

بهبود نتایج الگوریتم‌های فیلترسازی داده‌های لیزر اسکنر هوایی با استفاده از مورفولوژی ریاضی

علی اکبر متکان^۱، محمد حاجب^۲، علی محمدزاده^۳، سعید صادقیان^۴

۱- دانشیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

۲- مربی گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

۳- استادیار دانشکده نقشه برداری، پژوهشکده سنجش از دور، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۴- استادیار آموزشکده نقشه برداری سازمان نقشه برداری کشور

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۰۷

چکیده

امروزه لیزر اسکنر هوایی (لیدار) نقش مهمی در برداشت اطلاعات سه‌بعدی عوارض ایفا می‌کند. در دست بودن اطلاعات زمین لخت اهمیت بالایی در کاربردهای مختلف نظیر استخراج DTM، تعیین مناطق قابل عبور، و غیره دارد. تا کنون الگوریتم‌های فراوانی برای فیلترسازی خودکار داده‌های لیزر اسکن طراحی شده‌است. یک مشکل اساسی اغلب این الگوریتم‌ها، عدم توانایی آن‌ها در حذف ساختمان‌های بزرگ است. هدف این تحقیق ارائه راه‌حلی جهت برطرف کردن این مشکل است. برای این منظور از عملگرهای مورفولوژی ریاضی استفاده شده است. ابتدا داده‌های لیدار با استفاده از یکی از مؤثرترین الگوریتم‌های فیلترسازی یعنی الگوریتم شیب‌مینا، فیلتر شدند. در ادامه با اجرای الگوریتم پیشنهادی، که بر پایه عملگرهای مورفولوژی ریاضی است، نقاط روی ساختمان‌های بزرگ فیلتر شدند و بدین ترتیب نتایج مرحله فیلترسازی بهبود داده شدند. نتایج ارزیابی دقت الگوریتم پیشنهاد شده نشان می‌دهد که این الگوریتم باعث افزایش ناچیز خطای نوع اول و کاهش چشمگیر خطای نوع دوم و خطای مجموع می‌شود. از آن‌جاکه در فرآیند فیلترسازی داده‌های لیدار، خطای نوع دوم و خطای مجموع از اهمیت بالاتری نسبت به خطای نوع اول برخوردارند، انجام این پردازش تکمیلی نتایج بسیار مفیدی دربر داشته است. ارزیابی کمی دقت نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که پس از اجرای الگوریتم پیشنهاد شده، خطای نوع اول از ۴/۹۸٪ به ۵/۲۷٪ افزایش و خطای نوع دوم و خطای مجموع بترتیب از ۹/۰۴٪ و ۷/۰۳٪ به ۴/۴۴٪ و ۴/۸۵٪ کاهش یافته‌اند. همچنین ارزیابی کیفی نتایج نشان می‌دهد که نقاط روی ساختمان‌های بزرگ که در مرحله فیلترسازی، حذف نشده بودند، همگی پس از اجرای الگوریتم پیشنهادی، فیلتر شدند. الگوریتم فیلترسازی شیب‌مینا و پردازش‌های مورفولوژی ریاضی در محیط نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: لیزر اسکنر هوایی (لیدار)، فیلترسازی، الگوریتم فیلترسازی شیب‌مینا، مورفولوژی ریاضی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: محمد حاجب، آدرس پستی: تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و GIS، ۰۹۱۲۲۰۱۵۹۳۱

Email: m_hajeb@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

در این الگوریتم که به روش سلسله مراتبی عمل می‌کند فرض بر این است که زمین لخت را می‌شود مجموعه‌ای از سطوح پیوسته پوشش دار با ابعاد کوچک در نظر گرفت.

الگوریتم TIN متراکم شونده-نوع اول^۴ [۴]: فرض این الگوریتم بر این است که زمین لخت به صورت محلی و کلی هموار است. در این روش ابتدا یک TIN^۵ پراکنده از مینیمم همسایه‌ها ایجاد می‌شود. این TIN اولین تخمین از زمین لخت است. سپس در مراحل تکراری این TIN به طور افزاینده با ابر نقاط لیزر متراکم می‌شود. در هر تکرار اگر نقطه ضوابط مشخصی را در رابطه با مثلثی که حاوی آن است ارضاء کند، به TIN افزوده می‌شود.

الگوریتم شیب مبنای توافقی-نوع اول^۶ [۵]: این الگوریتم نیز بر مبنای مفاهیم مورفولوژی ریاضی است و فرض در آن بر این است که گرادیان‌ها در زمین لخت به صورت محلی محدود می‌باشند. این فیلتر ویرایشی از فیلتر شیب‌مبنای است که در [۶] ارائه شده است و در آن شکل المان ساختاری با شیب زمین لخت تطبیق داده می‌شود.

الگوریتم شیب مبنای توافقی-نوع دوم^۷ [۷]: این الگوریتم هم بر مبنای مفاهیم مورفولوژی ریاضی است و فرض در آن بر این است که گرادیان‌ها در زمین لخت به صورت محلی محدودند. در این فیلتر شکل المان ساختاری با شیب زمین لخت در نقطه مورد نظر وفق پیدا می‌کند.

الگوریتم بر پایه مدل های منحنی فعال^۸ [۸]: این الگوریتم فرض می‌کند که زمین لخت را می‌شود به صورت مجموعه‌ای از سطوح پیوسته پوشش دار با ابعاد کوچک در نظر گرفت. این الگوریتم با به کارگیری

لیزر اسکنر هوایی قادر به نمونه‌برداری از سطح زمین در مدت زمان کوتاه همراه با دقت مناسب و در قالب سه‌بعدی است. به همین دلیل در سال‌های اخیر استفاده از سیستم لیزر اسکنر هوایی به سرعت در حال گسترش است. با این حال به دلیل حجم زیاد داده‌ها، پردازش این داده‌ها به صورت اتوماتیک همچنان به عنوان یک چالش بزرگ مطرح است. یکی از مهمترین پردازش‌های داده‌های لیزر اسکنر هوایی، فیلترسازی این داده‌ها یا همان جداسازی نقاط متعلق به زمین لخت از نقاط متعلق به عوارض است. آگاهی راجع به زمین لخت برای بسیاری از طرح‌های عمرانی و برنامه ریزی‌ها ضروری است. از آن‌جا که استخراج زمین لخت از داده‌های لیزر اسکنر هوایی به صورت دستی امری زمان‌بر و پرهزینه است، تلاش‌های زیادی برای طراحی الگوریتم‌های فیلترسازی داده‌های لیزر اسکنر هوایی انجام شده است.

در ادامه به معرفی برخی الگوریتم‌های فیلترسازی موجود و فرضیاتی که این الگوریتم‌ها بر پایه آن‌ها بنا نهاده شده‌اند، می‌پردازیم.

الگوریتم بر پایه ریخت شناسی ریاضی^۱ [۱]: در این الگوریتم که بر مبنای مفاهیم مورفولوژی ریاضی است فرض بر این است که پائین‌ترین نقاط در یک همسایگی متعلق به زمین لخت هستند. در این الگوریتم ابتدا یک مدل تقریبی از زمین به وسیله پائین‌ترین نقاط یافت شده در یک پنجره‌ی متحرک محاسبه می‌شود، سپس تمامی نقاطی که اختلاف ارتفاعشان از یک مقدار آستانه تعریف شده بیشتر باشد فیلتر می‌شوند و DTM^۲ دقیق‌تر می‌شود. ویرایش دیگری از این الگوریتم در [۲] ارائه شده است.

الگوریتم پیوسته سازی سلسله مراتبی سطح^۳ [۳]:

4 Progressive TIN densification
5 Triangulated Irregular Network
6 Adaptive Slope based filter
7 Adaptive slope based filter
8 Active contour models

1 Morphological Filter
2 Digital Terrain Model
3 Hierarchical surface regularization

جداگانه کشف می‌شوند. عوارض بزرگ با قطعه‌بندی ابر نقاط و عوارض کوچک با نرم‌سازی ابر نقاط کشف می‌شوند.

