشد.

پس از اعمـال ضـرائب نرمالیزاسـیون بـر روی تصـاویر، کنترل کیفیت با اسـتفاده از تبـدیل مولفـه‌هـای اصـلی صورت می‌پـذیرد. در صـورتی کـه شـیب محـور اصـلی نزدیـک بـه ۱ باشـد نرمالیزاسـیون دقـت خـوبی دارد در غیر این صورت PIF های جدید انتخاب مـی‌شـوند و الگوریتم مجدداً اجرا مـی‌شـود تـا شـیب محـور اصـلی نزدیک به ۱ شود[۹].

۲-۲-۲- هم مختصات سازی تصاویر

پس از نرمالیزاسیون رادیومتریکی، هم مختصات سـازی تصاویر از پیش‌نیازهـای اساسـی الگـوریتم آشکارسـازی تغییرات می‌باشد. در این تحقیـق هـم‌مختصـات‌سـازی به‌صورت خودکار انجام شده است. اساس این الگـوریتم، تناظریابی تصـویری اسـت و ایـن تناظریـابی بـا هـدف بهینـه‌سـازی موقعیـت نقـاط کنتـرل معرفـی شـده در ابتدای برنامه صورت می‌گیرد.

در روش خودکـار، بـه‌منظـور انجـام صـحیح عملیـات هم مختصات نمودن تصاویر، پیش از هـر اقـدامی ابتـدا بایستی نویز از روی مجموعه تصاویر حذف شود. پس از حـذف نـویز از روی مجموعـه تصـاویر در مرحلـه اول، کاربر یک سری نقاط ثابت در تصویر مرجـع را یافتـه و مختصات این نقاط را در این تصویر به عنوان ورودی به برنامه معرفی می‌کند. حال با معرفی درجه معادله چنـد جمله‌ای[1]، ضرایب چنـد جملـه‌ای محاسـبه مـی‌شـود و با اعمال این ضرایب بر روی تصویر هـدف، ایـن تصـویر بـا توجـه بـه ویژگـی‌هـای هندسـی تصـویر مرجـع بازسازی می‌شود و برای رسیدن به دقت مورد نظـر کـه در حـد کسـری از پیکسـل مـی‌باشـد، بایسـتی تکـرار صـورت گیـرد. حـال بـرای ایـن تکـرار وجـود معیـار و

[1] Polynomial

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

شرط‌هایی ضروری است. این معیارها موفقیت الگوریتم را در هم مختصات نمودن تصاویر می‌سنجند.

در این تحقیق از معیار ناهمبستگی تصاویر استفاده شده است که برای همگرا شدن نتایج به دقت مورد نظر، لازم است در مراحل تکراری این معیار کمینه شود. این معیار به صورت کلی بین دو تصویر محاسبه می‌شود و در صورتی که به حد مورد نظر در حلقه تکرار شرطی نرسد، لازم است الگوریتم اصلی برنامه مجدداً اجرا شود. بدین‌ترتیب مجدداً ضرایب چند جمله‌ای محاسبه شده و دوباره تصویر هدف نسبت به تصویر مرجع هم مختصات می‌شود. درصورتی که معیار ناهبستگی در حد معرفی شده در برنامه کمینه شده باشد در این صورت الگوریتم همگرا شده و تصویر خروجی حاصل می‌شود.

- **حذف نویز بر روی تصاویر**

در روش خودکار، به دلیل استفاده از تناظریابی، نویز بر روی تصاویر منجر به ایجاد خطا در مجموعه جواب‌های نهایی می‌شود. به‌منظور حذف نویز می‌توان از انواع فیلترهای پایین‌گذر نظیر فیلتر میانگین استفاده کرد. در این تحقیق برای نیل به این هدف، از کرنل گوسی به‌صورت رابطه (۱۱)، استفاده گردید [۱۹] و با عملیات کانولوشن این فیلتر پایین گذر بر روی تصاویر، میزان نویز در آنها کاهش پیدا کرد.

