نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷

Vol.6, No.3, Autumn 2018

۶۷-۹۱

ارائه یک روش مورفولوژی مبنا جهت فیلترینگ ابرنقاط برای استخراج مدل رقومی زمین

بهناز بیگدلی[1*]، حامد امینی امیرکلائی[2]، پرهام پهلوانی[3]

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران-دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشجوی دکترای فتوگرامتری دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

۳- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

مدل رقومی زمین ازجمله مهم‌ترین محصولات مکانی است که از دیرباز پایه بسیاری از پروژه‌های کاربردی مرتبط با اطلاعات مکانی می‌باشد. امروزه می‌توان با استفاده از تکنولوژی سنجنده لایدار به ابرنقطه‌ای متراکم از سطح زمین دست یافت. درواقع ابرنقطه حاصل، یک مدل رقومی سطحی است که حاوی عوارض زمینی و غیرزمینی است. هدف از این مقاله، ارائه روشی کارآمد برای استخراج مدل رقومی زمین از مدل سطحی به‌دست آمده از ابرنقاط می‌باشد. در این راستا، ابتدا با انجام پیش‌پردازش، نویز موجود در داده‌ها حذف گشته و سپس داده‌های نامنظم ابرنقاط به داده‌ای منظم و رستری تبدیل شدند. در مرحله بعد با پیشنهاد روش تورم ژئودزیک تدریجی به‌همراه روش جستجو و برچسب‌زنی، به شناسایی و حذف عوارض غیرزمینی پرداخته شد. اساس این روش افزایش المان ساختاری به‌صورت مرحله‌ای، بررسی میزان ناهمگنی ارتفاعی و حذف تدریجی عوارض غیرزمینی است. همچنین بهره‌گیری از روش ابتکاری جستجو برچسب‌زنی که براساس میزان تغییر شیب عمل می‌نماید، به حذف بهتر و دقیق‌تر عوارض غیرزمینی کمک شایان توجهی نمود. در نهایت با حذف عوارض غیرزمینی و درون‌یابی مناطق ازدست‌رفته، مدل‌رقومی زمین به‌دست می‌آید. جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از داده‌های مرجع ارائه شده توسط سازمان بین المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (*ISPRS*) استفاده شد. با ارزیابی در ۵ ناحیه مطالعاتی به ترتیب مقادیر ۲٫۸۷٪، ۸٫۶۱٪، ۳٫۶۲٪ و ۸۹٫۶۸٪ برای میانگین خطای نوع اول، خطای نوع دوم، خطای کلی و خطای کاپا به‌دست آمد که نشان از توانایی الگوریتم پیشنهادی در حذف عوارض غیرزمینی داشت.

کلیدواژه‌ها: مدل رقومی زمین، ابرنقاط، تورم ژئودزیک، برچسب‌گذاری، عوارض غیرزمینی

نویسنده مکاتبه‌کننده:

تلفن: ۰۲۳۳-۲۳۰۰۲۵۹

Email: bigdeli@shahroodut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

۱- مقدمه

سطح زمین یک سطح پیوسته است و داشتن یک مدل کامل از این سطح نیازمند تعداد نامحدودی نقطه است که در عمل ممکن نیست. از این‌رو نمونه‌برداری نقاط زمینی می‌تواند اطلاعات موردنیاز را فراهم سازد. نمونه‌برداری درواقع به معنای انتخاب مجموعه‌ای از نقاط زمینی با دقت بالا است. مدل رقومی زمین (DTM)[1] توسط تابعی ریاضی فاصله بین این نقاط را پر کرده و از حالت گسسته به‌صورت پیوسته درمی‌آورد [۱]. در حقیقت تابع نمایش‌دهنده سطح و نقاط نمونه‌برداری، اجزای تشکیل‌دهنده DTM می‌باشند. ازآنجاکه در مدل رقومی زمین مختصات ارتفاعی تابعی از دو مؤلفه مسطحاتی است، فضای DTM را می‌توان یک فضای ۲.۵ بعدی نامید ($z = f(x,y)$) [۱].

DTM دارای کاربردهای متنوع و گسترده‌ای در علوم و حوزه‌های مختلف اطلاعات مکانی است که از آن جمله می‌توان به برنامه‌ریزی و طراحی عمرانی، سه‌بعدی سازی برای اهداف نظامی، طراحی و برنامه‌ریزی شهری، تجزیه و تحلیل‌ها و شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی، تجزیه و تحلیل‌ها دید بین اشیا روی سطح زمین، تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفولوژی و فرسایش خاک و تجزیه و تحلیل‌های زمین آمار اشاره نمود [۲]. از این‌رو استخراج DTM با استفاده از داده‌های حاصل از سنجنده‌های مختلف بسیار حائز اهمیت است. در این راستا، سنجنده‌های غیرفعال نوری به‌صورت گسترده جهت محاسبه مختصات سه‌بعدی پس از تناظریابی زوج تصویر استفاده گشته‌اند [۲]. با ظهور سنجنده لایدار و اخذ مستقیم داده‌های سه‌بعدی از سطح زمین با تراکم و دقت بالا، استفاده از این داده‌ها در جهت به‌دست آوردن DTM مورد بررسی قرار گرفت. امروزه پهپادهای سنجش‌ازدوری با توانایی اخذ تصاویر زیاد و با قدرت تفکیک بالا از یک ناحیه، امکان تناظریابی چگال و دست‌یابی به ابرنقاط با تراکم بالا، دقت مناسب و هزینه پایین را فراهم نموده‌اند. با دسترسی به ابرنقاط، تولید DTM با استفاده از مدل رقومی سطحی[2] (DSM) که می‌تواند حاصل از تناظریابی و یا اخذ مستقیم سنجنده لایدار باشد، ازجمله چالش‌های مهم تحقیقات است [۳]. مدل رقومی سطحی نمایش دهنده مدل سطحی درختان، ساختمان‌ها، و دیگر عوارض بالای سطح زمین می‌باشد. عوارض طبیعی و مصنوعی زمین عامل جداکننده DTM و DSM از یکدیگر می‌باشند. ازاین‌رو، با در اختیار داشتن DSM، ساخت DTM مطرح می‌شود که پایه بسیاری از فرآیندها نظیر شناسایی و طبقه‌بندی عوارض روی سطح زمین می‌باشد [۴]. زیرا از تفاضل این‌دو، موقعیت و ارتفاع عوارض طبیعی و مصنوعی زمین نظیر درختان و ساختمان‌ها استخراج می‌گردد که جهت شناسایی عوارض مختلف بسیار حائز اهمیت می‌باشد. انجام دستی استخراج DTM زمان‌بر و خسته‌کننده بوده و درصد اشتباه در آن زیاد می‌باشد. در انجام دستی باید کل منطقه به‌دقت موردبررسی و تفسیر قرار گرفته و نقاط حساس به‌درستی انتخاب گردند.

از جمله اولین تحقیقات برای جداسازی عوارض غیرزمینی و فیلتر کردن آن‌ها از داده‌های ابرنقاط توسط کیلیان و همکاران [۴] صورت گرفت که در آن از توابع مورفولوژی برای حذف عوارض غیرزمینی بهره برده است. توابع مورفولوژی برای اعمال نیازمند تعیین المان ساختاری با شکل و اندازه مشخص می‌باشند. در این روش، پس از اعمال فیلتر گشایش مورفولوژی یک پنجره جستجو با ابعاد مشخص استفاده گردید تا در هر اسکن کمینه ارتفاع را شناسایی نماید. سپس با درون‌یابی[3] نقاط حاصله DTM منطقه استخراج گردید. این تحقیق نشان داد که اندازه ابعاد

[1] Digital Terrain Model (DTM)

[2] Digital Surface model (DSM)

[3] Interpolation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

المان ساختاری عملگر گشایش مورفولوژی تأثیر بسیار زیادی بر روی مناطقی دارد که نقطه‌ای در آن مناطق وجود ندارد. کوچک بودن ابعاد فیلتر باعث می‌شود که عارضه مصنوعی حذف نشود و اگر ابعاد فیلتر خیلی زیاد گردد، قسمتی از سطح زمین به‌عنوان عارضه مصنوعی حذف می‌گردد. در این روش به هر نقطه وزنی داده شده و طبق آن ابعاد پنجره گشایش[1] انتخاب شدند. سوهن و دومن [۵] تولید DTM را با یک روند شناسایی دو مرحله‌ای متراکم‌سازی روبه‌بالا و روبه‌پایین انجام دادند. در متراکم‌سازی رو به پائین چهار نقطه زمینی در چهار طرف ابرنقاط درنظر گرفته شد و مستطیلی تشکیل داده شد که تمام نقاط را دربر داشت. سپس این نقاط به روش دلونی[2] مثلث‌بندی شدند تا تحلیل پردازش آن‌ها امکان‌پذیر باشد. در داخل هر یک از مثلث‌ها کم‌ارتفاع‌ترین نقطه به‌عنوان نقطه زمینی در نظر گرفته شد و مثلث‌بندی با نقاط جدید تکرار گشت. روند شناسایی کم‌ارتفاع‌ترین نقطه و مثلث‌بندی باقی نقاط تا جایی ادامه می‌یابد که دیگر هیچ نقطه‌ای پائین سطح مثلث‌بندی شده، قرار نگیرد [۵]. در متراکم‌سازی روبه‌بالا سطح مثلث‌بندی تولیدشده در مرحله قبل به‌عنوان تقریب اولیه‌ای از سطح زمین مورد استفاده قرار گرفته و طی روندی بهینه گردید. بدین‌صورت که یک آستانه ارتفاعی برروی سطح در نظر گرفته و یک سطح فرضی مشابه در بالای آن ایجاد شد. سپس تمامی نقاط محصور بین این دو سطح به‌عنوان نقاط زمینی در نظر گرفته شدند. این روند تا زمانی ادامه یافت که دیگر هیچ نقطه‌ای بین سطح اولیه و سطح فرضی بالای آن قرار نگیرد. درنهایت سطح به‌دست‌آمده بهترین تقریب از DTM است. ژانگ و همکاران [۶] از یک روند پیش رونده برای حذف عوارض غیرزمینی و رسیدن به سطح زمین بهره گرفتند. به‌طوری‌که در ابتدا با استفاده از داده‌های لایدار یک سطح شبکه‌بندی منظم[3] اولیه و کمینه ایجاد شد. سپس با استفاده از عملگر مورفولوژی نقاط به دو گروه زمینی و غیرزمینی طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد با در نظرگیری نقاط غیرزمینی و افزایش ابعاد المان ساختاری و حدآستانه مربوط به ارتفاع، شناسایی و حذف عوارض غیرزمینی انجام گردید. این روند تا جایی ادامه یافت که اندازه المان ساختاری از حدآستانه تعیین‌شده، بزرگ‌تر شود. ووسلمن [۷] ساختار هندسی سطح زمین را با استفاده از یک المان ساختاری شبیه به مخروط وارونه با شعاع قاعده معین تقریب زد. در این روش، فرض اساسی اختلاف ارتفاع کم، بین دو نقطه زمینی نزدیک به یکدیگر است. برای هر نقطه یک مخروط وارونه در نظر گرفته شده و نقطه متناظر با هر مخروطی که هیچ نقطه‌ای در زیر آن قرار نگرفت، به‌عنوان نقطه زمینی در نظر گرفته شد. سیتول و ووسلمن [۸] با تعریف حدآستانه‌ای متغیر و متناسب با میزان شیب، به شناسایی و حذف نقاط غیرزمینی پرداختند. به‌طوریکه در مناطق شیب‌دار، اختلاف ارتفاع بیشتری قابل قبول است. اکسلسون [۹] ابتدا با چند نقطه اولیه یک شبکه را ایجاد نمود، سپس برای هر نقطه سه زاویه فضایی - که هر یک میان نقطه موردنظر و سه نقطه از شبکه ایجاد شده بود- محاسبه گردید. اگر مقادیر این زوایا از حدآستانه‌ای کمتر بود، نقطه موردنظر مربوط به DTM در نظر گرفته شده و به شبکه اضافه می‌گردد، در غیر این‌صورت، نقطه موردنظر به‌عنوان نقاط غیرزمینی حذف می‌گردد. کراس و همکاران [۱۰] تقریب اولیه‌ای از DTM را برای شروع الگوریتم استفاده نمودند و با اندازه‌گیری فاصله نقاط از صفحه اولیه به آن‌ها وزن دادند. سپس از نقاط دارای وزن برای تخمین مدل توسط یک مدل تخمین خطی[4] بهره بردند. اگر فاصله نقطه‌ای از صفحه تخمین زده‌شده از حدآستانه