الگوریتم بر پایه طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان^[۱۴]: در این الگوریتم که بر پایه طبقه‌بندی به روش SVM است علاوه بر داده‌های شدت و فاصله لیدار، از عکس رنگی هوایی منطقه و نیز لایه‌هایی که از آنالیز بافت تصاویر فوق به‌دست آمده‌اند، استفاده می‌شود. در این روش ابتدا تصاویر به ۴ کلاس جاده، چمن، ساختمان و درخت طبقه‌بندی می‌شوند سپس کلاس‌های جاده و چمن به‌عنوان کلاس زمین و کلاس‌های ساختمان و درخت به‌عنوان کلاس عارضه برچسب می‌خورند.

الگوریتم BVMS^[۱۵]: در این الگوریتم از تکنیک طبقه‌بندی شبکه‌های عصبی استفاده شده است. ابتدا با استفاده از معیارهایی بر اساس شیب، تعدادی نقطه‌ی زمینی و با استفاده از معیار اختلاف بین بازگشت اول و آخر، تعدادی نقطه عارضه شناسایی می‌شوند و از آن‌ها به‌عنوان نقاط آموزشی برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود. سرانجام نقاط زمین لخت و عارضه با استفاده از این شبکه عصبی طبقه‌بندی می‌شوند.

با وجود الگوریتم‌های زیادی که برای فیلترسازی داده‌های لیدار طراحی شده‌اند، اکثر این الگوریتم‌ها در مناظر ساده نتایج خوبی دارند و در مواجهه با مناظر پیچیده‌ی شهری با مشکلاتی همراه هستند. از این رو نیاز به رفع نواقص روش‌های قبلی و طراحی الگوریتم‌های جدید به‌شدت احساس می‌شود. یکی از مشکلاتی که اکثر الگوریتم‌های فیلترسازی با آن مواجه هستند، عدم توانایی آن‌ها در حذف نقاط مربوط به ساختمان‌های بزرگ است. این مشکل از آنجا ناشی می‌شود که این الگوریتم‌ها برای در نظر داشتن

مدل‌های شکل فعال سطح زمین را تخمین می‌زند. الگوریتم خوشه‌بندی بر پایه لبه‌ها^[۹]: فرض در این الگوریتم بر این است که نقاطی که در لبه‌های بسته قرار دارند متعلق به عوارض هستند. الگوریتم با در نظر داشتن این که عوارض لبه‌های واضحی دارند و در کنار یکدیگر مرز بسته‌ای را تشکیل می‌دهند، اقدام به شناسایی نقاط مربوط به عوارض می‌کند.

الگوریتم بر مبنای روش کمترین بلوک^[۱۰]: این الگوریتم نیز یک الگوریتم مورفولوژیک است که فرض می‌کند پائین‌ترین نقطه یک همسایگی به زمین لخت تعلق دارد. در این الگوریتم المان‌های رستر عوارض بروش سلسله‌مراتبی نمایان می‌شوند.

الگوریتم TIN متراکم شونده_نوع دوم^[۱۱]: فرض در این الگوریتم بر این است که زمین لخت به‌صورت محلی و کلی هموار است. این الگوریتم دارای دو مرحله متراکم سازی تصاعدی یک TIN است. نقاط داخل TIN در پایان متراکم سازی به‌عنوان نقاط زمین لخت یا عارضه در نظر گرفته می‌شوند.

الگوریتم بازیافت سلسله مراتبی سطح زمین^[۱۲]: فرض در این الگوریتم بر این است که در هرم تصاویر که از داده‌های لیدار ساخته می‌شود، تصویر در بالاترین سطح یک DTM تقریبی است. الگوریتم نقاط زمینی را با یافتن مینیمم محلی و سایر نقاط توپوگرافیک مشخص می‌کند و سطح زمین را به روش زبر به نرم^۵ بازیابی می‌نماید.

الگوریتم قطعه بندی ابر نقاط^[۱۳]: فرض در این الگوریتم بر این است که بعد از قطعه‌بندی ابر نقاط، قطعات متعلق به عوارض بالاتر از همسایگانشان قراردارند. در این الگوریتم عوارض کوچک و بزرگ

- 1 Edge based clustering
- 2 Minimum block classification
- 3 Progressive TIN Densification / Regularization Method
- 4 Hierarchical terrain recovery
- 5 coarse-to-fine
- 6 Segmented Point Clouds

7 SVM classification, a grid based approach

8 Baligh, Valadan zoej, Mohammadzadeh and Sadeghian

از اعمال الگوریتم روی داده‌ها پرداخته شده است و بحث و نتیجه‌گیری به ترتیب در بخش‌های چهارم و پنجم آورده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده

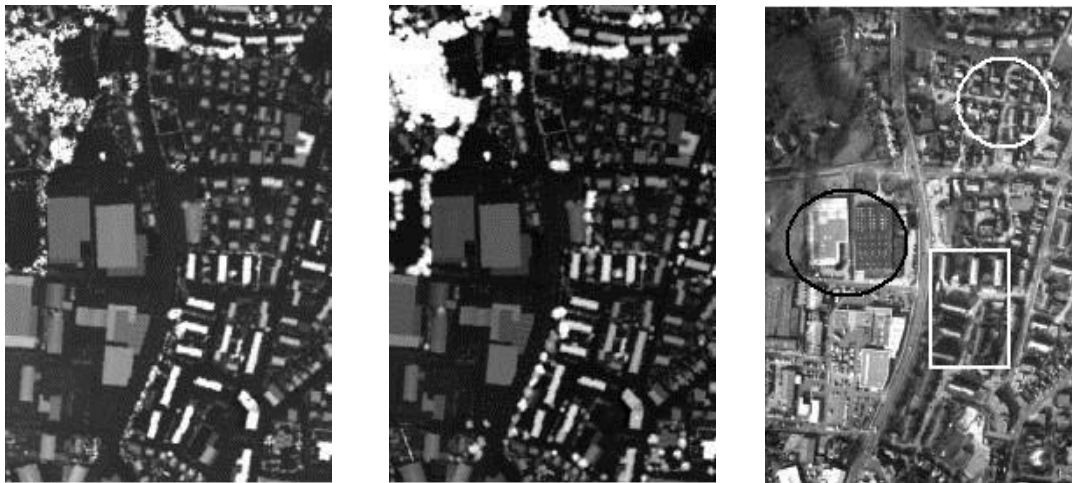
داده‌های لیدار مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های بازگشت اول و آخر فاصله و شدت می‌باشند. داده‌ها دارای ساختار شبکه‌ای منظم بوده و فاصله بین نقاط شبکه ۱ متر می‌باشد. یک تصویر هوایی با قدرت تفکیک بالا (۰/۲ متر) نیز از منطقه وجود دارد. تصویر مربوط به داده‌های لیدار مورد استفاده به ابعاد 697×472 پیکسل است. این داده‌ها مربوط به منطقه‌ای در غرب کشور آلمان است و توسط شرکت Toposys تهیه شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، تغییرات فاحشی در بافت منطقه وجود دارد. در سمت راست تصویر شاهد مناطق مسکونی با ساختمان‌های تقریباً کوچک هستیم (دایره سفید در شکل ۱- الف)، در سمت چپ تصویر مناطق صنعتی با ساختمان‌های بزرگ به چشم می‌خورد (دایره سیاه در شکل ۱- الف) و در بخش‌های مرکزی منطقه، ساختمان‌های مرتفع وجود دارد (مستطیل سفید در شکل ۱- الف). پارکینگ‌های روباز با تعداد زیادی اتومبیل در اطراف مناطق صنعتی وجود دارد.

در گوشه سمت چپ بالای تصویر پوشش گیاهی نسبتاً متراکم وجود دارد. درختان منفرد هم در جای جای منطقه به چشم می‌خورند. بنابراین منطقه مورد مطالعه از پیچیدگی لازم جهت ارزیابی الگوریتم پیشنهاد شده برخوردار است.

اثر ناهمواری‌های زمین منطقه در مناطق با توپوگرافی پیچیده، مجبور هستند که در تصمیم‌گیری برای عارضه بودن یا نبودن یک نقطه، به صورت محلی و در یک همسایگی عمل کنند. بدین ترتیب این الگوریتم‌ها هنگام برخورد با ساختمان‌های بزرگتر از این همسایگی دچار مشکل می‌شوند. در این تحقیق جهت برطرف کردن این مشکل روشی پیشنهاد شده که مبتنی بر مورفولوژی ریاضی است.