رابطه (۱۱)

$$\text{Kernel}=\frac{1}{16}\begin{bmatrix}1 & 2 & 1\\ 2 & 4 & 2\\ 1 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

- **محاسبه ضرایب چند جمله‌ای و اعمال آنها بر روی تصویر هدف**

پس از اعمال فیلتر و حذف نویز بر روی تصاویر، یکسری نقاط کنترل اولیه بر روی تصویر مرجع انتخاب گردید، این نقاط کنترل دارای پراکندگی یکنواختی بر روی تصویر بوده و تعداد آنها نیز متناسب با درجه چند جمله‌ای (N) مورد استفاده، برابر با $(N+1)^2$ می‌باشد. به منظور سرعت بخشیدن به اجرای الگوریتم می‌توان مختصات تقریبی نقاط کنترل در تصویر دوم را نیز به الگوریتم معرفی نمود. در غیر این صورت، مختصات نقاط کنترل در تصویر هدف برابر مختصات این نقاط در تصویر مرجع در نظرگرفته می‌شود. پس از این کار ضرایب چند جمله‌ای محاسبه گردیده و با استفاده از این ضرایب، تصویر هدف دوباره بازسازی می‌گردد.

- **نرمال‌سازی رادیومتریکی تصاویر**

از آنجایی که در روش خودکار از تکرار برای بهینه‌یابی موقعیت نقاط کنترل استفاده می‌شود، لازم است تصاویر مرجع و هدف در هر بار تکرار، به لحاظ رادیومتریکی مجدداً نسبت بهم هم‌سان‌سازی شوند. چرا که به دلیل استفاده از معیار ناهمبستگی برای سنجش دقت هم مختصات‌سازی تصاویر، همسان بودن ویژگی‌های رادیومتریکی تصاویر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین ترتیب در هر مرحله، با استفاده از رابطه (۱۲)، تصویر مرجع با تصویر هدف نرمال‌سازی رادیومتریکی می‌شود.

رابطه (۱۲)

$$I_1^{Normalized}=I_1\times\frac{\sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{n_l}I_2(i,j)}{\sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{n_l}I_1(i,j)}$$

که در رابطه فوق I_1 و I_2 به ترتیب تصاویر مرجع و هدف، n_l و n_s تعداد سطرها و ستون‌ها و $I_1^{Normalized}$ تصویر مرجع هم‌سان شده با تصویر هدف می‌باشند.

- **محاسبه معیارنا همبستگی**

در این مرحله، به منظور ارزیابی همگرایی الگوریتم از معیار ناهمبستگی تصاویر که به‌صورت رابطه (۱۴)، تعریف می‌شود، استفاده شده است.

که در رابطه‌های (۱۳ و ۱۴)، I_1 و I_2 به ترتیب تصاویر مرجع و هدف و *Correlation _badness* معیار نا همبستگی می‌باشند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

اگر در این مرحله، الگوریتم به حد آستانه مورد نظر رسید، تصویر هم مختصات شده نهایی تولید گردیده و در غیر این‌صورت یکسری مختصات جدید برای نقاط کنترل محاسبه می‌گردد. بدین‌منظور الگوریتم در تصویر دوم در یک پنجره به ابعاد ۴×۴ حول مختصات قبلی نقاط کنترل جستجو نموده و نقطه‌ای که دارای بیشترین همبستگی با نقطه مورد نظر در تصویر اول را دارا می‌باشد، پیدا نموده و آن را به‌عنوان مختصات جدید نقطه کنترل در نظر گرفته و الگوریتم دوباره تکرار می‌گردد.

$$Correlation = \frac{\sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{n_l}(I_2(i,j)-\bar{I}_2)\times(I_1(i,j)-\bar{I}_1)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{n_l}(I_2(i,j)-\bar{I}_2))^2\times(\sum_{i=1}^{n_s}\sum_{j=1}^{n_l}(I_1(i,j)-\bar{I}_1))^2}}$$

رابطه (۱۳)

$$Correlation_Badness = 1 - Correlation$$

رابطه (۱۴)

۳- ارزیابی نتایج

به‌منظور ارزیابی نحوه عملکرد الگوریتم نرمالیزاسیون مورد استفاده در این تحقیق، از بررسی نتایج این الگوریتم در نرمال‌سازی رادیومتریکی تصاویر اسپات ۵ و کوئیک‌برد، بهره برده شد.

