

استخراج سلسله مراتبی شبکه راه‌های اصلی با استفاده از داده‌های لیدار

حامد امینی امیرکلائی*^۱، پرهام پهلوانی^۲، سعید صادقیان^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد فنوگرامتری - گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تفرش
eng.hamedamini.69@gmail.com

^۲استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
pahlavani@ut.ac.ir

^۳استادیار آموزشکده نقشه برداری - سازمان نقشه برداری کشور
sadeghian@ncc.org.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۲، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۳)

چکیده

لیدار یک تکنولوژی جدید و رو به رشد جهت جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین است که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله لیزر عمل می‌نماید. دقت مسطحاتی و ارتفاعی بالای ابر نقاط برداشت شده توسط لیدار و قابلیت ثبت قدرت شدت سیگنال بازگشتی، این پتانسیل را ایجاد نموده است تا بتوان از این داده‌ها جهت شناسایی و استخراج اتوماتیک عوارض استفاده نمود. استخراج راه، به عنوان زیرساخت توسعه و مجاری ارتباطی یک کشور اهمیت بسیار بالایی دارد. در این مقاله یک روند سلسله‌مراتبی پیشنهاد شده است تا بتوان با استفاده از داده‌های فاصله‌سنجی و شدت سیگنال لیدار و اعمال فیلترهای مختلف با ترتیبی متناسب، عوارض غیر راه را شناسایی و حذف نمود. همچنین، از ایجاد شکستگی و شکاف میان اتصالات شبکه راه‌ها جلوگیری کرد تا شبکه اصلی راه‌ها با دقتی مطلوب استخراج شوند. در این راستا، ابتدا از طریق آستانه‌گذاری روی داده‌های شدت، استفاده از داده‌های فاصله برای محاسبه nDSM و شیب به همراه بردار نرمال بر سطح، سه لایه توصیف‌گر برای کلاس راه‌ها به دست آمد. سپس با استفاده از این سه لایه ایجاد شده و ترکیب خطی آن‌ها یک کلاس اولیه برای شبکه راه‌ها بدست آمد. آنگاه با استفاده از خصوصیات هندسی راه‌ها نويز موجود در نتایج شناسایی، حذف و نتایج بهبود داده شد. در نهایت با استفاده از الگوریتم اسکلت‌بندی و توصیف‌گرهای فوریه راه‌های فرعی شناسایی و حذف گشته و مرز راه‌ها نرم گشت تا نتایج نهایی شناسایی حاصل گردد. نتایج شناسایی راه‌ها از داده‌های لیدار توسط روش پیشنهادی از لحاظ صحت ۸۰/۵۶٪ و کامل بودن ۷۷/۸۲٪ حائز دقت بودند. بدین وسیله سعی شد تا از پارامترهایی که باعث تفکیک راه از سایر عوارض می‌شوند، استفاده گردد تا با اعمال پیاپی و منظم آن‌ها، شبکه اصلی راه‌ها با سرعت و دقتی بالا بدست آید.

واژگان کلیدی: بازگشت آخر فاصله‌سنجی، بازگشت آخر شدت سیگنال، استخراج راه، عملگر ژئودزیک مورفولوژی، توصیف‌گرهای فوریه

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

شناسایی راه‌ها به عنوان شریان‌های حیاتی حمل و نقل کشور و یکی از مهم‌ترین عوارض شهری، بسیار حائز اهمیت است. به طوریکه می‌توان از آن در کارهایی نظیر طراحی شهری از یک سو و برنامه‌ریزی حمل و نقل و زیرساخت‌های شهری از سوی دیگر استفاده نمود. سنسورها و سنجنده‌های متنوعی در راستای اخذ اطلاعات از سطح زمین وجود دارند که دارای تکنیک‌های مختلف بوده و همواره در حال به روز شدن می‌باشند. در این میان، پیشرفت روزافزون فن‌آوری لیدار و دقت بسیار بالای داده‌های آن سبب گشته است تا استفاده از این سیستم افزایش یابد.