مبنای مورفولوژی ریاضی براساس نظریه‌ی مجموعه‌ها استوار است. عملگرهای مورفولوژیک، دسته‌ای از عملگرها هستند که به صورت وسیعی در استخراج شکل از تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور مثال از این عملگرها به‌طور گسترده‌ای در استخراج اشکال گوناگون، نظیر عوارض ارتفاعی (درختان و ساختمان‌ها) و راه‌ها از داده‌های لیدار استفاده قرار می‌شود. بسیاری از الگوریتم‌های فیلترسازی داده‌های لیدار بر پایه مفاهیم مورفولوژی ریاضی است [۱]، [۲]، [۵]، [۶]، [۷] و [۱۰]. در بسیاری از الگوریتم‌های استخراج عوارض مختلف از داده‌های لیدار نیز عملگرهای مورفولوژی به‌عنوان پردازش‌های تکمیلی برای بهبود نتایج قبلی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال در [۱۶] از عملگرهای مورفولوژی ریاضی در الگوریتمی که برای استخراج راه‌ها از داده‌های لیدار طراحی شده، استفاده شده است. در این مقاله [۱۶] به تحقیقاتی در زمینه استخراج راه از داده‌های لیدار اشاره شده است که در اکثر آن‌ها از عملگرهای مورفولوژی ریاضی بهره گرفته شده است. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد عملگرهای مورفولوژی ریاضی به [۱۷ و ۱۸] مراجعه کنید.

در این تحقیق، بخش دوم به معرفی داده‌های مورد استفاده و همچنین تشریح الگوریتم پیشنهاد شده اختصاص داده شده، در بخش سوم به ارائه نتایج حاصل



ج

ب

الف

شکل ۱: داده‌های منطقه مورد مطالعه؛ الف) تصویر هوایی ب) بازگشت اول فاصله ج) بازگشت آخر فاصله

۲-۲- روش انجام کار

در این تحقیق از عملگرهای گشایش و انسداد مورفولوژی به صورت متوالی استفاده شده است. با به کارگیری این عملگرها، به وسیله یک عنصر ساختاری با اندازه‌ای مناسب، تا حد امکان نقاط زمینی صحیح به یکدیگر و نقاط مربوط به ساختمان‌های بزرگ که حذف نشده‌اند به یکدیگر، متصل می‌شوند. به عبارت دیگر اگر نقاط باقی‌مانده در تصویر خروجی الگوریتم فیلترسازی را به صورت دو گروه زمینی صحیح و نقاط حذف نشده از ساختمان‌های بزرگ در نظر بگیریم، هر نوع اتصال درون گروهی بین نقاط برای ما مفید است، زیرا که اتصال نقاط صحیح زمینی به هم باعث ابقاء آن‌ها در حین انجام پردازش پر کردن (نقاط حذف نشده از ساختمان‌های بزرگ) به حذف آن‌ها در انجام پردازش پر کردن چاله‌های تصویر منجر می‌شود. در این ارتباط انتخاب اندازه عنصر ساختاری بسیار مهم است و باید به گونه‌ای باشد که موجب اتصال بین گروهی یعنی متصل کردن نقاط زمینی صحیح به نقاط حذف نشده از ساختمان‌های بزرگ نشود. این امر با توجه به اندازه‌ی فضای خالی ناشی از حذف نقاط روی لبه‌های ساختمان‌های بزرگ که خود متأثر از پارامترهای الگوریتم فیلترسازی است، امکان پذیر است.

در این تحقیق، پس از حذف نقاط اشتباه، داده‌های بازگشت آخر لیدار با استفاده از الگوریتم شیب‌مبنا، فیلتر شدند. در ادامه به منظور حذف نقاط مربوط به ساختمان‌های بزرگ از عملگرهای مورفولوژی ریاضی استفاده گردید. برای این منظور با توجه به نحوه‌ی قرارگیری آن‌ها در کنار سایر نقاط که به صورت جزایری محاط در نقاطی هستند که از لبه‌های ساختمان‌های بزرگ حذف شده‌اند، از پردازش پر کردن چاله‌های تصویر^۱ استفاده شده است. اما پردازش پر کردن چاله‌های تصویر خود دارای ۲ مشکل اساسی است که باید برای برطرف کردن آن‌ها چاره‌ای اندیشیده شود. یکی از این معایب حذف نقاط زمینی صحیحی است که توسط الگوریتم فیلترسازی به درستی در کلاس زمین قرار گرفته ولی به علت متصل نبودن به بدنه اصلی نقاط زمینی و دارا بودن شکل جزیره‌ای، با انجام پردازش پر کردن چاله‌های تصویر از مجموعه داده‌ها حذف می‌شوند. این مورد به ویژه در نزدیکی درختان و نیز در قطعه زمین‌های محصور، مثل حیاط منازل بوجود می‌آید. برای به حداقل رساندن اثر این عیب،

1 Hole Fill

باشد. قید دوم محدوده ارتفاعی منطقه است که اطلاعات آن در سرفایل داده‌ها موجود است.

۲-۲-۲- فیلترسازی داده‌های لیدار

یکی از مهمترین پردازش‌هایی که بر روی داده‌های لیدار صورت می‌پذیرد، فیلترسازی آن‌ها است. منظور از فیلترسازی، شناسایی نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی و حذف آن‌ها از مجموعه‌ی داده‌ها است. حاصل این عملیات، نقاط متعلق به سطح زمین لخت ۱ است. فیلترسازی داده‌های لیدار اهمیت زیادی دارد، زیرا کیفیت فرآیند فیلترسازی اثر مستقیم بر کیفیت مدل کردن داده‌های فیلتر شده دارد. به بیان ساده‌تر، خطاهای موجود در داده‌های فیلتر شده، به DTM ساخته شده از این داده‌ها منتقل می‌شود. لذا، واضح است که در هنگام تولید DTM از داده‌های لیدار، انتخاب روش فیلترسازی مهمتر از روش تولید DTM (... , GRID , TIN) از این داده‌ها است. اهمیت فرآیند فیلترسازی داده‌های لیدار به قدری است که از آن به پردازش اولیه‌ی داده‌ها تعبیر می‌شود. زیرا که در اغلب پردازش‌هایی که روی داده‌های لیدار صورت می‌گیرد، از داده‌های فیلتر شده به‌عنوان وسیله‌ای برای رسیدن به هدف نهائی استفاده می‌شود.

۲-۲-۲-۱- الگوریتم فیلترسازی شیب‌مبنا [۶]:

الگوریتم فیلترسازی شیب‌مبنا یکی از مؤثرترین الگوریتم‌هایی است که تا کنون ارائه شده و پایه‌ی بسیاری از الگوریتم‌های دیگر است. در این الگوریتم فرض بر این است که گرادیان در زمین لخت محدود می‌باشند. این فیلتر بر مبنای مفاهیم مورفولوژی ریاضی استوار است و ساختار هندسی محلی زمین لخت را با استفاده از المان ساختاری تخمین می‌زند.

المان ساختاری یک فرضیه روی بیشترین اختلاف ارتفاع بین هر دو نقطه بر روی زمین لخت با توجه به

مشکل دیگر پردازش پر کردن چاله‌های تصویر عدم توانائی آن در حذف نقاط غیرمتصل (جزیره‌ای) در لبه‌های تصویر است. چرا که در این پردازش، لکه‌های موجود در لبه‌های تصویر به‌عنوان بدنه‌ی اصلی محسوب می‌شوند. بنابراین اگر در منطقه مورد مطالعه، ساختمان بزرگی در کناره‌های تصویر وجود داشته باشد که نقاط روی آن توسط الگوریتم فیلترسازی حذف نشده باشند، این نقاط با انجام پردازش پر کردن چاله‌های تصویر نیز حذف نمی‌شوند و به اشتباه در کلاس نقاط زمینی باقی می‌مانند. برای برطرف کردن این مشکل، در این تحقیق یک راه حل ساده ابتکاری ولی کارآمد پیشنهاد شده است. راه‌حل به این صورت است که تصویر مورد نظر از هر طرف به تصویر آئینه‌ای خود نسبت به لبه‌ی همان طرف، چسبیده می‌شود. پردازش پر کردن چاله‌های تصویر روی این تصویر آئینه‌ای انجام شده و در نهایت تصویر اصلی از میان تصویر آئینه‌ای پر کردن چاله‌های تصویر شده بریده می‌شود.