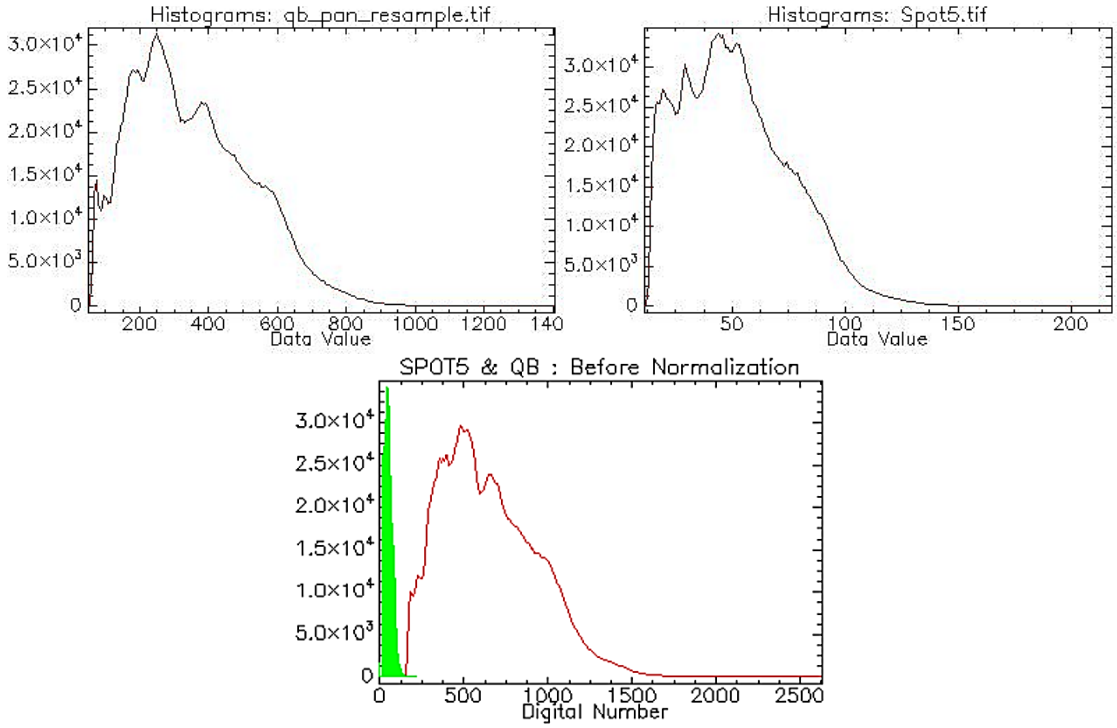
در شکل (۴)، هیستوگرام دو تصویر قبل از نرمال‌سازی رادیومتریکی نشان داده شده است و درشکل (۵)، هیستوگرام دو تصویر نرمال شده نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۴) مشخص است دامنه اعداد دو تصویر یکسان نبوده و همچنین شکل دو هیستوگرام متفاوت است که نشان دهنده تفاوت سطح رادیومتریکی دو تصویر می‌باشد. پس از نرمال‌سازی رادیومتریکی، دو تصویر به یک سطح رادیومتریکی مرجع برده شده و شکل هیستوگرام هر دو تصویر نیز مشابه گردیده است.

همچنین با مقایسه پارامترهای آماری محاسبه شده (جدول‌های (۱ و۲)) و همچنین بررسی بصری تصاویر نشان‌دهنده این است که این روش نرمال‌سازی رادیومتریکی تصاویر چند زمانه، هر دو تصویر را به یک سطح رادیومتریکی مناسب برده است، در این صورت اعمال الگوریتم تناظریابی برروی تصاویر در مرحله هم‌مختصات سازی با نتایج بهتری همراه خواهد بود.