لیدار^۱ یک روش جمع‌آوری اطلاعات از سطح اشیاست که محصول آن به صورت مجموعه‌ای از نقاط مختصات‌دار است. این سیستم اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط ناسا و بعد از آن توسط سایر سازمان‌ها به کار گرفته شد. لیدار با اندازه‌گیری سه پارامتر مختصات محل ارسال لیزر، اندازه‌گیری طول فاصله مایل بین نقطه ارسال پالس و سطح زمین و اندازه‌گیری زاویه ارسال موج از محل ارسال پالس تا سطح زمین، مختصات هر نقطه از سطح زمین را به دست می‌آورد. حضور تکنولوژی‌های GPS، INS و لیزراسکن در لیدار و توانایی برداشت در شب و روز، امکان تولید حجم وسیعی از اطلاعات مکانی را با سرعت بالا فراهم کرده است.

خصوصیت بسیار حائز اهمیت داده‌های لیدار این است که محصول آن به صورت ابری از نقاط است که هر یک دارای مختصات سه بعدی‌اند. دربرداشتن المان ارتفاعی باعث می‌شود، جداسازی عوارض ارتفاعی مانند ساختمان‌ها از زمین آسان‌تر شود. داشتن دو پالس اولیه و ثانویه فاصله نیز می‌تواند برای حذف درختان از روی تصاویر و رسیدن به DTM^۲ منطقه بسیار کارآمد باشد. پالس‌های اولیه پس از برخورد به بالای عوارض بازتاب می‌شوند و پالس‌های ثانویه پس از نفوذ و برخورد به عوارض غیر قابل نفوذ باز می‌گردند. بنابراین این دو پالس برای عوارضی مانند ساختمان‌ها که غیرقابل نفوذ می‌باشند، یکسان است. ولی برای عوارضی مانند درختان

که امکان نفوذ در آن‌ها وجود دارد، متفاوت می‌باشد. مقادیر پالس‌های اولیه و ثانویه شدت سیگنال^۳ کاملاً به جنس عوارض روی زمین بستگی دارد و مقادیر پیکسل‌های آن برای اجسام هم‌جنس یکسان است، زیرا بازتاب آن‌ها مشابه است.

در این مقاله روندی سلسله‌مراتبی جهت استخراج راه‌های اصلی با استفاده از داده‌های بازگشت آخر فاصله‌سنجی و شدت سیگنال لیدار پیشنهاد گشته است. در این راستا، ابتدا با استفاده از چهار لایه شیب، بردار نرمال، بازگشت آخر شدت سیگنال لیدار و nDSM^۴ یک کلاس اولیه از شبکه راه بدست می‌آید. سپس با استفاده از خصوصیات و ویژگی‌های ساختاری راه‌ها، نتایج مرحله به مرحله بهبود داده می‌شود تا نتیجه نهایی و شبکه کلی راه‌های اصلی بدست آید.

در ادامه ساختار مقاله به این صورت است که در بخش ۲، مروری کوتاه بر روی تحقیقات انجام شده جهت استخراج راه از داده‌های لیدار آورده شده است. در بخش ۳، روند پیشنهادی به طور کامل شرح داده شده است و در بخش ۴، نتایج عملی روند پیشنهادی به همراه ارزیابی آورده شده است. در بخش ۵، ارزیابی نتایج صورت گرفته و در نهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری حاصل از این تحقیق به همراه پیشنهادات آتی مطرح می‌گردد.

۲- مروری بر تحقیقات پیشین

استخراج راه از داده‌های سنسور از دور و فتوگرامتری موضوعی پرچالش بوده و تاکنون روش‌های مختلفی در این راستا ارائه شده است. برخی روش‌ها کاملاً پیچیده بوده و نیاز به ترکیب داده‌های سنسورهای مختلف می‌باشد و برخی دیگر تنها از یک سنسور جهت شناسایی راه‌ها بهره برده‌اند. به گونه‌ای که [۲ و ۱] از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک یک متر برای استخراج راه استفاده نمودند و از الگوریتم watershed بهره بردند. همچنین تصاویر ابر طیفی [۳]، تصاویر هوایی دارای پوشش با قدرت تفکیک بالا [۴] و داده‌های SAR [۵] نیز برای استخراج راه کارآمد بوده‌اند. در [۶] برای استخراج راه از داده‌های بازگشت اول و آخر فاصله‌سنجی و شدت