[1] Opening
[2] Delaunay
[3] Grid Surface
[4] Linear Prediction Model

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

مورد قبول بیشتر باشد، آن نقطه به‌عنوان نقطه غیرزمینی حذف گشته و صفحه دوباره برازش داده می‌شود. باندارا و همکاران [۱۱] برای حل مشکل شناسایی نقاط غیرزمینی مربوط به DSM از شبکه عصبی مصنوعی[1] بهره گرفت. یک شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار[2] چند لایه[3] به‌دلیل توانایی مناسب در شناسایی الگو انتخاب شد. کوبلر [۱۲] روندی با عنوان درونیابی تکراری ارائه داد و بر روی نواحی دارای پوشش گیاهی تمرکز نمود. به‌طوری‌که در یک روند تکراری نقاط غیرزمینی شناسایی و حذف گشته و مدل رقومی در هر مرتبه به‌روزرسانی گردید تا نتیجه نهایی به‌دست آید. درواقع در هر مرحله تعدادی از نقاط حذف و با استفاده از مابقی نقاط درون‌یابی انجام گردید تا به‌صورت تدریجی دقت مدل بهبود یابد. تیان و همکاران [۱۳] ابتدا کلاسه‌بندی روی داده‌ها انجام داد و داده‌ها در چهار کلاس زمین، ساختمان، مناطق جنگلی با ارتفاع کم و با ارتفاع زیاد طبقه‌بندی شدند. سپس با استفاده از نقاط موجود در کلاس زمین یک مدل اولیه از داده‌ها ایجاد گردید و هر کلاس به‌صورت جداگانه موردبررسی قرار گرفته و نتایج استخراج DTM بهبود داده شد. پرکو و همکاران [۱۴] با طراحی نوارهای اسکنی در جهات مختلف و بهره‌گیری از پارامتر شیب به شناسایی عوارض غیرزمینی پرداختند. مونگاس و زالیک [۱۵] از فیلترهای مورفولوژی برای حذف خطاهای فاحش استفاده نمود. به‌طوری‌که عملگر گشایش سبب حذف داده‌های بسیار بزرگ و هم‌ارتفاع شدن آن قسمت‌ها با مقادیر اطراف آن و عملگر انسداد[4] باعث حذف مقادیر کوچک و هم ترازی آن‌ها با مقادیر اطراف گردید. در مرحله بعد جهت کاهش تأثیر گرادیان بر سطح، درون‌یابی اسپیلاین صفحه باریک[5] به‌کار گرفته شد. درنهایت جهت افزودن جزئیات به نتایج درون‌یابی از یک فیلتر بالاگذر مولوفوژی مبنا استفاده گردید. به‌طوری‌که در هر مرحله مقادیر باقیمانده‌های سطح درون‌یابی شده محاسبه گشت و با در نظرگیری یک حد آستانه مناسب مقادیر غیرزمینی حذف شدند. یوانا و همکاران [۱۶] بیان نمودند که استفاده تنها از شیب برای شناسایی عوارض غیرزمینی ایراداتی دارد. به‌طوری‌که در شناسایی ساختمان‌های بزرگ با سقف مسطح استفاده از شیب کارآمد نبوده و مقایسه شیب نقاط همسایه تغییری را مبنی بر وجود عارضه غیرزمینی نشان نمی‌دهد. علاوه‌براین به دلیل پیچیدگی بالای سطح زمین استفاده از یک حدآستانه برای شناسایی عوارض غیرزمینی امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین دلیل با در نظر گرفتن نقاط همسایه هر نقطه در یک پنجره ۳×۳، یک صفحه ایجاد گشته و اختلاف ارتفاع نقاط از صفحه مذکور محاسبه گردید. نقاط نزدیک‌تر از حدی به صفحه به عنوان نقاط زمینی انتخاب گشتند. برای جلوگیری از محدود کردن الگوریتم، با در نظر گرفتن یک حد آستانه برای شیب از یک روش خود تطابقی[6] که شیب محلی را در نظر می‌گیرد، استفاده شد. یونفی و همکاران [۱۷] میزان خمیدگی[7] و کشیدگی[8] داده‌های شدت سیگنال لایدار را محاسبه نمودند. سپس نقاط قله[9] مربوط به مقادیر محاسبه، انتخاب و حذف گشتند و دوباره مقادیر کشیدگی و خمیدگی محاسبه گردید تا تمام نقاط بررسی شوند. این دو پارامتر در مناطق گیاهی و زمین دارای مقادیر متفاوتی می‌باشند. در واقع مقادیر این دو پارامتر در مناطق مسطح کم و در مناطق دارای ناهمواری، زیاد می‌باشد. بلیغ جهرمی و همکاران [۱۸]

[1] Artificial Neural Networks (ANN)
[2] Back Propagation
[3] Multi-Layer
[4] Closing

[5] Thin plate Spline
[6] Self-Adaptive
[7] Skewness
[8] Kurtosis
[9] Peak

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

روشی بر مبنای کلاسه‌بندی شبکه عصبی با عنوان BVMS ارائه نمودند. در این روش ابتدا یک کلاسه‌بندی اولیه از طریق بررسی مجزای نقاط، برازش یک صفحه به نقطه موردنظر با درنظرگیری تعدادی همسایه و بررسی میزان زبری نقطه در رابطه با زمینی یا غیرزمینی بودن نقطه تصمیم‌گیری می‌شود. نقاط انتخاب شده در این مرحله به‌عنوان نقاط آموزشی شبکه عصبی برای تعیین ماهیت دیگر نقاط استفاده می‌شود. برای تحلیل بهتر روش‌های موجود استخراج DTM می‌توان آن‌ها در شش گروه مورد بررسی قرار داد که در ادامه به تشریح می‌گردد:

- **عملگرهای قطعه‌بندی مبنا:** روش‌های قطعه‌بندی و خوشه‌بندی از روش‌های رایج در طبقه‌بندی عوارض سطح زمین می‌باشند و در این راستا، تلاش‌های بسیاری در راستای جداسازی و تفکیک ابرنقاط لایدار صورت گرفته است [۱۹ و ۲۰]. درواقع هدف این روش‌ها در ابتدا قطعه‌بندی کردن تمام عوارض سطح زمین و بررسی قطعات شناسایی‌شده به‌جای نقاط به‌صورت مجزا می‌باشد. به عبارت بهتر با این کار سعی دارند با تصمیم‌گیری در مورد ماهیت قطعه‌هایی که از نقاط با ویژگی‌های ساختاری مختلف تشکیل شده‌اند، دقت فرآیند شناسایی عوارض غیرزمینی را بهبود بخشند.
- **عملگرهای مورفولوژی مبنا:** فیلترهای مورفولوژی این را اثبات نموده‌اند که توانایی شناسایی عوارض غیرزمینی را دارا می‌باشند، به‌طوری‌که استفاده مناسب از فیلترهای تورم[1]، فرسایش[2]، انسداد و گشایش می‌تواند به دستیابی دستیابی DTM با دقت مناسب، کمک شایان توجهی نماید [۱۲]. تنوع بالای عوارض غیرزمینی سبب شده است که استفاده از این عملگرها با یک المان ساختاری مشخص در فرآیند استخراج DTM موفق نبوده و تحقیقات رو به استفاده از فیلترهای پیشرونده باشند به این معنا که اندازه المان ساختاری مطابق با برخی پارامترها که متناسب با ماهیت و نوع ناهمواری منطقه می‌باشد، تعیین گردد [۶، ۱۲ و ۲۱].
- **عملگرهای اسکن جهت‌دار:** به‌استثنای تعدادی از عملگرهای استخراج DTM، بیشتر آن‌ها در دو راستا جستجو و محاسبات را انجام می‌دهند. به‌طوری‌که با بررسی و برچسب‌گذاری عوارض غیرزمینی در دو راستا به استخراج هر چه‌بهتر این عوارض کمک می‌نمایند [۶، ۷ و ۲۲].
- **عملگرهای منحنی مبنا:** مدل تطابقی پویا از روش‌هایی است که برای نقشه‌برداری منحنی میزان استفاده می‌شوند. این الگوریتم‌ها از یک مدل شی‌ای پویا برای نمایش مدل سه‌بعدی منحنی‌ها استفاده می‌نمایند بدین‌صورت که شبکه نقاط غیرزمینی را با در اندازه‌گیری میزان گرایش[3] تدریجی حذف می‌نماید [۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶].
- **عملگرهای TIN مبنا:** این روش‌ها به‌جای کار برروی داده‌های منظم، برروی ابرنقاط نامنظم کار می‌نمایند. به‌طوری‌که با مثلث‌بندی این نقاط و یافتن نقاط همسایه براساس اضلاع مشترک و بررسی شرایط نقاط موجود، در صورت فراهم بودن شرایط مربوط به نقاط غیرزمینی، نقطه مورد حذف می‌گردد. شرایط در نظر گرفته شده برای شناسایی نقاط غیرزمینی نظیر داشتن شیب بالا، تغییر ارتفاع ناگهانی زیاد، عدم وجود همسایه در فاصله‌ای مشخص می‌باشند [۹ و ۲۷].

[1] Dilation
[2] Erosion
[3] Gravitation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

- **عملگرهای درون‌یابی مبنا:** هدف اصلی درون‌یابی مقایسه ارتفاع نقطه با مقادیر تخمین زده‌شده برای نقطه با استفاده از روش‌های دیگر است. محققانی که از درون‌یابی خطی استفاده نمودند، نیاز به استفاده از یک‌روند پردازش تکراری برای کمینه نمودن تأثیر نقاط غیرزمینی دارند [۲۸ و ۲۹]. برخی افراد از یک روش درون‌یابی بر اساس کمترین مربعات و توابع تطابقی وزن‌دهی بهره بردند. به‌طوری‌که به‌کارگیری مفهوم وزن‌دهی باعث تقویت کارآمدی این عملگرها در شرایط مختلف گردید [۲۹، ۳۰ و ۳۱].

به‌طورکلی هر یک از روش‌های ارائه‌شده دارای نقاط قوت و ضعف مخصوص به خود می‌باشند و هیچ‌کدام فراهم‌کننده دقت و صحت موردنیاز برای نواحی دارای ناهمواری‌ها و پوشش‌های متفاوت و متنوع نمی‌باشند. در این تحقیق هدف ارائه روشی کارآمد در راستای شناسایی و استخراج عوارض غیرزمینی از ابرنقاط می‌باشد. به‌طوری‌که اعمال آن بتواند با دقت و صحت بالایی عوارض غیرزمینی را حذف و مسیر را برای استخراج DTM هموار سازد. ازاین‌رو در این مقاله دو روند متفاوت طراحی و پیشنهاد گشته است که نتیجه نهایی از تلفیق نتایج آن‌ها به‌دست می‌آید. روند اول تورم ژئودزیک تدریجی[1] است که در آن طی افزایش تدریجی المان ارتفاعی تصویر بازسازی‌شده محاسبه می‌گردد. سپس با استفاده از برخی مشخصات هندسی و ساختاری، عوارض غیرزمینی شناسایی می‌گردند. روند دوم با عنوان جستجو و برچسب‌زنی به‌گونه‌ای طراحی شده است که با جستجو در چهار راستا و مطابق با تغییرات ارتفاعی به برچسب‌گذاری عوارض غیرزمینی می‌پردازد. به‌طورکلی می‌توان گفت که روند اول یک روند مورفولوژی مبنا بوده و روند دوم در زمره عملگرهای اسکن جهت‌دار قرار می‌گیرد. مطابق آنچه در بخش آتی بیان می‌گردد، تلفیق این دو روش باعث به‌دست آوردن نتایج با دقت و صحت بیشتر می‌گردد. در ادامه ساختار مقاله به این صورت است که در بخش ۲ روند پیشنهادی مطرح شده است. در بخش ۳ روند پیشنهادی پیاده‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت در بخش ۴ نتایج حاصل شده از این مقاله ارائه شده و مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- روش پیشنهادی

مراحل روند پیشنهادی این مقاله جهت استخراج DTM با استفاده از ابرنقاط در شکل (۱) آورده شده است.

در راستای شرح کامل روند پیشنهادی، در بخش ۲-۱، روندی برای پیش پردازش و حذف داده‌های اشتباه و نیز منظم و رسترسازی ابرنقاط ارائه می‌شود. سپس در بخش ۲-۲، الگوریتم تورم ژئودزیک تدریجی پیشنهادشده برای جداسازی داده‌های زمینی و غیرزمینی ارائه می‌گردد. همچنین یک الگوریتم جستجو و برچسب‌گذاری نیز پیشنهاد گردید تا با ترکیب نتایج این دو الگوریتم، کلاس نهایی عوارض غیرزمینی به‌دست آید.

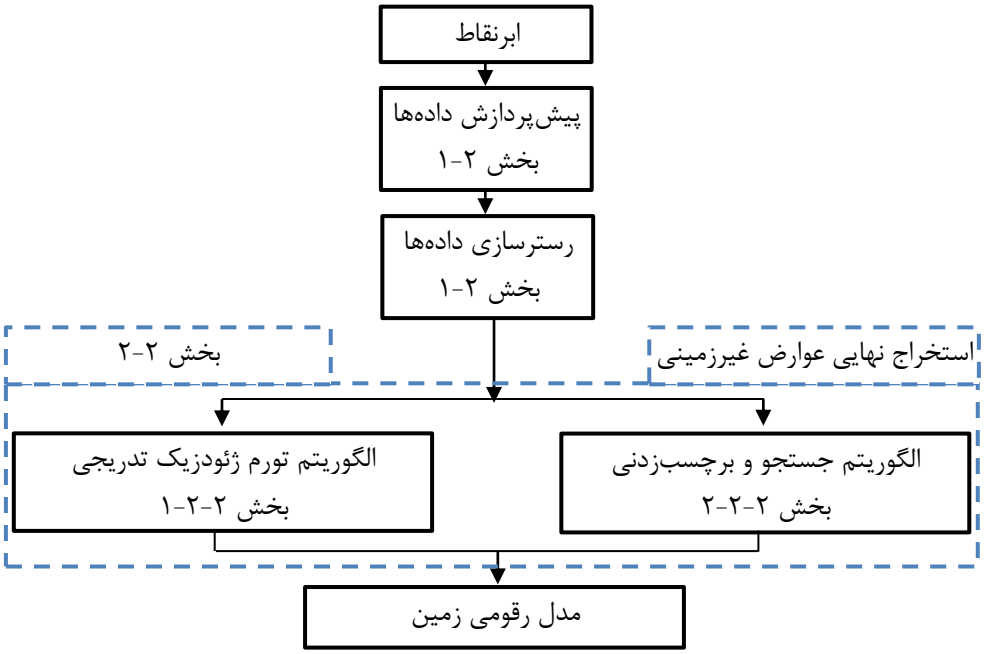
۲-۱- پیش‌پردازش و رسترسازی داده‌ها

بر اساس گزارش ISPRS دو نوع داده پرت و اشتباه در ابرنقاط وجود دارد که در نوع اول، نقاط در ارتفاع بالاتری نسبت به ارتفاع حقیقی قرار دارند و در حالت دوم نقاط در ارتفاع پایین‌تری نسبت به ارتفاع حقیقی قرار می‌گیرد [۳۳]. حالت اول مختص داده‌های لایدار می‌باشد که پرتوهای ارسالی در برخورد به موانعی نظیر هواپیما و یا پرندگان در حال پرواز پیش از برخورد به زمین بازتاب پیدا می‌نمایند که این باعث ثبت نقطه در ارتفاعی بالاتر از مختصات حقیقی می‌گردد. حالت دوم می‌تواند ناشی از برخورد پرتوهای ارسالی لایدار به عوارض براق و شیشه‌ای باشد که باعث ایجاد خطای بازگشت چندگانه شده و به دلیل صرف زمان طولانی‌تر، نقطه در ارتفاع پایین‌تری نسبت به ارتفاع حقیقی ثبت

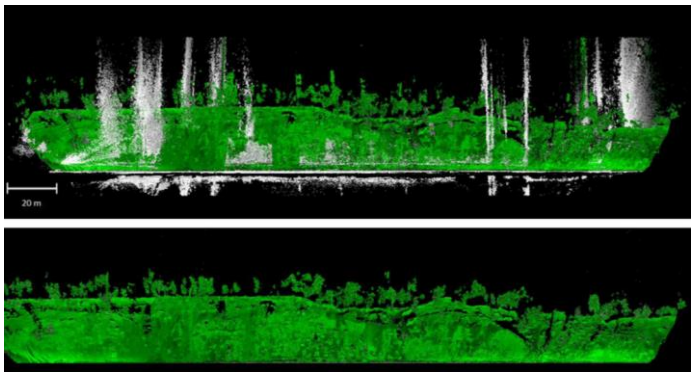
[1] Progressive geodesic dilation

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

می‌شوند. همچنین عمل تناظریابی در تصاویر اخذ شده از سنجنده‌های هوایی و فضایی در نواحی شیشه‌ای و براق دچار خطا شده و نقاط به اشتباه تناظریابی می‌گردند که این عامل هم سبب بروز اشتباه می‌گردد. پیش از اعمال الگوریتم پیشنهادی باید پیش‌پردازشی بر روی داده‌ها صورت گیرد و داده‌های اشتباه و نویزی موجود حذف گردند. داده اشتباه داده‌ای است که با دیگر داده‌ها، به‌ویژه در مقایسه با همسایه‌هایش سازگار نمی‌باشد. در شکل (۲) نمونه‌ای از داده‌های اخذشده پرت و یا اشتباه نمایش داده شده است.