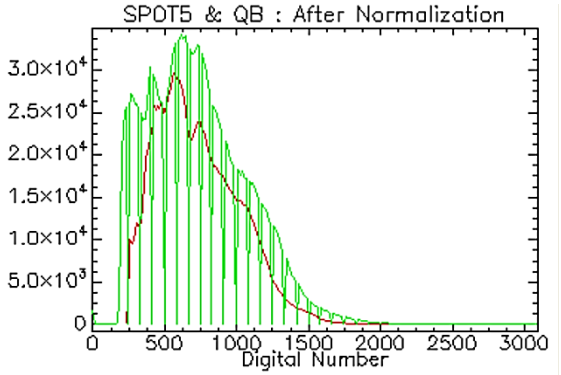
به منظور ارزیابی دقت عملیات هم مختصات نمودن، یکسری نقاط چک بر روی تصویر انتخاب گردید و مختصات آنها در تصاویر متناظر محاسبه گردید و بر اساس این مختصاتها، مقدار خطای میانگین مربعی (RMSE) نقاط چک به‌دست آمد. در شکل (۶)، نقاط چک انتخابی بر روی تصویر و در جدول (۳) مقادیر RMSE این نقاط نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]



شکل ۴: بالا سمت راست هیستوگرام تصویر اسپات ۵، سمت چپ هیستوگرام تصویر کوئیک‌برد، پایین هیستوگرام دو تصویر قرار گرفته بر روی هم، قبل از نرمال‌سازی رادیومتریک



شکل ۵: هیستوگرام تصاویر مورد آزمایش پس از نرمال‌سازی رادیومتریک.

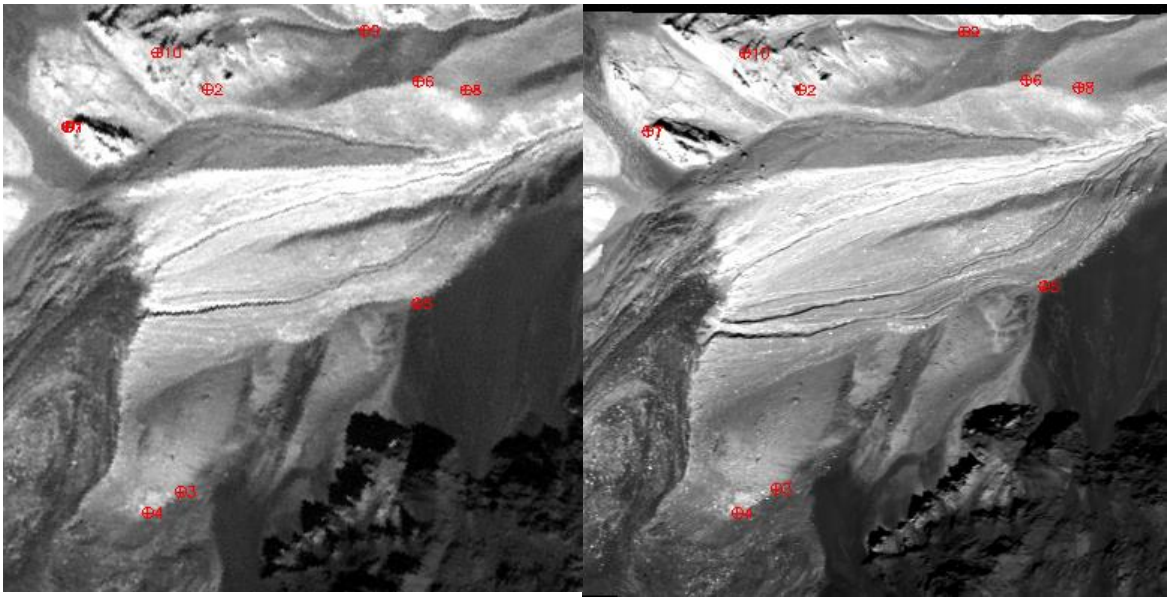
جدول ۱ : ویژگی‌های آماری تصاویر قبل از نرمال‌سازی