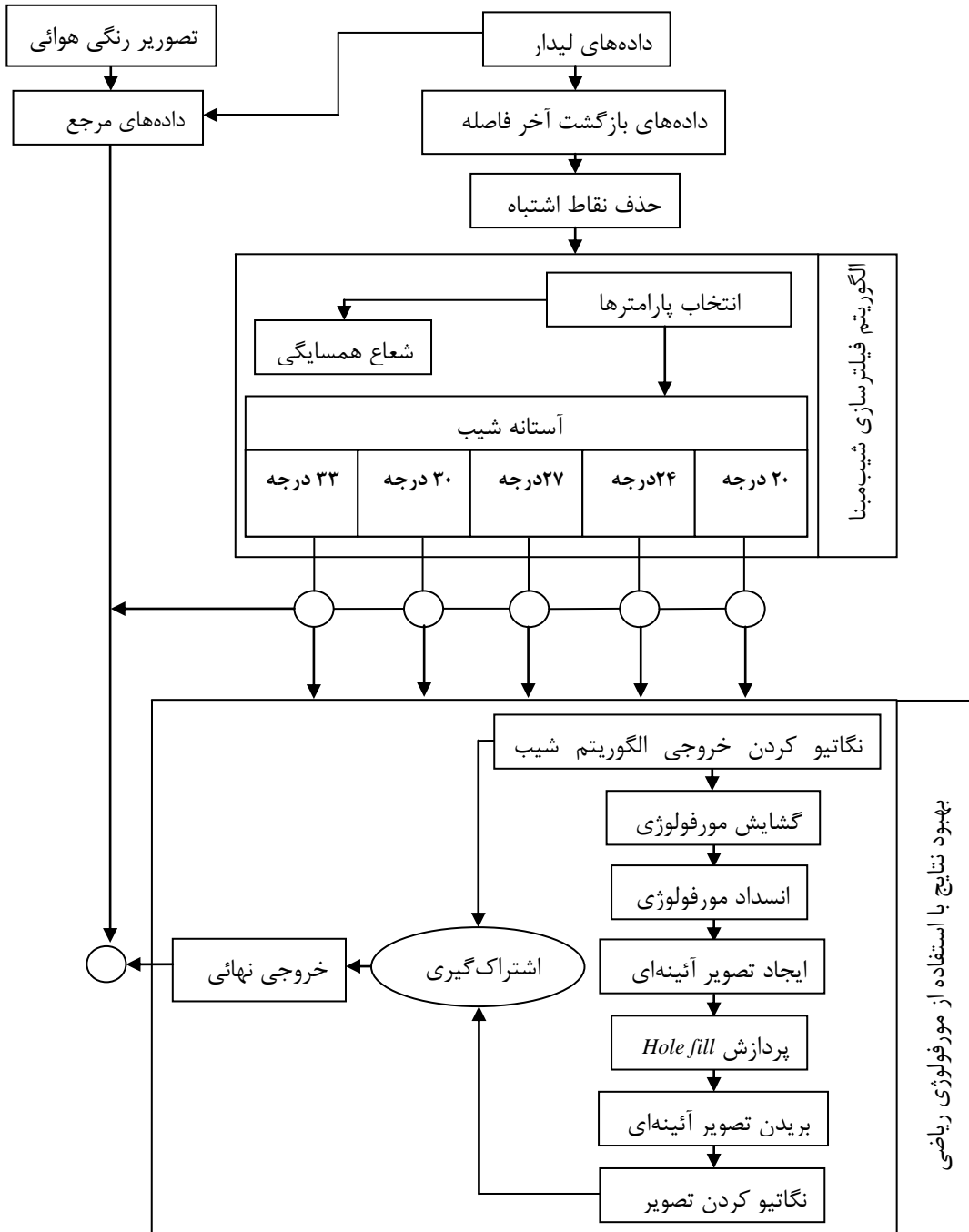
از آن‌جا که انجام فرآیندهای گشایش و انسداد مورفولوژی فقط به‌منظور کاهش اثر مخرب پردازش پر کردن چاله‌های تصویر انجام گرفته و تغییر شکل ناشی از آن‌ها مطلوب نیست، پس از اتمام پردازش پر کردن چاله‌های تصویر نسبت به اشتراک‌گیری بین این تصویر و خروجی الگوریتم فیلترسازی اقدام شده است. بدین ترتیب از امتیازات بکارگیری عملگرهای مورفولوژی استفاده شده است ولی اثرات منفی و ناخواسته آن‌ها حذف گردیده‌اند. فلوچارت مراحل مختلف الگوریتم پیشنهاد شده در شکل ۲ نشان داده شده است.

۲-۲-۱- حذف نقاط اشتباه

در این قسمت با اعمال دو نوع قید به داده‌ها، نقاط اشتباه شناسایی و حذف می‌شوند. قید اول مقدار تفاضل مؤلفه Z بازگشت اول از بازگشت آخر است که طبق تعریف نباید از آستانه‌ای نزدیک به صفر کمتر

همسایه‌ای زیر المان ساختاری وجود نداشته باشد، نقطه به‌عنوان زمین لخت پذیرفته می‌شود و در غیر این‌صورت به‌عنوان عارضه در نظر گرفته می‌شود.

فاصله بین آن‌ها (به‌عبارت دیگر شیب بین دو نقطه) می‌باشد. المان ساختاری از نظر مسطحاتی بر روی یک نقطه مرکزیت پیدا می‌کند و سپس تا زمانی که نقطه را لمس کند، بالا می‌آید. بعد از آن، اگر هیچ نقطه



ارزیابی

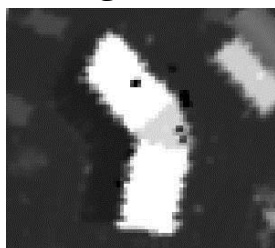


شکل ۲: فلوجارت روش پیشنهادی

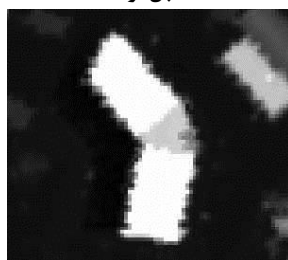
شعاع همسایگی $[0, r]$ می‌باشد. الگوریتم با به‌کارگیری المان ساختاری در هر نقطه از ابر نقاط کار می‌کند. علاوه بر این، المان ساختاری به‌کار گرفته شده در هر نقطه یکسان می‌باشد. با تعیین پارامترهای شعاع همسایگی و آستانه‌ی شیب، با استفاده از رابطه‌ی (۲) می‌توان در مورد زمینی بودن یا عارضه بودن یک نقطه تصمیم گرفت. $BE_{(r, \Delta s_{max})}$ مجموعه نقاط زمینی با در نظر گرفتن شعاع همسایگی به مقدار r و آستانه‌ی شیب به مقدار Δs_{max} است.

$$BE_{(r, \Delta s_{max})} = \left\{ v_i \in N \mid \forall v_j \in N \quad \exists \Delta s(v_i, v_j) > \Delta s_{max} \left(d(v_i, v_j) \right) \right\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

از حذف نقاط اشتباه، نمایش می‌دهد.



الف) قبل از حذف



ب) پس از حذف

شکل ۸: نقاط اشتباه

۳-۲- اجرای الگوریتم شیب‌مبنا

از آن‌جا که هدف از انجام فرآیند فیلترسازی، دسترسی به اطلاعات زمین لخت است، داده‌های بازگشت آخر لیدار که حاوی اطلاعات بیشتری از سطح زمین هستند، مناسب‌ترند. بنابراین در این تحقیق الگوریتم شیب‌مبنا روی این داده‌ها پیاده‌سازی شده است. در انتخاب شعاع همسایگی باید دقت کرد، زیرا

تابع همسایگی به صورت رابطه‌ی (۲) تعریف می‌شود. فرض کنیم N مجموعه کل داده‌های لیدار و BE مجموعه نقاط زمینی باشد.

در اینجا r شعاع همسایگی است، $\Delta s(v_i, v_j)$ شیب بین نقطه v_i و نقطه v_j است که درون شعاع همسایگی آن قرار دارد و $\Delta s_{max}(d(v_i, v_j))$ آستانه‌ی شیب قابل قبول بین دو نقطه از زمین لخت با فاصله‌ی مسطحاتی d است. المان ساختاری، ضرورتاً تابع همسایگی برای مقادیر d در محدوده‌ی

۳- نتایج

حال در این قسمت نتایج پیاده‌سازی الگوریتم روی داده‌ها، در هر مرحله ارائه می‌گردد.