شکل ۱: روندکلی الگوریتم پیشنهادی



(الف)

(ب)

شکل ۲: (الف) ابرنقاط حاوی داده‌های اشتباه، (ب) و پس از حذف آن‌ها [۳۱]

برای شناسایی و حذف داده‌های اشتباه و پرت از روش آماری محدوده چهارقسمتی داخلی (*IQR*[1]) استفاده می‌گردد. این معیار یک اندازه‌گیری آماری است که داده‌ها را به چهار چارک تقسیم نموده و تفاضل بین کمترین q(0.1) ناحیه و بالاترین q(0.9) ناحیه را محاسبه می‌نماید. برای محاسبه *IQR* از رابطه (۱) بهره گرفته شده است [۳۴]:

$$U_{IQR} = q(0.9) - q(0.1). \quad \text{رابطه (۱)}$$

[1] Inter Quartile Range

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

دو پارامتر محدود کننده برای تعیین محدوده مورد پذیرش IQR تعریف گشته است که این دو پارامتر با عناوین کمترین حد ($X_{\min}$) و بیشترین حد ($X_{\max}$) مطابق روابط زیر محاسبه می‌گردند [۳۴]:

رابطه (۲) $$X_{\min} = q(0.1) - 1.5 \times U_{IQR},$$

رابطه (۳) $$X_{\max} = q(0.9) + 1.5 \times U_{IQR},$$

در نتیجه مشاهداتی که مقادیر IQR آنها از $X_{\min}$ کمتر و از $X_{\max}$ بیشتر باشد، به‌عنوان داده‌های پرت و یا اشتباه شناسایی می‌شوند. روش‌های زیادی برای درونیابی مکانی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به کریجینگ[1] [۳۵]، وزندهی برمبنای معکوس فاصله[2] (IDW) [۳۶]، نزدیک‌ترین همسایه[3] (NN) [۳۷] و اسپیلاین[4] [۳۸] اشاره نمود. برخی از این الگوریتم‌ها متناسب با نوع سطح، عملکرد متفاوتی دارند و معمولا هر کدام برای درونیابی در شرایط خاصی مناسب می‌باشند. اغلب الگوریتم‌های مطرح شده با استفاده از ارتفاع پیکسل‌های همسایه به بازیابی گپ‌ها و درونیابی می‌پردازند. همانطور که پیش‌تر نیز ذکر گردید، هدف نهایی جداسازی پیکسل‌های زمینی از پیکسل‌های غیرزمینی و تولید DTM است. برای هر عارضه سه‌بعدی نظیر ساختمان‌ها و درختان، تنها پایین‌ترین نقطه آن‌ها مورد نظر می‌باشد و نقاط موجود بر روی دیوارها و بدنه عوارض به هیچ عنوان مد نظر نمی‌باشد. از این‌رو درونیابی که باعث نرم شدن نواحی در مناطق لبه‌ها شود، مناسب نمی‌باشد. با توجه به موارد مطرح‌شده در میان روش‌های موجود روش NN به بهترین وجه ممکن تغییرات ارتفاعی ناگهانی را حفظ کرده و مناسب اهداف تعیین شده است [۳۷]. در شکل (۳) نمونه‌ای از عملکرد روش NN در مقایسه با روش IDW به‌عنوان یکی از روش‌های قدرتمند درونیابی آورده شده است. همان‌طور که در شکل (۳) نیز مشخص است، در روش IDW سطح ایجاد شده در مناطق مرزی تا حدودی نرم می‌گردد که مدنظر نمی‌باشد. درنتیجه پس از شناسایی و حذف داده‌های اشتباه و پرت مطابق روند زیر مناطق ازدست‌رفته بازیابی می‌گردند [۳۷]:

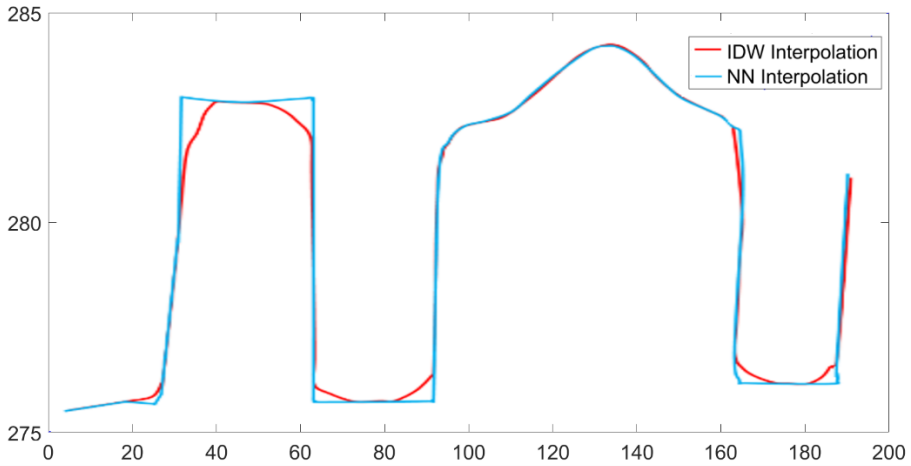
۱. پیکسل‌های مربوط به گپ‌ها استخراج می‌شوند.
۲. نواحی با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های متصل[5] [۳۹] برچسب‌گذاری می‌شوند.
۳. مرز خارجی هر ناحیه با محاسبه تفاضل تصویر باینری موجود با تصویر مترورم شده توسط فیلترهای مورفولوژی به‌دست می‌آید.
۴. برای هر ناحیه برچسب خورده مقادیر اصلی از روی تصویر اصلی مربوط به ابرنقاط اولیه با استفاده از مختصات مناطق موردبررسی، استخراج می‌شود.
۵. میزان میانه نقاط مربوط به مرز محاسبه گشته و از این مقدار برای پر کردن گپ موجود استفاده می‌شود.

۲-۲- شناسایی عوارض غیرزمینی

در این مرحله روند پیشنهادی برای شناسایی و استخراج عوارض غیرزمینی از ابرنقاط ارائه می‌گردد. روش پیشنهادی شامل دو الگوریتم متفاوت برای شناسایی عوارض و سپس تلفیق نتایج مربوط به آن‌ها می‌باشد. درواقع با این روند سعی شده است تا تمامی عوامل مؤثر در شناسایی عوارض غیرزمینی در نظر گرفته شوند. ازاین‌رو با استفاده از الگوریتم تورم ژئودزیک تدریجی (بخش ۲-۲-۱) و جستجو و برچسب‌گذاری (بخش ۲-۲-۲) عوارض غیرزمینی مربوط به ناحیه مطالعاتی استخراج می‌شوند.

[1] Kriging
[2] Inverse Distance Weighting
[3] Nearest Neighbor
[4] Spline
[5] Connected Component Analysis

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]



شکل ۳: مقایسه روش‌های درونیابی با بررسی پروفیل طولی در یک مقطع (قرمز: IDW، آبی: NN) [۳۷]

۲-۲-۱- الگوریتم تورم ژئودزیک تدریجی

ابتدا به‌طورکلی روند اجرای فیلتر ژئودزیک مورفولوژی توضیح داده می‌شود. در قدم اول باید تصاویر ماسک[1] و مارکر[2] ایجاد شوند. تصویر ماسک، تصویر مرجع و اصلی است که گسترش تصویر مارکر را محدود می‌سازد. تصویر ماسک برابر با تصویر به‌دست آمده از عملیات حذف داده‌های اشتباه و رسترسازی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. بر اساس تعریف، تصویر مارکر باید هم‌اندازه تصویر ماسک بوده و مقادیر پیکسل‌های آن نیز برابر و یا کمتر از مقادیر پیکسل‌های تصویر ماسک باشد. به‌طورکلی، تصویر مارکر ی مناسب است که متناسب با دانش در رابطه با خصوصیات فیزیکی محیط و عوارض موجود در آن تعیین گردد [۴۰]. رایج‌ترین راه ایجاد تصویر مارکر کم کردن یک مقدار ثابت از تصویر ماسک می‌باشد [۴۱].

$$M_S = P_t, \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$M_R = Ms - h, \quad \text{رابطه (۵)}$$

که P_t نشان‌دهنده ابرنقاط موجود و h همان مقدار ثابتی است که برای ایجاد تصویر مارکر در نظر گرفته می‌شود. از علامت‌گذار جهت محدود کردن عمل تورم در هر مرحله استفاده می‌شود. فرآیند تورم و محدود کردن تا جایی که شکل به حالت ایستا[3] برسد، ادامه پیدا می‌کند [۳۹]:

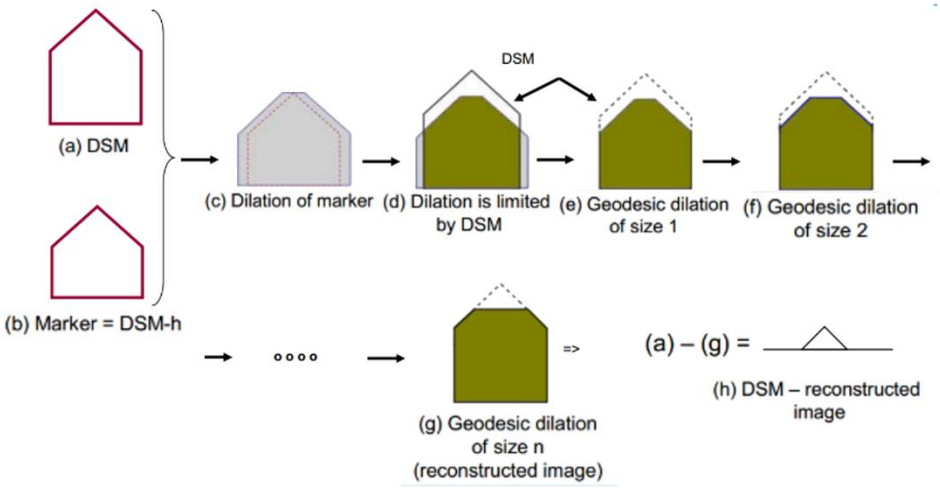
رابطه (۶)

$$\left.\begin{aligned} F_{M_S}^{(2)}(M_R) &= (F_{MS}^{(1)}(M_R)\oplus B)\wedge M_S \\ F_{M_S}^{(3)}(M_R) &= (F_{MS}^{(2)}(M_R)\oplus B)\wedge M_S \\ &\vdots \\ F_{M_S}^{(n)}(M_R) &= (F_{M_S}^{(n-1)}(M_R)\oplus B)\wedge M_S \end{aligned}\right\} \forall n\in[1,\infty),$$

که B المان ساختاری و $F_{M_S}^{(n)}(M_R)$ تصویر بازسازی‌شده در هر مرحله می‌باشد. $\wedge$ نشانگر عملیات محاسبه نقطه‌ای[4] کمینه بین تصویر تورم یافته علامت‌گذار و $\oplus$ تصویر ماسک است و نشان‌گر عملیات تورم می‌باشد. شکل (۴) مراحل انجام این عملگر را نمایش می‌دهد.

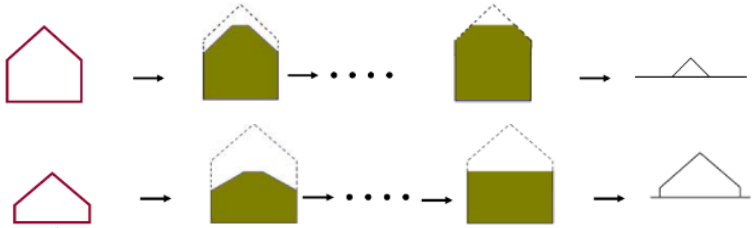
[1] Mask
[2] Marker
[3] Stable
[4] Point-Wise

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]



شکل ۴: نحوه کار عملگر تورم ژئودزیک [۴۲]

همان‌طور که گفته شد برای بازسازی مناسب و کارآمد تصویر، انتخاب دقیق h بسیار مهم و حیاتی است. باید در انتخاب h دقت نمود، زیرا با مقادیر کوچک h تنها خط الرأس‌ها استخراج می‌شوند و مقادیر بزرگ h باعث می‌شود مقداری از زمین نیز به‌عنوان عارضه انتخاب شود. شکل (۵) تأثیر تغییر نشان‌گر که وابسته به تغییر h است را در شناسایی عوارض غیرزمینی نشان می‌دهد.