آماره‌های پایه تصاویر قبل از نرمالیزاسیون	MIN	MAX	MEAN (μ)	Standard Deviation (σ)
تصویر Quickbird(۲۰۰۵)	۱۵۰/۷۰	۲۶۲۷/۵۷	۶۵۳/۳۹	۲۸۳/۹۵
تصویر SPOT5 (۲۰۰۳)	۱۱	۲۱۸	۵۱/۸۳	۲۴

جدول ۲ : ویژگی‌های آماری تصاویر بعد از نرمالیزاسیون

آماره‌های پایه تصاویر بعد از نرمالیزاسیون	MIN	MAX	MEAN (μ)	Standard Deviation (σ)
تصویر QuickBird(۲۰۰۵)	۲۲۹/۷۰	۲۷۰۶/۵۷	۷۳۲/۳۹	۲۸۳/۹۵
تصویر SPOT5 (۲۰۰۳)	۱۵۷	۳۰۸۹/۰۶	۷۳۴/۴۶	۳۴۰/۱۳

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]
[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]



شکل ۶: نقاط چک انتخابی بر روی تصاویر اسپات ۵ و کوئیک‌برد برای ارزیابی عملکرد الگوریتم خودکار هم مختصات نمودن

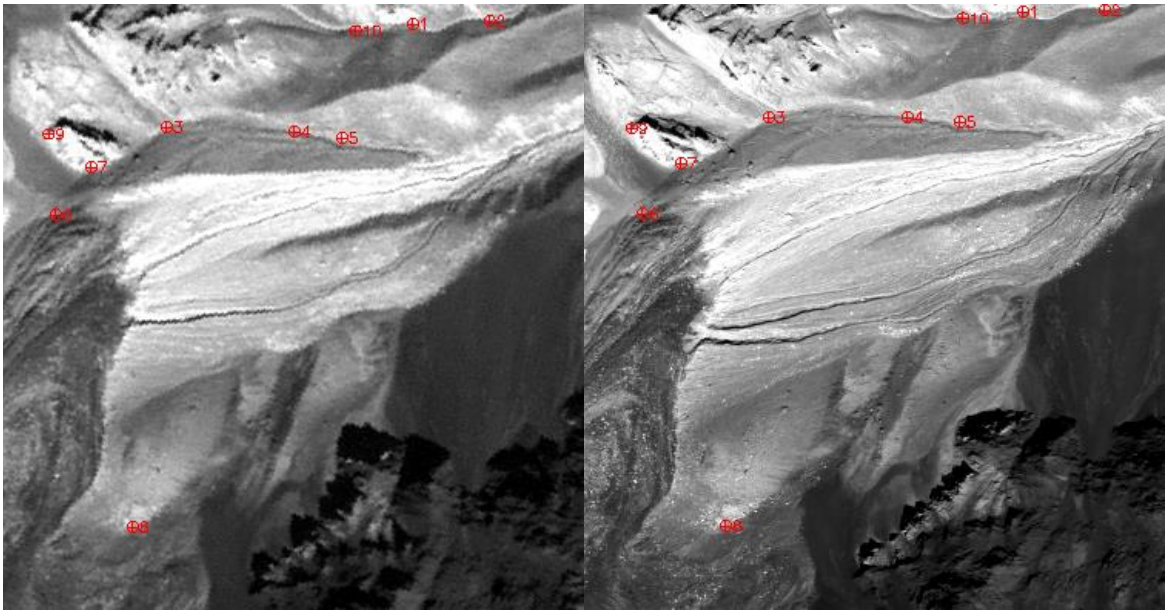
جدول ۳ : مقادیر RMSE نقاط چک انتخابی بر روی تصاویر اسپات ۵ و کوئیک‌برد

شماره نقطه	خطا در جهت x	خطا در جهت y	مربع بردار خطا
۱	-۰/۶۵	۰/۱	۰/۴۳
۲	۰/۱۳	-۰/۱۲	۰/۰۳
۳	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۱
۴	-۰/۰۴	-۰/۳۵	۰/۱۲
۵	۰/۱۱	۰/۷۹	۰/۶۴
۶	-۰/۴۳	-۰/۴۲	۰/۳۶
۷	-۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۰۹
۸	-۰/۱۶	-۰/۲۴	۰/۰۸
۹	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۰۷
۱۰	۰/۶۶	-۰/۴۵	۰/۶۴
	مقدار RMSE کل		**۰/۵۲**