^۳ Intensity

^۴ Normalized Digital Surface Model

^۱ Light Detection and Ranging

^۲ Digital Terrain Model

این بافر به صورت پویا بوده تا برای تطابق با راه‌ها با عرض‌های مختلف مناسب باشد. با استفاده از مقادیر شدت سیگنال تلاش گشت تا موادی که سطح راه را پوشانده‌اند از نقاط غیرراه شناسایی شوند. در انتها همسایگان نقاط بررسی شدند تا اگر از حدی کمتر باشند، حذف گردند. در این میان، فیلترهای مورفولوژی برای تفکیک نقاط زمینی از نقاط غیر زمینی و استخراج راه می‌توانست بسیار کارآمد باشند [۱۱]. در [۱۲] ابتدا نقاط زمینی و غیرزمینی را با عملگرهای مورفولوژی از هم جدا کرده و سپس نقاط غیرزمینی را با استفاده از دو ویژگی *flatness* و *Convexity* به دو کلاس درخت و ساختمان تقسیم نمود. جهت‌های پهنای راه‌ها توسط تمپلیت‌هایی با ابعاد و جهت‌های مختلف به دست آمدند. در [۱۳] از الگوریتم شبکه مثلثی انطباقی^۲ برای تفکیک نقاط زمینی و غیر زمینی استفاده شد و سپس از میان نقاط زمینی نقاط مربوط به راه شناسایی شد. در [۱۴] از الگوریتم کلاسه‌بندی ماشین بردار پشتیبان در راستای استخراج راه‌ها از داده‌های لیدار استفاده شد. از ترکیب تصاویر هوایی و داده‌های لیدار هم برای استخراج راه‌ها استفاده شده است [۱۵]. همچنین در [۱۶] از باند قرمز تصاویر هوایی کمک گرفته شد و با تقسیم تصویر به قطعات کوچکتر، با شناسایی راه‌ها در هر قطعه و اتصالشان به یکدیگر شبکه کلی راه‌ها استخراج شد.

به طور کلی روش‌های استخراج راه از داده‌های لیدار را می‌توان با در نظر گرفتن چند پارامتر تقسیم‌بندی نمود. به این صورت که در برخی روش‌ها از داده‌های ابر نقاط استفاده شده است که دارای پیچیدگی‌ها و حجم محاسباتی بالایی می‌باشند، اما در برخی دیگر از داده‌های منظم شده یا گریدبندی شده بهره گرفته شده است. بعضی روش‌ها از داده‌های بازگشت اول و آخر استفاده نموده‌اند و بعضی دیگر تنها از داده‌های مربوط به یک بازگشت بهره گرفته‌اند. استفاده از داده‌های بازگشت اول و آخر در بیشتر تحقیقات گذشته جهت شناسایی و حذف درختان صورت گرفته است ولی عملکرد قابل قبولی در این راستا نداشتند، زیرا پالس‌های ارسالی توانایی عبور از پوشش گیاهی انبوه را ندارند و این عامل شناسایی درختان از این طریق را با مشکل مواجه می‌کند. برخی از