۳-۱- حذف نقاط اشتباه

برای حذف نقاط اشتباه، از دو قید مقدار تفاضل مؤلفه Z بازگشت اول از بازگشت آخر و محدوده‌ی ارتفاعی نقاط استفاده شده است. با توجه به دقت داده‌های مورد بررسی (۱۵cm)، با در نظر داشتن خطای درون‌یابی فرآیند تبدیل ابر نقاط به داده‌های شبکه‌ای منظم) مقدار 30 cm (دو برابر دقت داده‌ها) به‌عنوان آستانه‌ی مورد نظر انتخاب گردید. با در نظر گرفتن این حد آستانه، حدود 0.06% کل نقاط به‌عنوان اشتباه تشخیص داده شدند. همچنین با توجه به مقادیر حداقل و حداکثر ارتفاع قابل قبول در منطقه، تعداد ۵۹ نقطه به‌عنوان اشتباه تشخیص داده شد. پس از شناسایی و حذف نقاط اشتباه، مقادیر درون‌یابی شده آن‌ها به روش وزن دهی عکس فاصله (IDW)^۱ جایگزین گردید. شکل ۸ نمونه‌ای از حضور نقطه‌ی اشتباه را قبل و بعد

1 Inverse distance weighting

الگوریتم شیب‌مبنا برای آستانه‌ی شیب 20° در شکل ۹-الف نشان داده شده‌است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نقاط زیادی روی سقف ساختمان‌های بزرگ به اشتباه در کلاس زمین قرار گرفته‌اند. الگوریتم فیلترسازی شیب‌مبنا در محیط نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی شده‌است.

۳-۳- حذف نقاط ساختمان‌های بزرگ با استفاده

از عملگرهای مورفولوژی ریاضی

همان‌طور که قبلاً اشاره شده برای حذف نقاط مربوط به ساختمان‌های بزرگ، از پردازش پر کردن چاله‌های تصویر استفاده شده‌است. در ابتدا با توجه به نحوه‌ی عملکرد عملگر پر کردن چاله‌های تصویر، لازم است که تصاویر خروجی الگوریتم فیلترسازی به‌صورت نگاتیو تبدیل شوند.

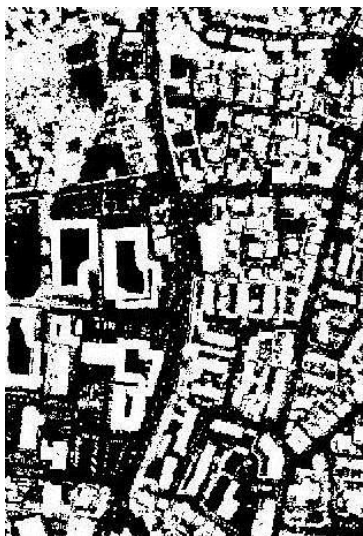
نگاتیو تصویر خروجی الگوریتم فیلترسازی شیب‌مبنا با آستانه‌ی شیب 20° درجه در شکل ۹-ب نمایش داده شده‌است. در ادامه خروجی‌های الگوریتم شیب‌مبنا با آستانه شیب‌های مختلف تحت عملگر گشایش مورفولوژی با عنصرهای ساختاری مربعی به ابعاد 2×2 ، 3×3 ، 4×4 ، 5×5 ، 6×6 ، 7×7 ، 8×8 و 9×9 قرار گرفت. سپس هر یک از این تصاویر به‌دست آمده، تحت عملگر انسداد مورفولوژی با عنصرهای ساختاری مربعی به ابعاد 2×2 ، 3×3 ، 4×4 ، 5×5 ، 6×6 ، 7×7 ، 8×8 و 9×9 قرار گرفتند. پس از ارزیابی دقت، مشخص شد که خروجی الگوریتم شیب‌مبنا با آستانه‌ی شیب 20° درجه پس از انجام فرآیند گشایش با عنصر ساختاری 8×8 و سپس انسداد با عنصر ساختاری 2×2 ، بهترین نتایج را ارائه داده‌است. نتایج انجام این پردازش‌ها در شکل ۹-ج نمایش داده شده‌است. به‌منظور عملکرد بهتر عملگر پر کردن چاله‌های تصویر در لبه‌های تصویر، تصویر آئینه‌ای ایجاد شد که در شکل ۹-د نمایش داده شده‌است. با انجام این کار مشکل عدم توانایی عملگر پر کردن چاله‌های تصویر در حذف نقاط غیر متصل (جزیره‌ای) موجود در لبه‌های

همسایگی‌های کوچک منجر می‌شود که نقاط موجود بر روی ساختمان‌های بزرگ به‌عنوان نقاط زمینی در نظر گرفته شوند زیرا با قرار گرفتن یک پنجره کوچک روی یک ساختمان بزرگ تغییر شیب احساس نمی‌شود و نقاط روی ساختمان به اشتباه در کلاس نقاط زمینی قرار می‌گیرند. اندازه پنجره بزرگ نیز باعث نرم‌شدن بیش از حد زمین می‌شود زیرا در تصمیم‌گیری برای زمینی بودن یا عارضه بودن یک نقطه، تعداد نقاط بیشتری دخالت پیدا می‌کنند و بدین ترتیب احتمال به‌اشتباه حذف شدن یک نقطه زمینی به‌عنوان عارضه افزایش می‌یابد، چرا که ممکن است آن نقطه در یک شعاع کم با همسایه‌های خود اختلاف شیب نداشته‌باشد ولی در یک شعاع بزرگتر اختلاف شیب محسوس بین نقطه‌ی مورد نظر و همسایه‌های آن وجود داشته‌باشد. از نظر تئوری شعاع همسایگی باید اندکی از بزرگترین ساختمان موجود در منطقه بزرگتر باشد تا هنگامی که همسایگی روی آن ساختمان قرار گرفت نقاطی از زمین نیز در همسایگی واقع شوند. ولی در عمل چون ممکن است ابعاد ساختمان‌ها ناهمگن باشند، انتخاب شعاع همسایگی بر اساس ابعاد بزرگترین ساختمان کار اشتباهی است و موجب از دست رفتن اطلاعات زیادی از سطح زمین در سایر نواحی می‌شود. در این تحقیق به‌صورت تجربی و با توجه به ابعاد ساختمان‌های منطقه، شعاع همسایگی ۲۵ متر در نظر گرفته شده‌است.

انتخاب آستانه شیب مناسب نیز مهم است، بگونه‌ای که مقادیر کم این پارامتر باعث قرار گرفتن نقاط زمین در کلاس عوارض و حذف آن‌ها می‌شود. و از طرف دیگر مقادیر بزرگ این پارامتر موجب می‌شود تا تعداد زیادی از نقاط مربوط به عوارض به اشتباه در کلاس زمین قرار گیرند. به‌منظور انتخاب آستانه‌ی شیب بهینه در این تحقیق، فرآیند فیلترسازی داده‌ها با ۵ آستانه شیب 20° ، 24° ، 27° ، 30° و 33° انجام شد. نتیجه فیلترسازی داده‌ها با استفاده از

اشتراک این تصویر و نگاتیو تصویر خروجی الگوریتم شیب‌مبنا گرفته شده که در شکل ۹-و نشان داده شده است. برای خنثی کردن اثر نگاتیو کردن تصویر در مراحل قبلی، یک بار دیگر تصویر به‌دست آمده نهائی، نگاتیو شده و بدین ترتیب خروجی نهائی حاصل شد که در شکل ۹-ز نشان داده شده است. شکل ۹-ح داده‌های مرجع را نشان می‌دهد که به‌صورت دستی تولید شده‌اند.