هم‌چنین برای ارزیابی نحوه عملکرد الگوریتم خودکار هم‌مختصات سازی پیاده‌سازی شده در این تحقیق، از مقایسه آن با الگوریتم مشابه در نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. درشکل (۷)، نقاط کنترل انتخاب شده با استفاده از الگوریتم خودکار هم‌مختصات نمودن در نرم‌افزار ENVI و در جدول (۴)، مقادیر RMSE این نقاط کنترل نشان داده شده است. با توجه به نتایج جدول (۴)، بایستی نقاط به‌دست آمده از الگوریتم هم مختصات‌سازی موجود درنرم افزار ENVI، دوباره مورد بررسی قرار گرفته و کاربر محل دقیق آنها را مشخص نماید که نیاز به نظارت عامل انسانی وجود خواهد داشت. با مقایسه مقادیر RMSE منتج از دو روش، بهبود قابل توجهی در دقت عملیات هم مختصات‌سازی تصاویر با استفاده از الگوریتم پیشنهادی مشاهده می‌شود.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]



شکل ۷ : نقاط کنترل انتخابی بر روی تصاویر اسپات ۵ و کوئیک‌برد، که با استفاده از الگوریتم هم مختصات نمودن خودکار تصاویر موجود در نرم افزار ENVI به‌دست آمده است.

جدول ۴: مقادیر RMSE نقاط کنترل انتخابی برروی تصاویر اسپات ۵ و کوئیک‌برد، با استفاده از روش خودکار هم‌مختصات نمودن موجود در نرم افزار ENVI

مربع بردار خطا	خطا در جهت y	خطا در جهت x	شماره نقطه
۱٫۰۴	-۰٫۹۶	۰٫۳۵	۱
۳٫۲۱	-۰٫۳۳	-۱٫۷۶	۲
۰٫۷۲	-۰٫۶۶	-۰٫۵۳	۳
۱٫۱۰	۰٫۷۰	۰٫۷۸	۴
۵٫۲۴	۰٫۶۰	۲٫۲۱	۵
۴٫۰۶	۰٫۲۴	-۲٫۰	۶
۰٫۲۱	-۰٫۳۴	۰٫۳۱	۷
۰٫۳۰	۰٫۲۷	۰٫۴۸	۸
۰٫۴۳	۰٫۴۴	۰٫۴۹	۹
۰٫۱۰	۰٫۰۳	-۰٫۳۱	۱۰
۱٫۲۸	مقدار RMSE کل		

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات زمینی و همچنین تنوع و افزایش روزافزون حجم این نوع داده‌ها، استفاده از الگوریتم‌های خودکار جهت پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای ضروری به‌نظر می‌رسد. یکی از کاربردهای مهم تصاویر ماهواره‌ای، ارزیابی تغییرات پوشش‌های سطح زمین می‌باشد. به منظور ارزیابی و کشف تغییرات، بایستی تصاویر از نظر رادیومتریکی و هندسی هم‌سان باشند تا بتوان به‌صورت خودکار تغییرات سطح را به‌دست آورد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

در این تحقیق به منظور ارزیابی تغییرات یخچال علم چال، از تصاویر ماهواره‌ای اسپات ۵ و کوئیک‌برد استفاده شده و جهت نرمال‌سازی رادیومتریک و هم مختصات سازی این تصاویر الگوریتم‌های خودکار پیشنهاد داده شد.