شکل ۵: تأثیر اندازه نشان‌گر در شناسایی عوارض غیرزمینی [۴۲]

مطابق روند پیشنهادی در این تحقیق، برای غلبه بر این معضل از یک روند تکراری برای انتخاب مقدار h بهره گرفته شده است. به‌طوریکه مقدار h دراین روند در یک محدوده مشخص تغییر می‌نماید. برای تعیین محدوده h ابتدا یک میانگین ارتفاعی از عوارض موجود در منطقه مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$\bar{h}=\frac{\max(P_t)-\min(P_t)}{2}, \quad \text{رابطه (۷)}$$

لازم به ذکر است که در روند پیشنهادی برای از بین بردن وجود احتمالی خطا در داده به‌جای استفاده از بیشینه داده‌ها، ابتدا داده‌ها را به‌صورت صعودی مرتب کرده و سپس از داده‌ای که در چند درصد انتهایی داده‌ها حضور دارد به‌عنوان بیشینه استفاده می‌شود. مطابق همین روند برای محاسبه کمینه استفاده می‌گردد. میزان درصدی از داده‌ها که برای این‌کار مورد استفاده قرار می‌گیرد، متناسب با تعداد نقاط موجود در ابرنقاط و یا تعداد پیکسل‌های ناحیه مورد مطالعه تعیین می‌گردد:

$$C_{CountDigit}=1+\text{floor}(\frac{\log^{K}}{\log^{10}}), \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$N_{PercentData}=10^{-(C_{CountDigit}-2)}, \quad \text{رابطه (۹)}$$

که K تعداد پیکسل‌های منطقه مطالعاتی، $C_{CountDigit}$ تعیین کننده چندرقمی بودن تعداد پیکسل‌های موجود در ناحیه مطالعاتی بوده و $N_{PercentData}$ میزان درصد مورد قبول برای انتخاب نقاط ابتدایی و انتهایی داده‌ها است. حال، نوبت به تعیین محدوده h می‌باشد که

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

در روند پیشنهادی مطابق مقدار $\bar{h}$ و به‌صورت قراردادی مطابق رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد:

$$h = \bar{h}/3 : I_C : 3\bar{h}/2 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

درواقع مطابق رابطه (۱۰) مقدار h به‌صورت تدریجی و به‌اندازه مقدار I_C (معمولاً یک در نظر گرفته می‌شود) افزایش می‌یابد. در هر مرحله مطابق با مقدار h جدید تصویر بازسازی می‌گردد.

یکی از مشکلاتی که در استخراج با استفاده از روش ژئودزیک مورفولوژی وجود دارد، در نواحی مرزی منطقه موردمطالعه رخ می‌دهد. به‌طوری‌که اگر تغییرات زمین در نواحی مرزی ناحیه زیاد باشد، آن قسمت به‌عنوان عارضه غیرزمینی انتخاب می‌گردد. برای حل این معضل باید در طراحی و ایجاد تصویر مارکر بازنگری صورت گرفته و اصلاحات انجام شود. در روند پیشنهادی برای انجام اصلاحات در نقاط مرزی تصویر مارکر با تصویر ماسک برابر در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر فاصله h به‌تمامی نقاط مربوط به تصویر مارکر به‌جز مناطق مرزی اعمال می‌شود. با این کار از استخراج نواحی مرزی دارای شیب زیاد به‌عنوان عارضه غیرزمینی جلوگیری به عمل می‌آید [۴۲]:

رابطه (۱۱)

$$M_R(i,j) = \begin{cases} M_S - h,\ h = h_1 : I_C : h_2 & for\ (i \neq 1,m)\ \&\ (j \neq 1,n) \\ M_S(i,j) & for\ (i = 1,m)\ \&\ (j = 1,n) \end{cases}$$

که I_C مقدار عددی ثابتی است که در هر مرحله به h اضافه می‌شود. در شکل (۶) نحوه تأثیر مناطق مرزی بر روی استخراج عوارض غیرزمینی آورده شده است. در شکل (۶) به‌وضوح می‌توان علت عدم عملکرد فیلتر ژئودزیک مورفولوژی را در مناطق مرزی که در شیب قرار گرفته‌اند را دریافت (سمت راست شکل (۶-الف). در واقع با قطع شدن ناگهانی تصویر در نقاط مرزی، تغییر ناگهانی ایجاد شده در ارتفاع به اشتباه، ناشی از وجود عارضه غیرزمینی در نظر گرفته شده و روند شناسایی دچار خطا می‌شود. در واقع این خطا باعث استخراج قسمتی از زمین به‌عنوان عارضه غیرزمینی می‌شود. با اعمال تصحیحات مربوطه در تشکیل تصویر مارکر، روند تشکیل تصویر بازسازی شده اصلاح گشته و از استخراج قسمتی از زمین به‌عنوان عارضه غیرزمینی جلوگیری می‌گردد(شکل (۶)).

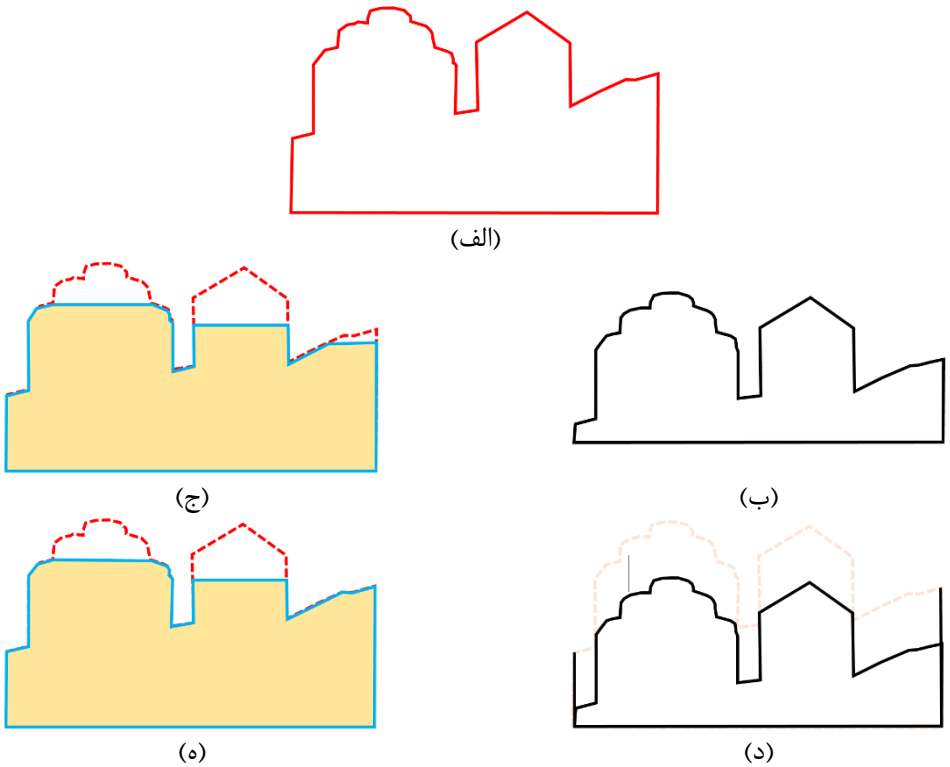
تنها افزایش مرحله‌ای و پلکانی h نمی‌تواند منجر به استخراج عوارض غیرزمینی گردد. در [۳۷و۴۲] در هر مرحله از اعمال عملگر تورم ژئودزیک تنها با آستانه-گذاری مستقیم بر روی میزان ارتفاع و تغییرات محلی ارتفاع عوارض غیرزمینی شناسایی شدند. پارامتر تغییرات محلی ارتفاع مشابه میزان گرادیان است، منتها با دقت کمتری مرزها و یا مناطق دارای تغییرات ارتفاعی در آن شناسایی می‌شوند که همین موضوع عامل کاهش دقت در این روش‌ها می‌باشد. در روش ارائه‌شده در این مقاله از تعدادی پارامتر هندسی و ساختاری در کنار این افزایش مرحله‌ای h بهره گرفته می‌شود. همچنین قطعاتی که در هر مرحله استخراج می‌شوند، برچسب‌گذاری شده و به‌صورت مجزا موردبررسی قرار می‌گیرند که این کار در کنار استفاده از المان‌های هندسی و ساختاری به‌طور چشمگیری در دقت شناسایی عوارض تأثیرگذار است. در این راستا، با در نظر گرفتن یک حدآستانه، قطعاتی که در استخراج مرحله‌ای دارای ارتفاعی بیشتر از حد تعیین شده می‌باشند و در مراحل قبلی استخراج نشده‌اند، به‌عنوان عارضه غیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است برای بررسی مجزای قطعاتی که در هر مرحله شناسایی می‌شوند، از الگوریتم مؤلفه‌های متصل برای چسب‌گذاری استفاده گردید:

$$O_{Obj} = \{Z_i > T1\}, \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که Z_i مقدار میانگین ارتفاعی قطعه شناسایی شده، $T1$ حدآستانه ارتفاعی انتخابی و O_{Obj} مجموعه مناطقی است که دارای ارتفاعی کمتر از مقدار تعیین شده‌اند. در روند پیشنهادی برای آن‌که انتخاب عارضه مورد نظر با درصد اطمینان بالاتری صورت گیرد، از دو پارامتر مساحت قطعه شناسایی شده و مرز نسبی برای ارزیابی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

و تائید نهایی عارضه غیرزمینی استفاده می‌شود.



شکل ۶: نحوه عملکرد تورم ژئودزیک اصلاح شده در مناطق مرزی، (الف) تصویر ماسک، (ب) تعریف تصویر مارکر اولیه، (ج) تصویر بازسازی شده اولیه، (د) تعریف تصویر مارکر اصلاح شده در مرزها، (ه) تصویر بازسازی شده متناسب با مارکر اصلاح شده.

پارامتر مساحت نسبی قطعه شناسایی شده: منظور از بررسی پارامتر مساحت این است که مساحت قطعه‌ای که در مرحله‌ای به‌عنوان عارضه غیرزمینی انتخاب شده است، نباید از حدی بیشتر باشد. انتخاب محدوده این حدآستانه می‌باید متناسب با نوع ناحیه انتخاب شود. به‌طوری‌که در نواحی دارای ساختمان و درخت با فواصل متناسب نسبت به هم این پارامتر کوچک در نظر گرفته می‌شود؛ ولی در مناطق شهری با تراکم بالا که ساختمان‌ها به هم متصل بوده و پیوسته‌اند، این پارامتر بزرگ در نظر گرفته می‌شود، زیرا ممکن است جزئی از راه‌های ارتباطی و یا دیگر مناطق حاوی عوارض غیرزمینی باشند. اما از مساحت نسبی برای بررسی این پارامتر استفاده شده است و حدآستانه‌ای برای نسبت مساحت قطعه موردنظر به مساحت کل ناحیه مطالعاتی در نظر گرفته شده است به‌گونه‌ای که:

رابطه (۱۳)

$$S1=\left\{\frac{area(O_{Obj}(i))}{area(R_{region})}<T2\right\}, i=\{1,2,...,n\},$$

که $T2$ حدآستانه در نظر گرفته شده برای مساحت نسبی، R_{region} منطقه مطالعاتی، n تعداد قطعاتی که برای بررسی استخراج گشته‌اند و $S1$ نشان‌دهنده مجموعه مناطق انتخاب شده است.

پارامتر مرز نسبی: معیار دیگری که می‌تواند در تعیین هر چه بهتر ماهیت قطعه شناسایی‌شده مؤثر باشد، بررسی میزان تغییرات هندسی مرز قطعه مورد نظر است. برای این‌کار از گرادیان استفاده شده است. توصیف‌گر گرادیان، توصیف‌گری بسیار مفید و کارآمد است که با تعیین یک پنجره جستجو و اسکن تصویر حاصل می‌شود. به‌طوری‌که در هر بار قرارگیری پنجره تعیین‌شده بر روی پیکسل موردبررسی، مقادیر پیکسل‌های تصویر که در زیر پنجره

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

تعیین‌شده قرار گرفته شده‌اند، در نظر گرفته می‌شوند. با فرض آن‌که مقدار پیکسل مرکزی f(x,y) باشد، مقدار گرادیان مطابق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود [۳۹].

رابطه (۱۴)

$$F_{gradient}=\sqrt{\left(\frac{f(x,y+1)-f(x,y-1)}{2d}\right)^2+\left(\frac{f(x+1,y)-f(x-1,y)}{2d}\right)^2},$$

که d براساس فاصله نمونه‌برداری ابرنقاط تعیین می‌گردد. همان‌طور که مشخص است، پارامتر گرادیان، مشخص‌کننده تغییرات ارتفاعی در یک همسایگی مشخص است. به‌طوری‌که هر چه مقدار گرادیان برای پیکسلی بیشتر باشد، آن پیکسل در محلی با تغییرات ارتفاعی زیاد واقع شده است. حال برای بهره‌گیری از توصیف‌گر گرادیان برای تعیین میزان تغییرات هندسی و ارتفاعی در مرزها، قطعه برچسب‌گذاری شده مورد نظر فراخوانده می‌شود. سپس با ضرب نقطه‌ای میزان توصیف‌گر گرادیان در محدوده قطعه شناسایی شده و در نظر گرفتن یک حدآستانه برای گرادیان، می‌توان پیکسل‌هایی که دارای تغییرات ارتفاعی زیادی می‌باشند را استخراج نمود. حال با در نظر گرفتن نسبت پیکسل‌هایی که معیار موردنظر را برآورده نموده‌اند به کل پیکسل‌های مرزی عارضه مورد بررسی، پارامتری برای تصمیم‌گیری برای زمینی و یا غیرزمینی بودن عارضه به‌دست می‌آید. در واقع از این واقعیت استفاده شده است که در صورت غیرزمینی بودن، عارضه دارای تغییرات ارتفاعی ناگهانی نسبت به اطراف خود است. درنهایت با در نظر گرفتن حد آستانه‌ای برای این تناسب مربوط به پیکسل‌های مرزی، در مورد ماهیت پیکسل مورد نظر تصمیم‌گیری می‌شود:

رابطه (۱۵)

$$S2=\left\{\left(\frac{sum(S1_i\cdot(F_{\text{gradient}}(i)>T3)}{sum(S1(i))}>T4\right\},i=\{1,2,...,m\}\right.$$