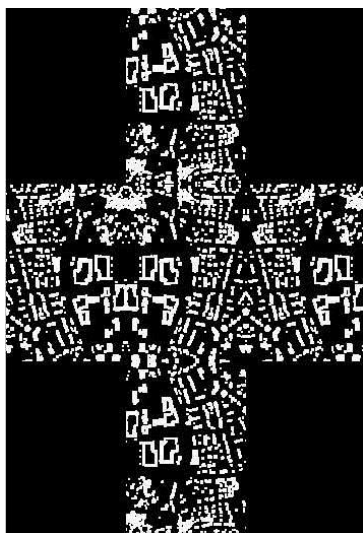
تصویر به‌طور کامل برطرف شده است. پس از انجام پردازش پر کردن چاله‌های تصویر روی تصویر آئینه‌ای، تصویر اصلی از آن بریده شد. شکل ۹-ه تصویر پر کردن چاله‌های تصویر شده را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود، به‌دلیل انجام فرآیند گشایش مورفولوژی با عنصر ساختاری 8×8 ، تغییر شکل محسوسی در داده‌های فیلتر شده ایجاد شده که نامطلوب است. برای حل این مشکل



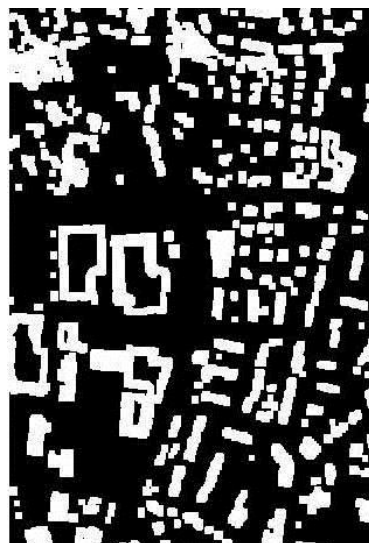
ب) نگاتیو خروجی الگوریتم شیب‌مبنا



الف) خروجی الگوریتم شیب‌مبنا با آستانه شیب 20°



د) تصویر آئینه‌ای



ج) گشایش با عنصر ساختاری 8×8
سپس انسداد با عنصر ساختاری 2×2



و) اشتراک‌گیری با خروجی الگوریتم شیب‌مینا



ه) تصویر پر کردن چاله‌های تصویر شده



ج) داده‌های مرجع



ز) تصویر نگاتیو مرحله قبل (خروجی نهائی)

شکل ۹: نتایج فیلترسازی داده‌ها

پیشنهادی به‌خوبی حذف شده‌اند.

۳-۳- ارزیابی دقت

به‌منظور انجام ارزیابی دقت نتایج حاصل، داده‌های مرجع به‌صورت دستی و با به‌کارگیری داده‌های شدت و فاصله لیدار و نیز تصویر رنگی هوایی قدرت تفکیک بالای منطقه تولید شدند. برای محاسبه میزان

از مقایسه شکل‌های ۹-ز و ۹-ح نتیجه گرفته می‌شود که داده‌های فیلتر شده نهائی به میزان زیادی با داده‌های مرجع مطابقت دارند. همچنین از مقایسه شکل‌های ۹-الف و ۹-ز نتیجه گرفته می‌شود که ساختمان‌های بزرگ که در الگوریتم فیلترسازی شیب‌مینا حذف نشده‌اند، پس از اجرای الگوریتم

انواع خطاها از جدول ۱ بهره گرفته می‌شود.

جدول ۱: محاسبه میزان خطاهای نوع اول و دوم

		خروجی الگوریتم فیلتر سازی		
		زمین	عارضه	
داده‌های مرجع	زمین	a	b	a + b
	عارضه	c	d	c + d
		a + c	b + d	e = a + b + c + d

خطای نوع اول و دوم را در نظر دارد.

میزان خطای مجموع فرآیند فیلترسازی به‌وسیله الگوریتم شیب‌مبنا برای آستانه شیب‌های $20^\circ, 24^\circ, 27^\circ, 30^\circ$ و 33° قبل و بعد از به‌کارگیری عملگرهای مورفولوژی ریاضی در جدول ۲ آورده شده‌اند. همچنین میزان خطاهای نوع اول و دوم فرآیند فیلترسازی به‌وسیله الگوریتم شیب‌مبنا برای آستانه شیب‌های $20^\circ, 24^\circ, 27^\circ, 30^\circ$ و 33° قبل و بعد از به‌کارگیری عملگرهای مورفولوژی ریاضی در جدول ۳ آورده شده‌اند.

به‌منظور فراهم شدن یک برداشت بصری برای درک بهتر از مقادیری که در جداول بالا آورده شده‌اند، این مقادیر در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به‌صورت نمودار آورده شده‌اند.

لازم به ذکر است که در جداول و نمودارهای بالا برای هر آستانه‌شیب بهترین نتیجه از بین نتایج به‌دست آمده از اجرای الگوریتم با اندازه‌های مختلف عنصر ساختاری به‌کارگرفته شده در فرآیندهای گشایش و انسداد مورفولوژی، در نظر گرفته شده است.

a, تعداد نقاط زمینی که توسط الگوریتم نیز به درستی برچسب "زمین" خورده‌اند.
 b, تعداد نقاط زمینی که توسط الگوریتم به اشتباه برچسب "عارضه" خورده‌اند.
 c, تعداد نقاط عارضه که توسط الگوریتم به اشتباه برچسب "زمین" خورده‌اند.
 d, تعداد نقاط عارضه که توسط الگوریتم به‌درستی برچسب "عارضه" خورده‌اند.
 a + b, تعداد نقاط زمین در داده‌های مرجع.
 c + d, تعداد نقاط عارضه در داده‌های مرجع.
 e, تعداد کل نقاط.

پس تعیین مقادیر پارامترهای a, b, c و d, میزان خطاهای نوع اول و دوم و خطای مجموع به‌ترتیب با استفاده از فرمول‌های (۸)، (۹) و (۱۰) محاسبه می‌شوند [۱۹]:

$$(8) \quad \text{خطای نوع اول} = [b / a+b] \times 100$$

$$(9) \quad \text{خطای نوع دوم} = [c / c+d] \times 100$$

$$(10) \quad \text{خطای مجموع} = [b+c / e] \times 100$$

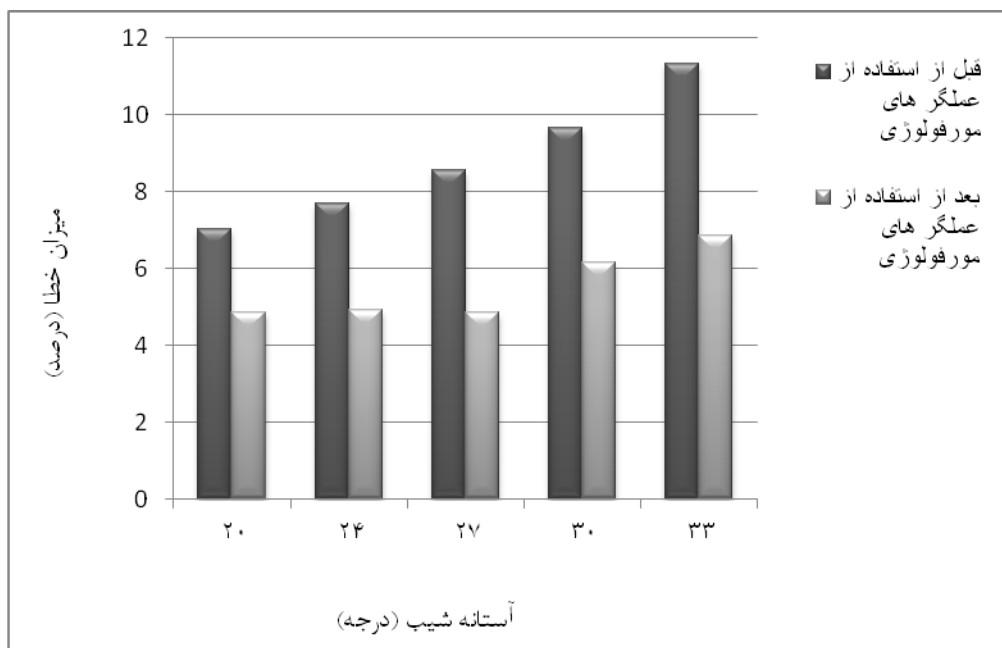
- خطای نوع اول عبارت است از کلاسه بندی نقاط زمینی به‌عنوان عارضه.
- خطای نوع دوم عبارت است از کلاسه‌بندی عوارض به‌عنوان نقاط زمینی.
- خطای مجموع، خطای کلی است که هر دو

جدول ۲: خطای مجموع فرآیند فیلترسازی، قبل و بعد از به‌کارگیری عملگرهای مورفولوژی ریاضی