درحالت نسبی جهت نرمال‌سازی رادیومتریک، یکی از روش‌های عمومی، تعیین و محاسبه یک رابطه خطی بین پیکسل‌های متناظر در دو تصویر تحت عنوان عوارض شبه‌پایدار (PIF) است که ویژگی‌های طیفی این پیکسل‌ها در طول زمان تغییر نکرده باشد. در الگوریتم به‌کار گرفته شده در این تحقیق جهت انجام نرمال‌سازی رادیومتریک، انتخاب این عناصر بصورت آماری و خودکار می‌باشد. در این الگوریتم، تصاویر ماهواره‌ای به یک سطح رادیومتریکی مرجع که با استفاده از اطلاعات دو تصویر محاسبه شده‌اند، منتقل و از این طریق به لحاظ رادیومتریکی نرمال گردیدند. در این الگوریتم از تبدیل مولفه های اصلی (PCA) جهت انتخاب PIFها و کنترل کیفیت نتایج استفاده گردید.

پس از نرمال‌سازی رادیومتریک دو تصویر، هم‌مختصات سازی آنها نیز به‌صورت خودکار انجام شد. جهت انجام این‌کار، با استفاده از تناظریابی و با هدف بهینه‌سازی موقعیت نقاط کنترل اولیه، تصاویر نسبت بهم هم مختصات گردیدند. جهت ارزیابی نتیجه هم مختصات سازی، از معیار ناهمبستگی تصاویر استفاده شده است که برای همگرا شدن نتایج به دقت مورد نظر، لازم است در مراحل تکراری این معیار کمینه شود و تا زمانی که این معیار کمینه نشود، عملیات هم مختصات سازی ادامه پیدا می‌نماید.

با بررسی هیستوگرام دو تصویر قبل و بعد از نرمال‌سازی رادیومتریک، مشخص گردید که هر دو هیستوگرام در یک سطح رادیومتریکی قرار دارند و همچنین آماره‌های محاسبه شده هر دو تصویر بعد از نرمال‌سازی رادیومتریکی نشان دهنده نزدیکی این آماره‌ها بهم می‌باشد. همچنین بررسی نتایج حاصل از هم مختصات سازی با استفاده از ۱۰ نقطه چک مستقل، نشان دهنده خطای زیر پیکسل این روش می‌باشد. پس از انجام نرمال‌سازی رادیومتریک و هم مختصات سازی دو تصویر، می‌توان با استفاده از تفسیر بصری و یا روش‌های پیکسل مبنا و به‌صورت خودکار، تغییرات عوارض سطح زمین را مورد بررسی قرار داد.

مراجع

[1] J. Im and J. R. Jensen, "A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification," Remote Sensing of Environment, vol. 99, pp. 326-340, 11/30/ 2005.

[2] A. Eivazi, A. Kolesnikov, V. Junttila, and T. Kauranne, "Variance-preserving mosaicing of multiple satellite images for forest parameter estimation: Radiometric normalization," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 105, pp. 120-127, 2015.

[3] A. A. N. Morton J.canty "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation," Remote Sensing of Environment(ELSEVIER), 2007.

[4] Y. Du, P. M. Teillet, and J. Cihlar, "Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection," Remote sensing of Environment, vol. 82, pp. 123-134, 2002.

[5] F. G. Hall, Strebel, D. E., Nickeson, J. E., Goetz, S. J., "Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multi-data, multi-sensor images.," Remote Sensing of Environment(ELSEVIER), vol. 35, pp. 11-27, 1991.

[6] D. Yuan and C. D. Elvidge, "Comparison of relative radiometric normalization techniques," ISPRS Journal of

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 51, pp. 117-126, 1996.

[7] J. Heo, Fitzhugh, F. W. , "A standardized radiometric normalization method for change detection using remotely sensed imagery. ," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 60, pp. 173-181, 2000.

[8] S.-H. Liu, C.-W. Lin, Y.-R. Chen, and C.-M. Tseng, "Automatic radiometric normalization with genetic algorithms and a Kriging model," Computers & Geosciences, vol. 43, pp. 42-51, 2012.

[9] P. M. T. Yong Du, Josef Cihlar, "Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection," Remote Sensing of Environment(ELSEVIER), vol. 82, pp. 123-134, 2002.

[10] V. Sadeghi, H. Ebadi, and F. F. Ahmadi, "A new model for automatic normalization of multitemporal satellite images using Artificial Neural Network and mathematical methods," Applied Mathematical Modelling, vol. 37, pp. 6437-6445, 2013.