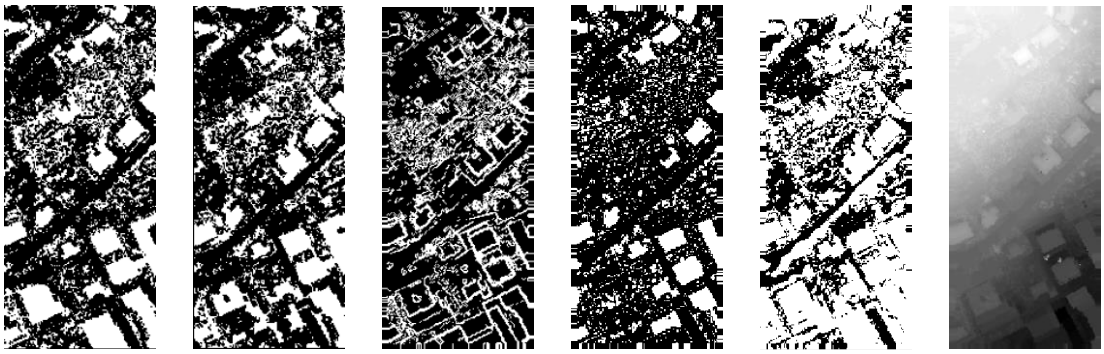
که $S2$ مجموعه نهایی عوارض غیرزمینی، m تعداد عوارض شناسایی‌شده در $S1$، $T3$ و $T4$ به ترتیب حدآستانه‌های در نظر گرفته شده برای پذیرش $F_{gradient}$ و نسبت مقادیر مرزی دارای ناهمواری ارتفاعی به کل نقاط مرزی است. لازم به ذکر است که این دو حد آستانه متناسب با نوع منطقه مورد مطالعاتی تعیین می‌شود، اما به‌طورکلی تغییرات محسوسی در آن رخ نمی‌دهد و برای اکثر نواحی دارای مقادیر تقریباً یکسانی است. معرفی برخی پارامترهای هندسی که در بالا ذکر شد (رابطه‌های (۱۲، ۱۳ و ۱۵)) و بررسی این پارامترها به‌صورت تک‌به‌تک بر روی قطعات شناسایی‌شده، سبب تمایز روش پیشنهادی و بهبود نتایج آن نسبت به دیگر روش‌های موجود شده است. به‌طورکلی روش تورم ژئودزیک در مقابل عوارضی که در آن‌ها تغییرات ارتفاعی به‌صورت ناگهانی نبوده و تدریجی صورت می‌گیرد، عملکرد مناسبی ندارد. به‌ویژه زمانی که این عوارض در مناطق کوهستانی و دارای شیب تند قرار می‌گیرند. ازاین‌رو نیاز به ارائه روشی است که بتواند این ضعف را پوشش داده و بهبود بخشد. روش‌هایی که بر مبنای عملگر گشایش مورفولوژی تدریجی می‌باشند [۶، ۱۲ و ۲۱]، از آنجا که از المانی ساختاری برای تفکیک عوارض زمینی و غیرزمینی بهره نمی‌برند، در مواردی که سطح زمین دارای ناهمواری‌های ناگهانی است، عملکرد مناسبی نداشته و قسمتی از سطح زمین را به‌عنوان عارضه غیرزمینی استخراج می‌نمایند (شکل (۷-ب)). با آن‌که در روش‌های مبنی بر استفاده از عملگر تورم ژئودزیک [۳۷ و ۴۲] با اعمال تصحیحات مربوط به تولید تصویر مارکر نقاط زمینی موجود در ناهمواری‌های شدید به‌اشتباه به‌عنوان نقطه غیرزمینی انتخاب نمی‌شوند، برخی نقاط غیرزمینی موجود در دامنه‌های شیب‌دار که تغییرات تدریجی ارتفاعی ایجاد می‌نمایند (مانند درختچه‌ها) شناسایی نمی‌شوند (شکل (۷-ج)). همچنین صرفاً استفاده از پارامتر تغییرات محلی بازه[1] نیز نمی‌تواند منجر به حاصل شدن نتیجه‌ای دقیق گردد [۳۷ و ۴۲]. بهره‌گیری از میزان

[1] Local Range Variation (LRV)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

گرادیان منطقه (شکل (۷-د)) به همراه پارامترهای هندسی معرفی‌شده نظیر مساحت نسبی، مرز نسبی و تعیین حدآستانه ارتفاع منطبق بر شیب منطقه در این مقاله و همچنین استفاده از روش جستجو و برچسب‌زنی باعث شده‌اند تا نواحی به طرز مناسبی داخل مرزهای تعیین‌شده (شکل ۷-د) قرارگرفته و به‌عنوان عارضه غیرزمینی انتخاب شوند (شکل (۷- ه)). با مقایسه نتایج حاصل‌شده طبق روش پیشنهادی با داده‌های مرجع (شکل (۷-و)) به‌خوبی عملکرد بهتر روش پیشنهادی مشهود است.



(الف) (ب) (ج) (د) (ه) (و)

شکل ۷: عملکرد روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مورفولوژی مبنای تدریجی، (الف) داده‌های لایدار منطقه، (ب) نحوه عملکرد روش گشایش مورفولوژی تدریجی، (ج) نحوه عملکرد روش تورم ژئودزیک تدریجی، (د) میزان گرادیان، (ه) نتیجه روش پیشنهادی، (و) داده‌های مرجع.

۲-۲-۲- الگوریتم جستجو و برچسب‌گذاری

پیشنهاد این روش در راستای تکمیل روش تورم ژئودزیک تدریجی و بهبود عملکرد و کارایی الگوریتم در نواحی دارای ناهمواری‌های متفاوت و پوشش‌های گوناگون نظیر شهری و جنگلی می‌باشد. برای این منظور، روندی طراحی گشته است که طی آن با برچسب‌گذاری ارتفاعی، عوارض غیرزمینی شناسایی می‌گردند. الگوریتم جستجو و برچسب‌گذاری جهت تولید DTM از روی ابرنقاط می‌باشد و سرعت عمل بسیار بالایی دارد [۴۳]. در این روش داده‌های ارتفاعی به‌صورت نواری (سطر به سطر و ستون به ستون) مورد بررسی قرار می‌گیرند. فرض بر این است که با حرکت در طول نوار اسکن، مجموعه نقاط قرارگرفته بین ناپیوستگی‌ها، مربوط به یک عارضه هستند؛ البته به‌شرط آنکه این مجموعه از نقاط، ارتفاع بیش‌تری را نسبت به نقاط همسایه داشته باشند. در روش‌های موجود معمولاً از اسکن در دو راستا استفاده شده است [۴۳] درحالی‌که در روش ارائه‌شده در این تحقیق، ابرنقاط در چهار جهت: راست به چپ، چپ به راست، پایین به بالا و بالا به پایین اسکن و بررسی می‌شوند که این کار باعث افزایش دقت عملکرد و افزایش اطمینان آن می‌گردد. در مرحله اول، الگوریتم در طول یک اسکن از چپ به راست کار می‌کند، به‌طوری‌که:

۱. در اولین نقطه در اسکن فرض می‌شود که زمین عاری از عارضه باشد و مقدار عددی یک می‌گیرد.
۲. نقطه اول و دوم با یکدیگر مقایسه می‌شوند و اگر میزان تغییر شیب مثبت بوده و از حدآستانه تعیین شده بیشتر باشد، آنگاه نقطه دوم مقدار عددی صفر می‌گیرد.
۳. اگر میزان تغییر شیب منفی بوده و اندازه آن از حدآستانه تعیین شده کمتر باشد، آنگاه نقطه دوم مقدار عددی یک می‌گیرد.
۴. در حالتی غیر از دو مورد ذکر شده نیز مقدار پیکسلی نقطه دوم صفر می‌شود.

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، روند پیشنهادشده در راستای راست به چپ (L_2)، بالا به پایین (L_3) و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

پایین به بالا (L_4) نیز تکرار می‌شود. بعد از اسکن ابرنقاط در هر چهار جهت، نقاط زمینی از اشتراک نقاط زمینی برچسب‌گذاری شده در تمام جهت‌ها به‌دست می‌آید؛ نقاط غیرزمینی از اجتماع نقاط غیرزمینی برچسب‌گذاری شده در جهت‌ها به‌دست می‌آید. در روند پیشنهادی تابع برچسب‌گذاری نقاط به‌صورت رابطه (۱۶) مطرح گردید:

$$S3(i)=\begin{cases}1 & if \quad L_1+L_2+L_3+L_4=4\\ 0 & else\end{cases}$$

رابطه (۱۶)

که L_1، L_2، L_3 و L_4 به ترتیب برچسب نقطه i در اسکن چپ به راست، راست به چپ، بالا به پایین و پایین به بالا می‌باشند. $S3$ یک تصویر باینری است که نشان‌دهنده مجموعه نهایی برچسب‌گذاری شده نقاط با استفاده از رابطه مذکور می‌باشد. با آن‌که روش برچسب‌گذاری برخلاف روش تورم ژئودزیک در مقابل عوارضی با تغییرات تدریجی ارتفاعی که در مناطق شیب‌دار قرار دارند، عملکرد مناسبی دارد؛ در مناطق شهری که حاوی ساختمان‌هایی با سقوف مسطح بوده و صورت پلکانی می‌باشند، دچار خطا می‌شود. چراکه برچسب‌گذاری هنگام رسیدن به یک ساختمان آغاز می‌گردد و پس از گذر از سقف ساختمان و هنگامی‌که شیبی با جهت مخالف نسبت به شیب اولیه رؤیت شد، نشان از کاهش ارتفاع و قرارگیری نقطه بر سطح زمین در نظر گرفته می‌شود، درحالی‌که که نقطه می‌تواند مربوط به سقف ساختمانی با ارتفاعی کمتر و در مجاورت ساختمان قبلی باشد. ازاین‌رو تلفیق نتایج مربوط به این دو روش می‌تواند سبب افزایش دقت شناسایی عوارض غیرزمینی گردد. درنتیجه برای برچسب‌گذاری نهایی مناطق غیرزمینی از اعمال اجتماع بین نتایج باینری به‌دست آمده از دو روش تورم ژئودزیک تدریجی و جستجو و برچسب‌گذاری استفاده می‌شود. با این کار تمامی مناطقی که شرایط علائم وجود عارضه غیرزمینی را دارند، شناسایی می‌شوند.

$$S_T = S2 \cup S3.$$

رابطه (۱۷)

حال نقاط استخراج‌شده از مجموعه نقاط حذف گشته و مقادیر ارتفاعی مناطق ازدست‌رفته با استفاده از درون‌یابی بازیابی می‌گردند. سپس میزان گرادیان سطح ساخته‌شده مطابق رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد. با محاسبه تفاضل DSM اولیه از سطح ایجادشده، نقاطی که ارتفاع آن‌ها از مجموع $T1$ و میزان گرادیان نقطه مذکور بیشتر باشد در کلاس نهایی عوارض غیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند. با این کار، سعی شده است تا شیب منطقه در انتخاب عوارض غیرزمینی تأثیر داده شود تا از انتخاب مناطق مربوط به سطح زمین در مناطق شیب‌دار جلوگیری شده و دقت نتایج نهایی افزایش یابد. درنهایت با حذف این نقاط از مجموعه نقاط و درون‌یابی سطح با استفاده از نقاط غیرزمینی موجود، DTM منطقه استخراج می‌گردد.

۳- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش روند استخراج DTM با استفاده از روند پیشنهادی به‌صورت مرحله‌به‌مرحله آورده شده است. نتایج پیاده‌سازی هر یک از مراحل روند پیشنهادی در ادامه ارائه می‌گردد.

۳-۱- منطقه و داده‌های مطالعاتی

برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی از ابرنقاط به‌دست آمده از داده‌های لایدار ارائه‌شده توسط ISPRS استفاده شده است. این داده‌ها توسط کمپانی فتونور و با استفاده از اسکنر Optech ALTM تهیه شده است. از آن‌جا که داده‌های تهیه‌شده دارای تراکم نقاط متفاوت بوده و شامل مناطق مختلف با ویژگی‌های متفاوت می‌باشند، برای ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادشده توسط محققان بسیار مناسب‌اند. ازاین‌رو ۵ ناحیه مطالعاتی برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفته است که دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

- ناحیه ۱: حاوی گیاهان و ساختمان‌ها متراکم در یک منطقه شیب‌دار بوده و فاصله نقاط

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

نمونه‌برداری حدود ۲ متر می‌باشد.

- ناحیه ۲: مربوط به یک منطقه مسکونی با تراکم بالای ساختمان و فاصله نمونه‌برداری ۲ متر است.
- ناحیه ۳: مربوط به یک منطقه شهری می‌باشد که دارای روگذر است. در این ناحیه، فاصله نقاط نمونه‌برداری حدود ۱ متر است.
- ناحیه ۴: مربوط به یک منطقه شهری دارای بلوک‌های بزرگ ساختمانی است و فاصله نقاط نمونه‌برداری حدود ۱ متر است.
- ناحیه ۵: مربوط به یک منطقه با عوارض پیوسته و کم ارتفاع است. همچنین حاوی خطای چندگذری[1] و همچنین گپ میان ابرنقاط است که روند شناسایی را دشوار می‌نماید. در این ناحیه، فاصله نقاط نمونه‌بردای حدود ۱ متر است.
- ناحیه ۶: مربوط به یک منطقه شیب‌دار قرارگرفته در دامنه کوه با پوشش گیاهی می‌باشد و فاصله نقاط نمونه‌برداری دراین ناحیه حدود ۲ متر است.
- ناحیه ۷: مربوط به یک منطقه کشاورزی دارای گپ میان داده‌ها با فاصله نمونه‌برداری حدود ۳ متر است.

ناحیه ۸: مربوط به یک منطقه کشاورزی دارای ساختمان، راه و روگذر با فاصله نمونه‌برداری ۳ متر است. شکل (۸) ابر نقاط نواحی مطالعاتی به همراه تصویر هوایی مناطق مطالعاتی (برای دید بصری) آورده شده است.

همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است، نواحی ۵، ۶ و ۷ دارای گپ هستند. در واقع وجود گپ در داده‌ها خود به عنوان یک چالش مطرح بوده و هدف ارائه روشی است که در حضور گپ میان داده‌ها باز هم توانایی استخراج DTM داشته باشد. برخی ISPRS برای ارزیابی نتایج فیلترینگ نقاط و شناسایی نقاط غیرزمینی سه خطای نوع اول (*TI*)، خطای نوع دوم (*TII*) و خطای کلی (*TE*) را معرفی نمود [۴۴]. این سه خطا متناسب با ۴ حالت (*a*، *b*، *c* و *d*) متفاوتی که برای هر نقطه شناسایی شده رخ می‌دهد، محاسبه می‌گردند. در ادامه حالت‌های متفاوتی که برای هر نقطه پس از شناسایی عوارض غیرزمینی رخ می‌دهد، آورده شده است:

$$TI = \frac{b}{a+b}, \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$TII = \frac{c}{c+d}, \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$TE = \frac{b+c}{a+b+c+d}, \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

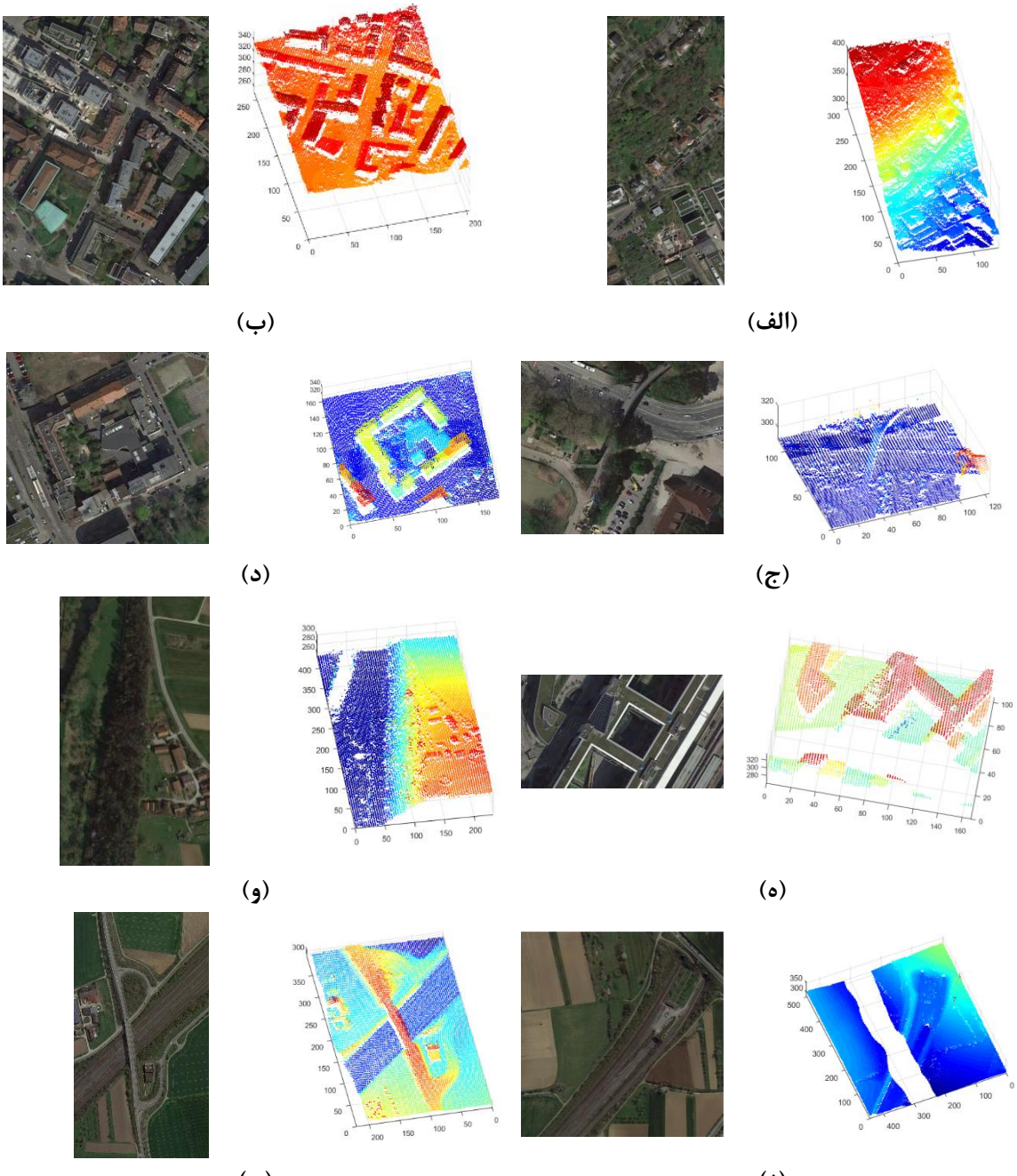
که در آن a نماینده نقاط غیرزمینی‌اند که به‌درستی شناسایی شده‌اند. b نماینده نقاط غیرزمینی است، که به اشتباه به‌عنوان نقاط زمینی شناسایی شده‌اند. c نماینده نقاط زمینی است که به‌اشتباه به‌عنوان نقاط غیرزمینی شناسایی شده‌اند. درنهایت d مربوط به نقاط زمینی است که به‌درستی شناسایی شده‌اند. علاوه بر معیارهای تعریف شده از معیار دقت کاپا[2] برای ارزیابی کامل‌تر بهره گرفته شده است [۴۵].

[1] Multi-path

[2] Kappa

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

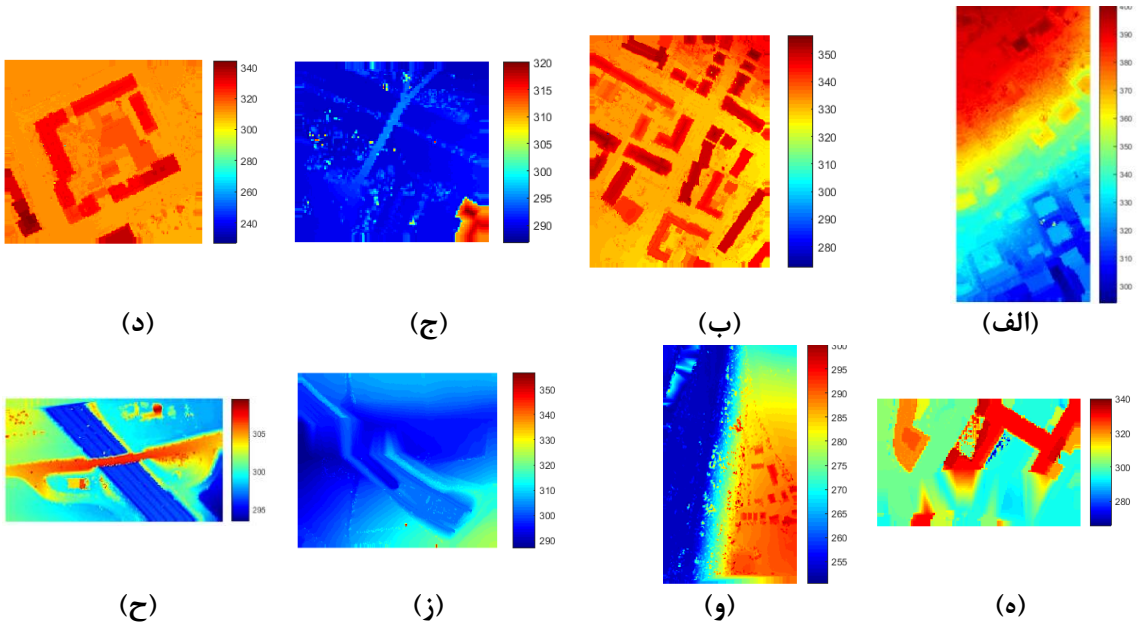


شکل ۸: ابرنقاط نواحی مطالعاتی، (الف) ناحیه ۱، (ب) ناحیه ۲، (ج) ناحیه ۳، (د) ناحیه ۴، (ه) ناحیه ۵، (و) ناحیه ۶، (ز) ناحیه۷، (ح) ناحیه ۸.

۳-۲- شناسایی عوارض غیرزمینی

همان‌طور که در بخش اول آورده شده است، ابتدا داده‌های ابر نقاط مورد پیش‌پردازش قرارگرفته و داده‌های اشتباه و پرت موجود در آن‌ها حذف شدند. سپس با استفاده از روش NN درون‌یابی نقاط صورت پذیرفته و ابر نقاط نامنظم به تصویر رستری تبدیل شدند. در شکل (۹) نتایج رسترسازی ابر نقاط موجود آورده شده است.

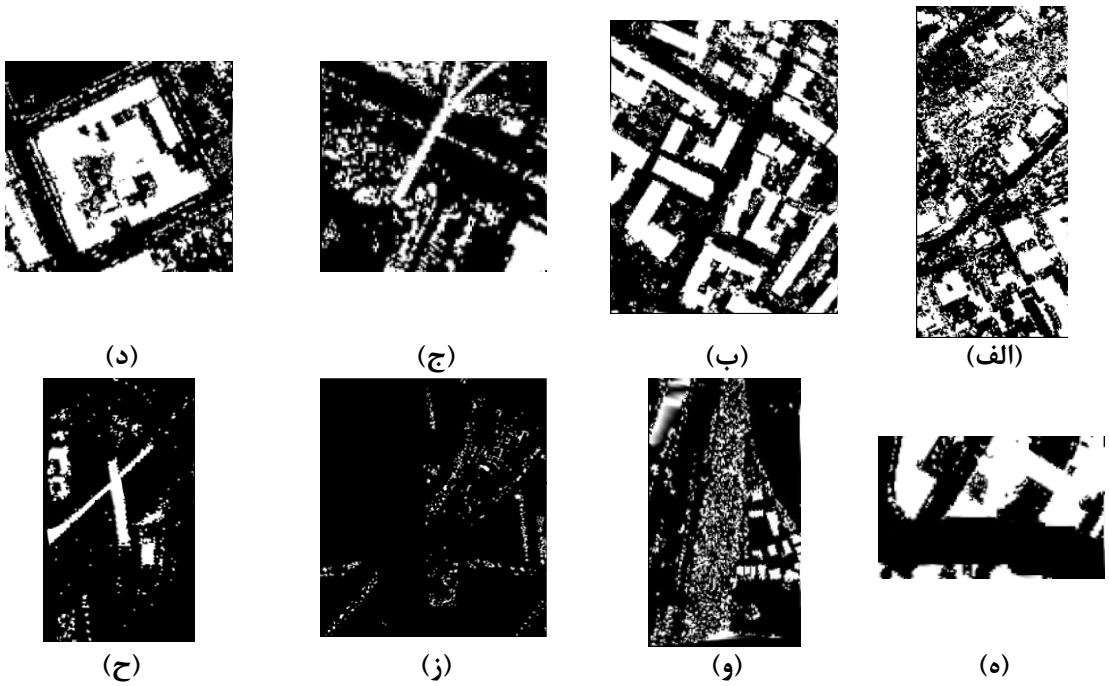
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]



شکل ۹: نتیجه حاصله پس از حذف نویز و رسترسازی ابرنقاط، (الف) ناحیه ۱، (ب) ناحیه ۲، (ج) ناحیه ۳، (د) ناحیه ۴، (ه) ناحیه ۵، (و) ناحیه ۶، (ز) ناحیه۷، (ح) ناحیه ۸.

پس از رسترسازی ابر نقاط مربوط به ناحیه‌های مطالعاتی، مطابق روند پیشنهادی در بخش ۲-۲ به شناسایی عوارض غیرزمینی پرداخته می‌شود. در این راستا، حدآستانه‌های مربوط به شناسایی عوارض در هر یک از نواحی باید تعیین گردد. ازآنجایی‌که مقادیر ارتفاع قابل‌قبول ($T1$)، مرز نسبی ($T2$) و گرادیان ($T3$) وابسته به ناهمواری و نوع پوشش منطقه نمی‌باشند، برای تمام نواحی به ترتیب ۰٫۵، ۰٫۷۵ و ۰٫۵ متر در نظر گرفته شده است. درواقع این سه پارامتر دارای ماهیتی هندسی بوده و تعیین مقدار آن‌ها وابسته به تراکم نقاط و یا میزان پیچیدگی منطقه مطالعاتی نمی‌باشد. برای مثال، برای عوارض غیرزمینی حداقل ارتفاع ۰٫۵ متر در نظر گرفته شده است و یا به‌عبارت‌دیگر عارضه‌ای که حداقل ۰٫۵ متر از زمین ارتفاع داشته باشد، به‌عنوان عارضه غیرزمینی استخراج می‌شود. حداکثر شیب قابل‌قبول در روش جستجو و برچسب‌گذاری برای نواحی ۱ و ۶ که کوهستانی و شیب‌دار می‌باشند، ۶۰ درجه و برای مابقی نواحی (نواحی ۲، ۳، ۴، ۵، ۷و ۸) که بدون ناهمواری‌های شدید می‌باشند، ۴۵ درجه در نظر گرفته شد. مقدار مساحت نسبی برای ناحیه ۴ که درصد بیشتری از آن حاوی نقاط غیرزمینی است، ۰٫۶ و برای مابقی نواحی برابر با ۰٫۳ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که میزان حد آستانه مربوط به بیشینه مساحت برای نواحی که دارای پوشش متراکم گیاهی (مناطق جنگلی) و یا شهری (ساختمان‌های به‌هم چسبیده) می‌باشند، بیشتر از دیگر نواحی است. ازاین‌رو این مقدار برای ناحیه ۴ که مربوط به یک ناحیه متراکم دارای عوارض کم‌ارتفاع و به‌هم چسبیده است بیشتر از دیگر مناطق است. با انتخاب مقدار بیشتر برای مساحت نسبی طی روند تورم ژئودزیک تدریجی امکان شناسایی یک مقطع بزرگ و به هم متصل به‌وجود می‌آید. درحالی‌که در نواحی دارای پوشش پراکنده، قطعات شناسایی‌شده دارای مساحت بسیار زیادی نمی‌باشند. در شکل (۱۰) نتایج مربوط به شناسایی عوارض غیرزمینی در هر یک از نواحی آورده شده است. نتایج به‌صورت تصویری باینری که در آن عوارض غیرزمینی دارای مقدار ۱ می‌باشند، نشان داده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]



شکل ۱۰: نتایج شناسایی عوارض غیرزمینی، (الف) ناحیه ۱، (ب) ناحیه ۲، (ج) ناحیه ۳، (د) ناحیه ۴، (ه) ناحیه ۵، (و) ناحیه ۶، (ز) ناحیه۷، (ح) ناحیه ۸.

همان‌طور که گفته شد برای ارزیابی نحوه عملکرد روش فیلترینگ پیشنهادی از داده‌های مرجع ISPRS برای محاسبه میزان خطای نوع اول، خطای نوع دوم و خطای کلی استفاده شد. در جدول (۱) نتایج ارزیابی روند پیشنهادی در کنار دیگر روش‌های موجود جهت شناسایی عوارض غیرزمینی آورده شده است.