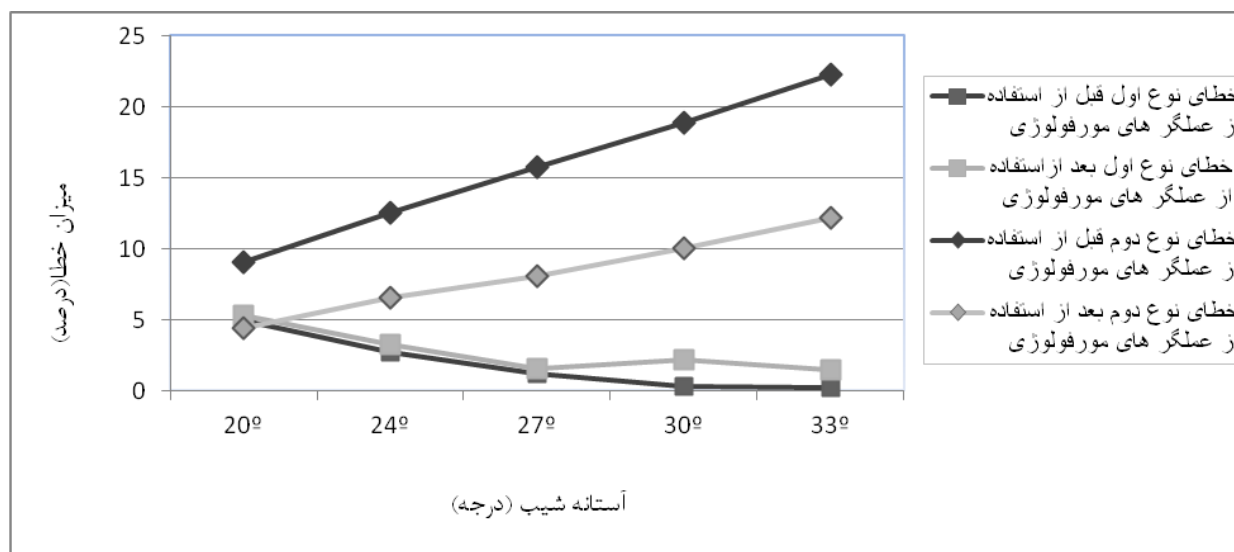
خطای مجموع آستانه شیب	قبل از استفاده از عملگرهای مورفولوژی	بعد از استفاده از عملگرهای مورفولوژی
۲۰	۷/۰۳	۴/۸۵
۲۴	۷/۶۸	۴/۹۱
۲۷	۸/۵۳	۴/۸۵
۳۰	۹/۶۳	۶/۱۳
۳۳	۱۱/۳۱	۶/۸۳

جدول ۳: خطای نوع اول و دوم فرآیند فیلترسازی، قبل و بعد از به‌کارگیری عملگرهای مورفولوژی ریاضی

خطا آستانه شیب	خطای نوع اول		خطای نوع دوم	
	قبل از استفاده از عملگرهای مورفولوژی	بعد از استفاده از عملگرهای مورفولوژی	قبل از استفاده از عملگرهای مورفولوژی	بعد از استفاده از عملگرهای مورفولوژی
۲۰	۴/۹۸	۵/۲۷	۹/۰۴	۴/۴۴
۲۴	۲/۷۲	۳/۲۲	۱۲/۵۷	۶/۵۶
۲۷	۱/۲۱	۱/۵۹	۱۵/۷۴	۸/۰۵
۳۰	۰/۲۸	۲/۲۱	۱۸/۸۵	۱۰/۰۰
۳۳	۰/۱۸	۱/۴۳	۲۲/۲۸	۱۲/۱۶



شکل ۱۰: نمودار خطای مجموع الگوریتم شیب مبنا، قبل و بعد از پردازش پر کردن چاله‌های تصویر



شکل ۱۱: نمودار خطاهای نوع اول و دوم الگوریتم شیب‌مبنا، قبل و بعد از استفاده از عملگرهای مورفولوژی

در حد فضای خالی موجود در لبه‌های ساختمان‌های بزرگ) و سپس اجرای انسداد مورفولوژی با یک عنصر ساختاری کوچک، نتایج بهتری را نسبت به اجرای فقط گشایش و یا پاکسازی (گشایش و انسداد با عنصر ساختاری برابر) ارائه می‌دهد. توضیح اینکه انجام گشایش با عنصر ساختاری کوچک و سپس انسداد با عنصر ساختاری بزرگ نتایج مطلوبی را در پی نخواهد داشت.

نتیجه دیگری که از نمودارهای شکل‌های ۱۰ و ۱۱ گرفته می‌شود این است که پس از استفاده از عملگرهای مورفولوژی ریاضی، خطای نوع اول به مقدار ناچیزی افزایش می‌یابد ولی خطاهای نوع دوم و مجموع به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابند. از آنجا که تأثیر منفی خطای نوع دوم در روش‌های تولید DTM از داده‌های فیلتر شده بسیار بیشتر از خطای نوع اول است، می‌توان گفت که کاهش خطای نوع دوم به بهای افزایش خطای نوع اول، حتی در حالت برابر هم ارزشمند است. این امر مؤید تأثیر بسیار مطلوب الگوریتم پیشنهاد شده در این تحقیق بر بهبود نتایج فرآیند فیلترسازی است که در ازای افزایشی بسیار اندک در خطای نوع اول، کاهش چشمگیری در

۴- بحث

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار آستانه شیب شاهد کاهش خطای نوع اول و افزایش خطای نوع دوم در هر دو حال قبل و بعد از به‌کارگیری عملگرهای مورفولوژی ریاضی هستیم. اما برای تعیین بهترین نتیجه لازم است تا توازن^۱ بین خطاهای نوع اول و دوم و همچنین میزان خطای مجموع را در نظر داشت. برطبق نتایج موجود در شکل‌های ۱۰ و ۱۱، آستانه شیب 20° پس از انجام فرآیند گشایش با عنصر ساختاری 8×8 و سپس انسداد با عنصر ساختاری 2×2 ، دارای بهترین توازن بین خطاهای نوع اول و دوم است و خطای مجموع کمی نیز دارد. با توجه به حساسیت بسیار زیاد عملگرهای مورفولوژی به اشکال موجو در یک تصویر (شکل و ابعاد عوارض ارتفاعی)، انتظار می‌رود که با تغییر منطقه مورد مطالعه ابعاد بهینه عنصر ساختاری نیز اندکی تغییر کند، ولی نتیجه‌ی قطعی که به‌صورت کلی می‌توان گرفت این است که انجام گشایش مورفولوژی با یک عنصر ساختاری بزرگ

1 Trade off

اشتباهات عامل انسانی در تولید این داده‌ها اجتناب‌ناپذیر است. این اشتباهات به ویژه ممکن است در لبه‌های عوارض وجود داشته باشند، زیرا که در لبه‌ها تصمیم‌گیری قاطع برای اینکه یک نقطه مربوط به عارضه هست یا نه، کار آسانی نیست و سلیقه عامل انسانی در آن دخالت زیادی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شده تا با انجام پردازش‌های تکمیلی با استفاده از عملگرهای مورفولوژی ریاضی، نتایج الگوریتم‌های فیلترسازی بهبود داده شوند. برای این منظور با توجه به نحوه قرارگیری آن‌ها در کنار سایر نقاط که به صورت جزایری محاط در نقاطی هستند که از لبه‌های ساختمان‌های بزرگ حذف شده‌اند، از پردازش پر کردن چاله‌های تصویر استفاده شده است. اما این فرآیند خود دارای مشکلات و معایبی است که در این تحقیق نسبت به رفع آن‌ها اقدام شده است. برای این منظور از عملگرهای گشایش و انسداد مورفولوژی به صورت متوالی استفاده شده است. همچنین در این تحقیق یک راه حل ابتکاری ساده ولی بسیار کارآمد جهت عدم کارائی پردازش پر کردن چاله‌های تصویر در لبه‌های تصویر ارائه شده است. نتایج انجام الگوریتم پیشنهاد شده بسیار راضی‌کننده است، به طوری که با اجرای این الگوریتم، نویزهای ناشی از ساختمان‌های بزرگ همگی حذف شده‌اند، خطای مجموع و خطای نوع دوم کاهش چشمگیری داشته‌اند ولی خطای نوع اول به میزان بسیار اندکی افزایش یافته است. با توجه به اینکه در فرآیند فیلترسازی داده‌های لیدار، خطای نوع دوم و خطای مجموع مهم‌تر از خطای نوع اول هستند، به کارگیری الگوریتم پیشنهاد شده نتایج بسیار مفیدی را ارائه کرده است.