[11] V. Sadeghi, F. F. Ahmadi, and H. Ebadi, "A new automatic regression-based approach for relative radiometric normalization of multitemporal satellite imagery," Computational and Applied Mathematics, pp. 1-18, 2015.

[12] R. E. Kennedy and W. B. Cohen, "Automated designation of tie-points for image-to-image coregistration," International Journal of Remote Sensing, vol. 24, pp. 3467-3490, 2003/01/01 2003.

[13] B. Zitova and J. Flusser, "Image registration methods: a survey," Image and vision computing, vol. 21, pp. 977-1000, 2003.

[14] S. Leprince, S. Barbot, F. Ayoub, and J. P. Avouac, "Automatic and Precise Orthorectification, Coregistration, and Subpixel Correlation of Satellite Images, Application to Ground Deformation Measurements," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 45, pp. 1529-1558, 2007.

[15] Y. Han, F. Bovolo, and L. Bruzzone, "An Approach to Fine Coregistration Between Very High Resolution Multispectral Images Based on Registration Noise Distribution," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 53, pp. 6650-6662, 2015.

[16] A. Sedaghat, M. Mokhtarzade, and H. Ebadi, "Uniform Robust Scale-Invariant Feature Matching for Optical Remote Sensing Images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, pp. 4516-4527, 2011.

[17] L. M. Fonseca and B. Manjunath, "Registration techniques for multisensor remotely sensed imagery," PE & RS-Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 62, pp. 1049-1056, 1996.

[18] N. Bao, A. M. Lechner, A. Fletcher, A. Mellor, D. Mulligan, and Z. Bai, "Comparison of relative radiometric normalization methods using pseudo-invariant features for change detection studies in rural and urban landscapes," Journal of Applied Remote Sensing, vol. 6, pp. 063578-1-063578-18, 2012.

[19] [A. Bovik, "Preface," in Handbook of Image and Video Processing (Second Edition), ed Burlington: Academic Press, 2005, pp. v-vi.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.1, Spring 2018

A method for normalization and co-registration of multi temporal imagery for change detection

Yousef Rezaei[*1], Mohammad Javad Valadan Zouje[2], Mahmood Reza Sahebi [3]

1- Assistant professor, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University
2- Professor, photogrammetry and Remote sensing Department, Geodesy and Geomatics Faculty, K.N.Toosi university of Technology
3- Associate professor, photogrammetry and Remote sensing Department, Geodesy and Geomatics Faculty, K.N.Toosi university of Technology

Abstract

The multi-temporal Remote sensing data are unique tools for monitoring and detecting land cover change over time. Radiometric and geometric consistency among these multi-temporal data are difficult to maintain, due to variations in sensor characteristics and view, solar angle, and atmospheric conditions, and these variations can obscure surface change detection. The radiometric normalization and geometric co-registration of multi-temporal satellite imagery of the same terrain is often necessary for land cover change detection, e.g., relative differences. In previous studies, in order to obtain radiometric correction of multi temporal imagery, the ground reference data or pseudo-invariant features (PIFs) were used. Using the ground reference data collection is costly and difficult to acquire for most satellite remotely sensed images and the selection of PIFs is generally subjective and need the user's supervision. In this research, we demonstrate a method for radiometric normalization and geometric co-registration between multi temporal images of the Alam-chal Glacier. The selection of PIFs has been done statistically, and the satellite images are normalized radiometrically to a common scale. In order to image co-registration, first the noise was removed and then repeatedly two images were registered using polynomials models and image matching. The proposed method was evaluated by histogram comparison, statistical parameters and independent check points. The results show that the statistical parameters of two image are nearly the same and the total RMSE of check points was 0.52 pixel.

Key words: Multi temporal imagery, radiometric normalization, co-registration, Pseudo Invariant Feature

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-01-02]

[DOI: 10.29252/jgit.6.1.155]

Correspondence Address. Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
Tel: +98 8138292505
Email : yrezaei@basu.ac.ir