جدول ۱: نتایج ارزیابی شناسایی عوارض غیرزمینی

ناحیه مطالعاتی	نوع خطا (٪)	Axelsson	Pfeifer	Wack	Elmqvist	Sohn	Sithole	Roggero	Hui	BVMS	روش پیشنهادی
ناحیه ۱	TI	۱۵٫۹۶	۲۸٫۲۶	۳۹٫۱۲	۳۳٫۶۳	۲۶٫۵۶	۳۷٫۶۹	۳۳٫۱۶	۱۳٫۶۳	۲۵٫۰۷	۸٫۵۵
	TII	۳٫۶۵	۲٫۴۱	۳٫۳۸	۴٫۳۸	۱۲٫۱۷	۳٫۴۹	۳٫۸۸	۱۲٫۲۹	۳٫۵۹	۱۳٫۰۰
	TE	۱۰٫۷۶	۱۷٫۳۵	۲۴٫۰۲	۲۲٫۴۰	۲۰٫۴۹	۲۳٫۲۵	۲۰٫۸۰	۱۳٫۳۴	۱۵٫۹۰	۱۰٫۴۵
	kappa	۷۸٫۴۸	۶۶٫۰۹	۵۳٫۸۸	۵۶٫۶۸	۵۹٫۳۴	۸۱٫۲۴	۵۹٫۶۲	۷۲٫۹۲	۶۸٫۶۹	۷۸٫۶۲
ناحیه ۲	TI	۴٫۸۹	۷٫۲۹	۱۱٫۹۴	۱۲٫۳۶	۸٫۸۷	۱۹٫۱۹	۱۱٫۹۲	۴٫۸۶	۶٫۳۵	۳٫۵۹
	TII	۱٫۴۸	۱٫۵۲	۰٫۸۹	۳٫۳۰	۷٫۸۷	۰٫۵۷	۰٫۹۱	۲٫۰۸	۲٫۱۸	۲٫۱۱
	TE	۳٫۲۵	۴٫۵۰	۶٫۶۱	۸٫۱۸	۸٫۳۹	۱۰٫۲۱	۶٫۶۱	۳٫۵۰	۴٫۳۱	۲٫۸۴
	kappa	۹۳٫۵۱	۹۱٫۰۰	۸۵٫۷۵	۸۳٫۶۶	۸۳٫۲۱	۷۹٫۷۰	۸۶٫۸۲	۹۳٫۰۰	۹۱٫۳۷	۹۴٫۲۹
ناحیه ۳	TI	۰٫۴۶	۲٫۸۱	۵٫۱۵	۲۵٫۹۱	۸٫۳۸	۹٫۶۴	۱۲٫۴۶	۰٫۰۱	۰٫۱۲	۱٫۰۲
	TII	۱۸٫۵۳	۱٫۶۴	۲٫۳۱	۱٫۷۵	۱۰٫۴۰	۰٫۶۷	۰٫۰۰	۹٫۹۵	۱٫۳۶	۳٫۵۸
	TE	۴٫۲۵	۲٫۵۷	۴٫۵۵	۸٫۵۳	۸٫۸۰	۷٫۷۶	۹٫۸۴	۲٫۲۱	۰٫۴۰	۱٫۵۹
	kappa	۸۶٫۳۴	۹۲٫۵۱	۸۷٫۰۶	۷۷٫۴۰	۷۵٫۳۷	۷۹٫۳۲	۷۴٫۷۱	۹۳٫۳۵	۹۸٫۸۳	۹۵٫۴۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

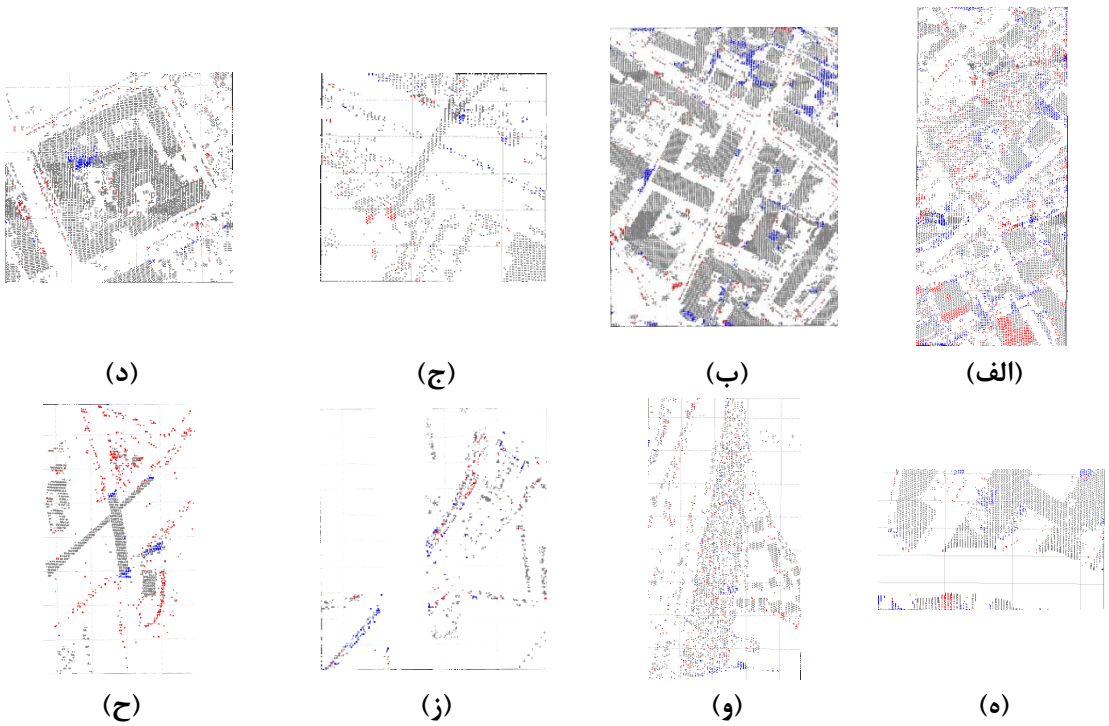
ناحیه مطالعاتی	نوع خطا (٪)	Axelsson	Pfeifer	Wack	Elmqvist	Sohn	Sithole	Roggero	Hui	BVMS	روش پیشنهادی
ناحیه ۴	TI	۷٫۹۱	۱٫۶۰	۳٫۱۵	۸٫۴۷	۴٫۸۱	۴٫۸۵	۳٫۰۳	۰٫۸۷	۱٫۵۸	۲٫۰۶
	TII	۱/۰۳	۲٫۰۴	۱٫۰۹	۲٫۳۳	۸٫۲۸	۱٫۱۲	۱٫۰۸	۱٫۸۶	۱٫۰۲	۲٫۵۹
	TE	۴٫۷۸	۱٫۸۰	۲٫۲۱	۵٫۳۴	۶٫۳۹	۳٫۱۵	۲٫۱۴	۱٫۳۳	۱٫۳۲	۲٫۳۰
	kappa	۹۰٫۴۳	۹۶٫۳۷	۹۵٫۵۶	۸۹٫۳۱	۸۷٫۰۹	۹۳٫۶۷	۹۶٫۳۸	۹۷٫۳۳	۹۷٫۳۴	۹۵٫۳۶
ناحیه ۵	TI	۲۵٫۸۱	۱۹٫۸۵	۱۷٫۶۳	۱۴٫۴۲	۱۹٫۲۵	۴۷٫۱۳	۲۱٫۵۵	۱۸٫۱۷	–	۶٫۰۷
	TII	۱٫۸۹	۱٫۵۷	۰٫۴۹	۰٫۸۵	۳٫۲۰	۱٫۶۵	۲٫۷۴	۳٫۰۷	–	۵٫۶۳
	TE	۱۳٫۹۱	۱۰٫۷۵	۹٫۰۱	۸٫۷۶	۱۱٫۲۷	۲۳٫۶۷	۱۲٫۲۱	۱۰٫۶۰	–	۵٫۸۵
	kappa	۷۲٫۲۱	۷۸/۵۱	۸۱٫۹۷	۸۲٫۴۶	۷۷/۴۸	۵۱٫۹۵	۷۵٫۶۱	۷۸٫۷۸	–	۸۸٫۳۰
ناحیه ۶	TI	۰٫۱۳	۴٫۲۱	۱۴٫۰۳	۴۹٫۳۴	۱۰٫۳۳	۷٫۰۳	۱٫۹۰	۱٫۴۲	–	۰٫۸۹
	TII	۱۲٫۰۰	۱٫۹۳	۲٫۲۳	۱٫۶۰	۵٫۶۸	۶٫۹۹	۶٫۹۶	۱۷٫۲۵	–	۱۰٫۰۹
	TE	۲٫۷۲	۳٫۷۱	۱۱٫۴۵	۲۱٫۳۱	۹٫۳۱	۷٫۰۲	۳٫۰۱	۴٫۸۸	–	۲٫۹۰
	kappa	۹۱٫۶۸	۸۹٫۶۱	۷۱٫۴۱	۵۲٫۷۴	۷۵٫۴۸	۷۰٫۶۹	۹۱٫۱۸	۸۵٫۰۶	–	۹۱٫۲۹
ناحیه ۷	TI	۱٫۹۴	۷٫۱۵	۱۳٫۹۴	۹۱٫۲۸	۲٫۹۶	۲۲٫۳۹	۱۹٫۶۴	۱٫۵۴	–	۰٫۴۲
	TII	۶٫۲۳	۰٫۱۷	۰٫۲۵	۰٫۰۷	۳٫۶۵	۰٫۲۵	۰٫۵۸	۲۴٫۵۴	–	۱۶٫۷۵
	TE	۲٫۰۸	۶٫۹۱	۱۳٫۴۷	۳۵٫۸۷	۲٫۹۹	۲۱٫۶۳	۱۸٫۹۹	۲٫۳۳	–	۰٫۹۸
	kappa	۷۴٫۵۲	۴۷٫۰۹	۲۹٫۶۹	۱۰٫۳۱	۶۷٫۴۹	۱۹٫۱۵	۲۱٫۸۱	۶۷٫۸۲	–	۸۴٫۹۸
ناحیه ۸	TI	۰٫۱۴	۷٫۱۵	۹٫۷۸	۱۸٫۸۸	۷۵٫۱۹	۱٫۲۶	۲۴٫۵۷	۵٫۴۱	–	۰٫۳۸
	TII	۱۳٫۲۵	۹٫۷۸	۱٫۵۹	۱٫۹۸	۰٫۲۲	۹٫۵۱	۰٫۳۴	۲٫۷۷	–	۱۵٫۲۰
	TE	۱٫۶۳	۱٫۵۹	۸٫۸۵	۱۶٫۹۷	۳۴٫۲۲	۲٫۲۰	۲۱٫۸۳	۵٫۱۱	–	۲٫۰۶
	kappa	۹۱٫۴۴	۶۶٫۷۵	۴۸٫۳۷	۲۶٫۲۶	۸۹٫۰۷	۴۰٫۸۱	۷۸٫۲۸	۷۹٫۸۶	–	۸۹٫۲۰
میانگین	TI	۷٫۱۵	۱۰٫۱۲	۱۵٫۴۸	۳۸٫۸۲	۱۰٫۳۰	۲۱٫۵۶	۱۳/۶۳	۵٫۱۸	۸/۲۸	۲٫۸۷
	TII	۷٫۲۵	۱٫۶۰	۱٫۵۷	۱٫۸۱	۷٫۵۹	۱٫۸۸	۲٫۳۶	۱۲٫۱۴	۲/۰۳	۸٫۶۱
	TE	۵٫۴۲	۷٫۰۵	۱۱٫۰۳	۱۸٫۰۷	۸٫۷۳	۱۴٫۸۱	۹٫۸۳	۵/۲۴	۵/۴۸	۳٫۶۲
	kappa	۸۴٫۸۲	۶۷٫۲۳	۶۹٫۲۱	۶۶٫۹۷	۷۶٫۸۱	۶۴٫۵۶	۷۳٫۰۵	۸۳٫۵۱	۸۹٫۰۵	۸۹٫۶۸

- **مراجعه شود به : http://www.itc.nl/isprswgIII-3/filtertest**

مطابق نتایج ارائه‌شده توسط ISPRS (جدول (۱)) روند پیشنهادی کمترین میانگین میزان خطای کلی را دارد که نشان از قدرت عملکرد روش پیشنهادی در شناسایی نقاط غیرزمینی می‌باشد. پس از روش پیشنهادی روش‌های اکسلسون و BVMS کمترین میزان خطای کلی را دارند که خطای کلی مربوط به روش BVMS متعلق به چهار ناحیه مطالعاتی می‌باشد، در حالیکه این مقدار برای روش اکسلسون مربوط به هشت ناحیه مطبلیالعاتی است. مقدار خطای میانگین نوع اول، نوع دوم، کلی و کاپا مربوط به چهار ناحیه مطالعاتی مورد استفاده BVMS برای روش اکسلسون به ترتیب ۷٫۳۰، ۶٫۱۷، ۵٫۷۶ و ۸۷٫۱۹ بوده و این مقادیر برای روش پیشنهادی به ترتیب ۱٫۵۲، ۵٫۳۰، ۴٫۳۶ و ۹۰٫۹۱ می باشند. همان‌طور که از

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

این مقادیر پیداست عملکرد روش ارائه شده توسط اکسلسون در چهار ناحیه ابتدایی ضعیف‌تر از روش BVMS است. در حالیکه روش پیشنهادی در این چهار ناحیه نیز عملکرد بهتری نسبت به دیگر روش‌ها دارد. با توجه به جدول و بررسی عملکرد روش پیشنهادی در هر یک از نواحی مشخص است و بیشترین میزان خطای کلی مربوط به ناحیه ۱ است که در آن مجموعه‌ای از درختان و ساختمان‌ها در یک منطقه شیب‌دار قرار دارند. درواقع ناحیه ۱ یک ناحیه بسیار چالش‌برانگیز برای روش‌های فیلترینگ می‌باشد که روش پیشنهادشده در این ناحیه عملکرد بهتری نسبت به دیگر الگوریتم‌ها دارد. کمترین میزان خطای کلی، مربوط به ناحیه ۶ می‌باشد که مربوط به دامنه کوه به همراه ساختمان‌ها و درختان پراکنده است و دارای خطای کلی ۰/۹۸٪ است. در بیشتر روش‌های ارائه شده، میزان خطای نوع دوم بسیار کاهش یافته و این کاهش با افزایش چشمگیر میزان خطای نوع اول همراه شده است. در واقع با این کار خطای کلی این روش‌ها نیز افزایش یافته است که کار نامطلوبی می‌باشد. درواقع باید بین خطاهای نوع اول و دوم یک تعادل برقرار باشد تا خطای کلی کاهش یابد. در روش پیشنهادشده، خطای نوع اول به نسبت، کمتر از خطای نوع دوم بوده و تعادلی نسبی میان این دو نوع خطا برقرار است که این عامل سبب کاهش خطای کلی گشته است. در شکل (۱۱) به‌صورت شماتیک *a*، *b*، *c* و *d* (روابط (۱۸، ۱۹ و ۲۰)) به ترتیب با رنگ‌های سفید، قرمز، آبی و خاکستری نمایش داده شده‌اند.