خطای نوع دوم و نیز خطای مجموع را سبب شده است. عواملی که بر میزان خطاهای نوع اول و دوم مؤثرند را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

۱- اشتباهات الگوریتم در کلاسه‌بندی نقاط: همان‌طور که پیش‌تر توضیح داده شد، خود الگوریتم‌های فیلترسازی ممکن است برخی نقاط عارضه را به اشتباه در کلاس زمین قرار دهد مثل نقاط روی ساختمان‌های بزرگ. و یا برعکس، نقاط زمینی را به غلط حذف کند مثل نقاط روی ناپوستگی‌های زمین.

۲- تأثیرات پردازش پر کردن چاله‌های تصویر: همان‌طور که از مقایسه تصاویر موجود در شکل ۹ درمی‌یابیم، پردازش پر کردن چاله‌های تصویر اگر چه باعث حذف تعداد زیادی از نقاط روی ساختمان‌های بزرگ، که به اشتباه کلاسه‌بندی شده‌اند، می‌شود، ولی باعث حذف شدن تعدادی از نقاط زمینی صحیح به ویژه در مناطق پوشش گیاهی که نقاط زمینی باقی مانده به صورت منفرد دیده می‌شوند، نیز می‌شود. و این یعنی که این پردازش باعث کاهش خطای نوع دوم و افزایش خطای نوع اول می‌شود. که این مطلب به وضوح در نمودار شکل ۱۱ نمایان است. در این تحقیق تلاش شده تا با به کارگیری به جا و مناسب عملگرهای مورفولوژی ریاضی و با دقت در انتخاب اندازه عنصر ساختاری مورد استفاده در آن‌ها، تأثیرات منفی پردازش پر کردن چاله‌های تصویر به حداقل رسیده و مزایای آن بیشینه شود. بدین ترتیب فواید استفاده از این پردازش به مضرات آن برتری قابل توجهی دارد، چراکه میزان کاهش خطای مجموع و خطای نوع دوم به وسیله این پردازش، بسیار بیشتر از میزان افزایش خطای نوع اول به واسطه آن است. به علاوه باید در نظر داشته باشیم که تأثیر منفی خطای نوع دوم در روش‌های تولید DTM از داده‌های فیلتر شده بسیار بیشتر از خطای نوع اول است.

۳- اشتباهات موجود در داده‌های مرجع: همان‌طور که قبلاً گفته شد، داده‌های مرجع از فیلترسازی مجموعه داده‌ها به صورت دستی تولید شده است. بنابراین

مراجع

- [1] Lindenberger, J. (1993). Laser-Profilmessungen zur topographischen Gelandaufnahme. Ph. D. thesis.
- [2] Kilian, J., N. Haala, and M. English (1996). Capture and evaluation of airborne laser scanner data. IAPRS vol. 31 (B3, Vienna, Austria), pp. 383-388.
- [3] Kraus, K. and N. Pfeifer., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. ISPRS JPRS vol. 53, pp. 193-203.
- [4] Axelsson, P., 1999. Processing of laser scanner data - algorithms and applications. ISPRS JPRS vol. 54, pp. 138-147.
- [5] Sithole, G., 2001. Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter. IAPRS vol. 34 (3/W4, WG IV/3. October 22-24, Annapolis (MD),USA), pp. 203-210.
- [6] Vosselman, G., 2000. Slope based filtering of laser altimetry data. IAPRS, WG III/3, Amsterdam, The Netherlands vol. 33 (B3), pp. 935-942.
- [7]. Roggero, M., 2001. Airborne laser scanning: Clustering in raw data. IAPRS vol. 34 (3W/4, WG IV/3. October 22-24, Annapolis(MD), USA), pp. 227-232.
- [8] Elmqvist, M., 2001. Ground estimation of laser radar data using active shape models. Proceedings of OEEPE workshop on airborne laser scanning and interferometric SAR for detailed Detailed Digital Elevation Models, March 1-3, Stockholm, Sweden. Official Publication No. 40. CD-ROM., 8 pages.
- [9] Brovelli, M., M. Cannata, and U. Longoni 2002. Managing and processing LiDAR data within GRASS. Proceedings of the Open Source GIS-GRASS users conference, 11-13 September, Trento, Italy, 29 pages.
- [10] Wack, R. and A. Wimmer., 2002. Digital terrain models from airborne laser scanner data - a grid based approach. IAPRS vol.34 (3B, September 9-13, Graz,Austria),pp.293-296.
- [11] Sohn, G. and I. Dowman., 2002. Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL criterion. Proceedings of the Photogrammetric Computer Vision, ISPRS Commission III, Symposium 2002 September 9-13, 2002 vol. 34 (3A), pp. 336- 344.
- [12] Hu, Y. 2003. Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne LiDAR Data, <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html> (accessed 30 april. 2008).
- [13] Sithole, G., 2005. Segmentation and Classification of Airborne Laser Scanner Data. University of Delft, PhD thesis, May 2005.
- [14] Salah, M., Trinder, J., 2010. *Support Vector Machines Based Filtering of Lidar Data: A Grid Based Method*. FIG Congress 2010. Sydney, Australia, 11-16 April.
- [15] Baligh, J.A., Valadan zoej, M.J., Mohammadzadeh, M., Sadeghian, S., 2011. *A 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, Vol. 4, No. 4, Pp. 836 - 843.
- [16] Matkan, A. Sadeghian, S. Mohammadzadeh, A. Hajeb, M., 2011. Road detection from lidar data using svm classification. *International Conference on Sensor and Models in Photogrammetry and Remote Sensing (SMPR) 2011, MAY 18-19, Tehran, Iran.*
- [17] Gonzalez., 1993. "Digital Image Processing ", Addison-Wesley .
- [18] Jahne, B.,2002, "Digital Image Processing ",5th Edition, Springer -Verlag.
- [19] Sithole, G. and G. Vosselman 2003. Isprs comparison of filters. pp. 62 pages. <http://www.geo.tudelft.nl/frs/isprs/filtertest/AppendixB05082003.pdf> - Last accessed November 2004

..



Improving the result of LiDAR data filtering algorithms using mathematical morphology

Ali akbar Matkan¹, Mohammad Hajeb^{2*}, Ali Mohammadzadeh³, Saeid Sadeghian⁴

1 Associate Professor of Remote Sensing & GIS Department, Shahid Beheshti University

2 Lecturer of Remote Sensing & GIS Department, Shahid Beheshti University.

3 Assistant Professor of Remote Sensing Department, K.N.Toosi University of Technology,

4 Assistant Professor of Geomatics College of National Cartographic Center,

Abstract

Today, aerial laser scanners (LiDAR) have an important role in 3D data acquisition from features. Bare earth information is very important in deferent applications such as DTM extraction, determination of traversable area, etc. Up to now, a lot of algorithms have been developed to automated filtering of LiDAR data. The weakness of most of these algorithms is inability to remove the large buildings. The main aim of this paper is to solve of this problem. Mathematical morphological operators were used for this purpose. First, the LiDAR data was filtered using one of the most efficient filtering algorithms (slope based filtering algorithm). Afterward, the result of filtering stage was improved by perform the proposed algorithm that is based on mathematical morphological operators. The result of accuracy assessment indicate a negligible increase in type I error and significant decrease in type II and total errors. Since, in filtering process, the type II and total errors are more important than type I error, performing this supplementary processing present very good result. Quantitative evaluation shows the output of the improved slope based algorithm with 20° slope threshold present the best result. In this case type I error increased from 4.98% to 5.27%, type II error reduced from 9.043% to 4.44% and total error decreased from 7.03% to 4.85%. Qualitative evaluation indicates the good performance of the proposed algorithm in removing the large buildings which are remained from filtering stage. Slope based filtering algorithm and Mathematical morphological operators were implemented in MATLAB software.

Key words: Aerial laser scanners (LiDAR), Filtering, Slope based filtering algorithm, Mathematical morphology.