(الف) (ب) (ج) (د)

(ه) (و) (ز) (ح)

شکل ۱۱: نمایش شماتیک خطاهای موجود در شناسایی عوارض غیرزمینی توسط روش پیشنهادی (سفید= a، قرمز= b، آبی= c و خاکستری= d)

روش‌هایی که برمبنای عملگر گشایش مورفولوژی کار می‌نمایند، در مناطقی که سطح زمین دارای پیچیدگی نظیر زمین‌های ناهموار کوهستانی و یا شالیزارها دچار مشکل می‌شوند. به‌طوری‌که قسمتی از سطح زمین را به‌عنوان عارضه غیرزمینی استخراج می‌نمایند. روش ژئودزیک مورفولوژی به‌دلیل ساختار محکم‌تر این ضعف را پوشش داده است، منتها در مقابل در مناطق کوهستانی با عوارض کم ارتفاع

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

نظیر بوته و یا درختچه نمی‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد و توانایی شناسایی عارضه غیرزمینی را ندارد. البته لازم به ذکر است که با اصلاحات مطرح‌شده و معرفی المان‌های ساختاری برای شناسایی عوارض غیرزمینی این خطا به حداقل رسید؛ اما استفاده از روش جستجو و برچسب‌گذاری در کنار روش مورفولوژی ما را به حداکثر کارایی رساند. در ضمن استفاده از روش جستجو و برچسب‌زنی به‌تنهایی برای شناسایی نقاط غیرزمینی به دلیل نحوه کار و ساختار این روش، در مناطق شهری با پوشش متراکم و ساختمان‌های چندلایه کارامد نمی‌باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت که روش پیشنهادی با پوشش المان‌های هندسی و ساختاری متفاوت در شناسایی عوارض غیرزمینی با دقت مناسبی عوارض غیرزمینی را شناسایی نموده است. پس از شناسایی عوارض غیرزمینی، برای دستیابی به DTM منطقه باید مقادیر ارتفاعی مناطق ازدست‌رفته با استفاده از درون‌یابی بازیابی شوند. واضح است که هر چه روش فیلترینگ ابرنقاط قدرتمندتر باشد، DTM استخراج‌شده از منطقه دقیق‌تر می‌گردد. روش پیشنهادی عملکرد بسیار مناسبی جهت فیلترینگ و شناسایی عوارض غیرزمینی از خود نشان داد که طبعاً منجر به استخراج DTM دقیق از منطقه می‌گردد. دلیل اهمیت فیلترینگ از آن جهت است که شناسایی اشتباه هر نقطه می‌تواند در مرحله درون‌یابی منجر به ایجاد خطا در بازیابی مناطق ازدست‌رفته گشته و نقاطی با خطای ارتفاعی زیاد بازیابی شوند که مطلوب نمی‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی نوین برای فیلترینگ ابرنقاط جهت شناسایی و حذف عوارض غیرزمینی به‌منظور استخراج DTM مطرح گشته است. روند پیشنهادشده دارای دو الگوریتم اصلی با عنوان‌های تورم ژئودزیک تدریجی و جستجو و برچسب‌زنی بوده است. استفاده از دو روش به‌دلیل اهمیت بالای شناسایی عوارض غیرزمینی در استخراج DTM صورت گرفته است. به‌طوری‌که تفاوت زیاد هندسه مورداستفاده و روند هر یک از روش‌ها باعث شد، عوارض غیرزمینی با هر هندسه و موقعیتی شناسایی گردند. در روش تورم ژئودزیک تدریجی با بررسی چهار پارامتر هندسی (روابط ۱۲-۱۶) و افزایش المان ارتفاعی به‌صورت تدریجی، عوارض غیرزمینی با هر اندازه و ساختاری شناسایی شدند. این روش در نواحی شیب‌دار موفق به استخراج تمامی نقاط عارضه نبود که این نقصان با طراحی روش جستجو و برچسب‌زنی مرتفع گردید. روش جستجو و برچسب‌زنی، محدوده مورد بررسی را در چهار راستا جستجو کرده و با بررسی پارامتر شیب، نواحی که پتانسیل داشتن عارضه غیرزمینی دارند را استخراج نمود. در نهایت با اجتماع نتایج این دو روش، کلاس نهایی عوارض غیرزمینی به‌دست آمد. برای ارزیابی روند پیشنهادی از ۵ ناحیه مطالعاتی لایدار تهیه‌شده توسط ISPRS با پوشش و ناهمواری‌های متفاوت استفاده گردید. روند پیشنهادی قابل اجرا بر روی ابر نقاط بوده و مستقل از نحوه تهیه (لایدار و یا تناظریابی تصاویر) این نقاط است. همچنین با تراکم متفاوت ابر نقاط، الگوریتم پیشنهادی عملکرد بسیار مناسبی داشت. به‌طوری‌که میزان میانگین خطای نوع اول، خطای نوع دوم، خطای کلی و خطای کاپا نواحی مطالعاتی به ترتیب ۲٫۸۷٪، ۸٫۶۱٪، ۳٫۶۲٪ و ۸۹٫۶۸٪ به‌دست آمد.

مراجع

[1] Z. Li, C. Zhu, and C. Gold. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology. CRC press, 2004.

[2] V. Krishna Prasad. “Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology”. The Photogrammetric Record, 24(127), 296-297, 2009.

[3] F. Leberl, A. Irschara, T. Pock, P. Meixner, M. Gruber, S. Scholz, and A. Wiechert. “Point clouds”. Photogrammetric

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

Engineering & Remote Sensing, 76(10), 1123-1134, 2010.

[4] J. Kilian, N. Haala, and M. Englich, "Capture and evaluation of airborne laser scanner data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 31: p. 383-388, 1996.

[5] G. Sohn, and I. Dowman, "Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL criterion", International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/A): p. 336-344, 2002.

[6] K. Zhang, S-C. Chen, D. Whitman, M-L. Shyu, J. Yan, C. Zhang, "A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 41(4): p. 872-882, 2003.

[7] G. Vosselman, "Slope based filtering of laser altimetry data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B3/2; PART 3): p. 935-942, 2000.

[8] G. Sithole, and G. Vosselman, "Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter", International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/W4): p. 203-210, 2001.

[9] P. Axelsson, "Processing of laser scanner data-algorithms and applications", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2): p. 138-147, 1999.

[10] T. Krauss, M. Lehner, and P. Reinartz, "Modeling of urban areas from high resolution stereo satellite images", in Proceedinsg of the ISPRS Hannover Workshop: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information. 2007.

[11] K.R. Bandara, L. Samarakoon, R.P. Shrestha, and Y. Kamiya. "Automated generation of digital terrain model using point clouds of digital surface model in forest area", Remote Sensing, 3(5): p. 845-858, 2011.

[12] A. Kobler, N. Pfeifer, P. Ogrinc, L. Todorovski, K. Oštir, and S. Džeroski, "Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from Aerial Laser Scanner Data in forested terrain", Remote sensing of environment, 108(1): p. 9-23, 2007.

[13] J. Tian, T. Krauss, and P. Reinartz, "DTM generation in forest regions from satellite stereo imagery", The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 40(1): p. 401-405, 2014.

[14] R. Perko, H. Raggam, K. Gutjahr, M. Schardt, "Advanced DTM generation from very high resolution satellite stereo images", ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2(3): p. 165, 2015.

[15] D. Mongus, and B. Žalik, "Parameter-free ground filtering of LiDAR data for automatic DTM generation", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 67: p. 1-12, 2012.

[16] F. Yuana, J. Zhanga, L. Zhanga, and J. Gaob, "DEM generation from airborne LIDAR data", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, p.308-312, 2009.

[17] B. Yunfei, L. Guoping, C. Chunxiang, Z. Xiaowen, Z. Hao, H. Qisheng, B. Linyan, and C. Chaoyi, "Classification of LIDAR point cloud and generation of DTM from LIDAR height and intensity data in forested area", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37(7): p. 313-318, 2008.

[18] A. B. Jahromi, M. J. V. Zoej, A. Mohammadzadeh, and S. A. Sadeghian. "Novel filtering algorithm for bare-earth extraction from airborne laser scanning data using an artificial neural network", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 4(4), 836-843, 2011.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

[19] S. Filin, "Surface clustering from airborne laser scanning data", International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/A): p. 119-124, 2002.

[20] T. Rabbani, F. Van Den Heuvel, and G. Vosselmann, "Segmentation of point clouds using smoothness constraint", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36(5): p. 248-253, 2006.

[21] Q. Chen, P. Gong, D. Baldocchi, and G. Xie, "Filtering airborne laser scanning data with morphological methods", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 73(2): p. 175-185, 2007.

[22] K. Zhang. and D. Whitman, "Comparison of three algorithms for filtering airborne lidar data", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 71(3): p. 313-324, 2005.

[23] M. Elmqvist, E. Jungert, F. Lantz, A. Persson, and U. Soderman, "Terrain modelling and analysis using laser scanner data", International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/W4): p. 219-226, 2001.

[24] M. Elmqvist, "Ground surface estimation from airborne laser scanner data using active shape models", International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(3/A): p. 114-118, 2002.

[25] L.D. Cohen, and I. Cohen, "Finite-element methods for active contour models and balloons for 2-D and 3-D images", IEEE Transactions on Pattern Analysis and machine intelligence, 15(11): p. 1131-1147, 1993.

[26] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models", International journal of computer vision, 1(4): p. 321-331, 1988.

[27] R. A. Haugerud, and D. Harding, "Some algorithms for virtual deforestation (VDF) of LIDAR topographic survey data", International archives of photogrammetry remote sensing and spatial information sciences, 34(3/W4): p. 211-218, 2001.

[28] K. Krauss, and N. Pfeifer, "Advanced DTM generation from LIDAR data", International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences, 34(3/W4): p. 23-30, 2001.

[29] K. Krauss, and W. Rieger, "Processing of laser scanning data for wooded areas", photogrammetric Week, Citeseer, 1993.

[30] C. Briese, and N. Pfeifer. "Airborne laser scanning and derivation of digital terrain models", Fifth Conference on Optical. 2001.

[31] W. Schickler, and A. Thorpe. "Surface estimation based on LIDAR", Conference on proceedings of the ASPRS Annual. Citeseer, 2001.

[32] M. Vaaja, A. Kukko, H. Kaartinen, M. Kurkela, E. Kasvi, C. Flener, and P. Alho. "Data processing and quality evaluation of a boat-based mobile laser scanning system", Sensors, 13(9), 12497-12515, 2013.

[33] G. Sithole, and G. Vosselman. "Comparison of filtering algorithms", workshop on proceedings of the ISPRS working group III/3, 2003.

[34] W.L. Martinez, A.R. Martinez, A. Martinez, and J. Solka, "Exploratory data analysis with MATLAB", 2010: CRC Press.

[35] A. Almansa, F. Cao, Y. Gousseau, and B. Rougé. "Interpolation of digital elevation models using AMLE and related methods", IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 40, 314–325, 2002.

[36] E.S. Anderson, J.A. Thompson, and R.E. Austin. "LiDAR density and linear interpolator effects on elevation estimates", Int. J. Remote Sens, 26, 3889–3900, 2005.

[37] H. Arefi. "From LiDAR point clouds to 3D building models", PHD thesis, 2009.

[38] W. Wang, H. Pottmann, and Y. Liu. "Fitting B-spline curves to point clouds by curvature-based squared distance minimization", ACM Transactions on

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

Graphics (ToG), 25(2), 214-238, 2006.

[39] R.C. Gonzalez, and R. Eugene Woods, "Digital image processing", ISBN number 9780131687288, Publisher: Prentice Hall. 2008.

[40] B. Jähne, H. Haussecker, and P. Geissler, "Handbook of computer vision and applications", Citeseer, Vol. 2. 1999.

[41] H. Arefi, P. d'Angelo, H. Mayer, and P. Reinartz. "Iterative approach for efficient digital terrain model production from CARTOSAT-1 stereo images", Journal of Applied Remote Sensing 5, 053527-053527-053519, 2011.

[42] H. Arefi, and M. Hahn, "A morphological reconstruction algorithm for separating off-terrain points from terrain points in laser scanning data", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(3/W19): p. 120-125, 2005.

[43] X. Men. "A slope-and elevation-based filter to remove non-ground measurements from airborne LIDAR data", UCGIS Summer Assembly, 28. 2005.

[44] Z. Hui, Y. Hu, Y. Z. Yevenyo, and X. Yu. "An improved morphological algorithm for filtering airborne LIDAR point cloud based on multi-level kriging interpolation", Remote Sensing 8.1-35, 2016.

[45] J. Cohen. "A coefficient of agreement for nominal scales", Educational and Psychological Measurement. 20(1): 37–46, 1960.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.6, No.3, Autumn 2018

Presenting a morphological based approach for filtering the point cloud to extract the digital terrain model

Behnaz Bigdeli[1*], Hamed Amini Amirkolaee[2], Parham Pahlavani [3]

1- Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
2- PHD student, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran
3- School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The Digital terrain model is an important geospatial product used as the basis of many practical projects related to geospatial information. Nowadays, a dense point cloud can be generated using the LiDAR data. Actually, the acquired point cloud of the LiDAR, presents a digital surface model that contains ground and non-ground objects. The purpose of this paper is to present a new approach of extracting the digital terrain model from the digital surface model. In the first step, noises were removed by preprocessing; then the irregular point cloud was converted to raster data. In the next step, the proposed gradual geodesic dilation and labeling approaches scan were applied in order to detect and eliminate the non-ground objects. The basis of gradual geodesic dilation approach was to increase the structural element size in each step, investigate the height heterogeneity and remove the non-ground objects, gradually. Also, utilizing the innovative scan labeling approach which operated based on slope differential helped to remove the non-ground objects completely .

Finally, the non-ground objects were removed and the lost regions were retrieved and the digital terrain model was generated by interpolation. For analyzing the proposed approach, the reference data of the ISPRS was employed. The analyzing results in the five test areas indicated 4.61%, 6.97% and 3.17% for Type I, Type II and total errors, respectively. These results clarify the good performance of the proposed approach for detecting the non-ground objects.

Key words: Digital Terrain Model, Point Cloud, Geodesic Dilation, Labeling, non-Ground Objects

Correspondence Address Department of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
Tel: +98 233 2300259
Email: : bigdeli@shahroodut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.52547/jgit.6.3.67]