سیگنال لیدار استفاده شده است و راه‌ها از دو طریق شناسایی شدند. ابتدا از طریق داده‌های شدت که با آستانه‌گذاری روی این داده‌ها صورت گرفت و سپس از طریق داده‌های فاصله، شناسایی انجام شد. در راستای شناسایی از طریق داده‌های فاصله‌سنجی، ابتدا *DTM* منطقه تشکیل شد و از *DSM*^۱ کم گشت تا *nDSM* بدست آید. سپس مناطقی که فاصله آنها از *nDSM* کمتر بودند در کلاس راه قرار گرفتند. در انتها، کلاس‌های از شناسایی از طریق داده‌های شدت سیگنال و فاصله‌سنجی لیدار به صورت وزندار با هم جمع شده و شناسایی نهایی راه‌ها انجام شد. [۷] در یک فرآیند چند مرحله‌ای به شناسایی راه‌ها پرداخت. برای این منظور، ابتدا از طریق آستانه‌گذاری روی داده‌های شدت، نقاط اولیه راه انتخاب شدند. از آنجا که اختلاف بازگشت‌های اولیه و ثانویه نباید از حد آستانه‌ای بیشتر باشد، از میان این نقاط آن‌هایی که دارای اختلاف بازگشت‌های اولیه و ثانوی بیشتر از حد آستانه بودند، حذف شدند. پس از آن برای حذف ساختمان‌هایی با سقف شیبدار، از فیلتر گرادیان و آستانه-گذاری روی آن استفاده گشت و در نهایت عوارضی که مساحت آنها از حد مشخصی کمتر بودند، حذف شدند. در [۸] یک روش سلسله مراتبی برای استخراج اتوماتیک راه ارائه شد. به این صورت که ابتدا *DTM* منطقه محاسبه شده و سپس نقاطی که فاصله آن‌ها از *DTM* کمتر از حد آستانه‌ای است، به عنوان نقاط منتخب برای راه انتخاب شدند. از میان این نقاط آن‌هایی که مقادیر شدت مورد قبول برای آسفالت را داشته‌اند، پذیرفته شده و مابقی حذف شدند. در انتها نقاطی که تراکم اطراف آن‌ها از حد آستانه‌ای بیشتر بود به عنوان راه انتخاب گشتند. در [۹] ابتدا *DTM* منطقه با استفاده از *DSM* منطقه محاسبه گشت. سپس از داده‌های شدت برای جداسازی ساختمان‌ها و درختان استفاده شد و نقاطی که تا فاصله مشخصی از *DTM* قرار داشتند، انتخاب شدند. پس از انتخاب نقاط اولیه، مناطقی که تمایل به گسترش آن‌ها از حد معینی بیشتر بود، گسترش یافتند تا شبکه نهایی راه‌ها استخراج گردد. در [۱۰] فرض گشت که راه‌های اصلی به صورت نوارهای پیوسته‌اند. از این‌رو یک بافر مربعی از نقاط اولیه ساخته شد تا کل سطح تصویر را اسکن کند. عرض

^۲ Adaptive Triangular Irregular Network

^۱ Digital Surface Model

سپس در بخش ۳-۲، مراحل شناسایی شبکه راه‌ها با استفاده از داده‌های لیدار به طور کامل تشریح می‌گردد.

۳-۱- مروری بر الگوریتم‌های مورد استفاده

در ای بخش ابتدا به طور خلاصه فیلترهای مورفولوژی (بخش ۳-۱-۱) سپس اسکلت‌سازی (بخش ۳-۱-۲) و در نهایت توصیف‌گرهای فوریه شرح داده می‌شوند.

۳-۱-۱- عملگر ژئودزیک مورفولوژی

در این مقاله، از عملگرهای مورفولوژی به طور منظم و پیاپی به دلایل و اهداف مختلف استفاده شده است. عملگرهای مورفولوژی عملگرهای قدرتمندی در زمینه استخراج ویژگی‌ها و بازسازی تصویر می‌باشند. پایه آن‌ها دو عملگر انبساط^۱ و ساییدگی^۲ اند که سایر عملگرها اکثراً از این دو ساخته می‌شوند [۱۷]. ساییدگی جهت کوتاه کردن یا نازک سازی اشکال در تصاویر دودویی استفاده می‌شود و انبساط عملیاتی است که طی آن اشیا در یک تصویر دودویی رشد می‌کنند و یا در اصطلاح ضخیم‌تر می‌شوند [۱۷]. رفتار یا روال ضخیم شدن یا نازک شدن با توجه به عضو ساختاری^۳ کنترل می‌شود [۱۷]. عملگرهای بازکردن^۴ و بستن^۵ از ترکیب دو عملگر انبساط و ساییدگی بدست می‌آیند [۱۷]. عملگر بازکردن جهت از بین بردن اتصالات کوچک و عملگر بستن جهت ایجاد اتصال بین اشکال نزدیک به هم بدون تغییر مساحت شکل استفاده می‌شود [۱۷].

عملگر تورم ژئودزیک مورفولوژی^۶ عملگری است که می‌توان از آن برای جداسازی عوارض غیر زمینی از زمین و استخراج *nDSM* استفاده نمود. طرز کار آن به این صورت است که تصویر بازگشت آخر فاصله‌سنجی لیدار (*LRP*) را *Ms* Mask در نظر گرفته و یک *Marker* (*Mr*) تعریف می‌شود که به اندازه *h* از *Mask* کوچکتر است (مطابق روابط (۱) و (۲)) [۱۸].

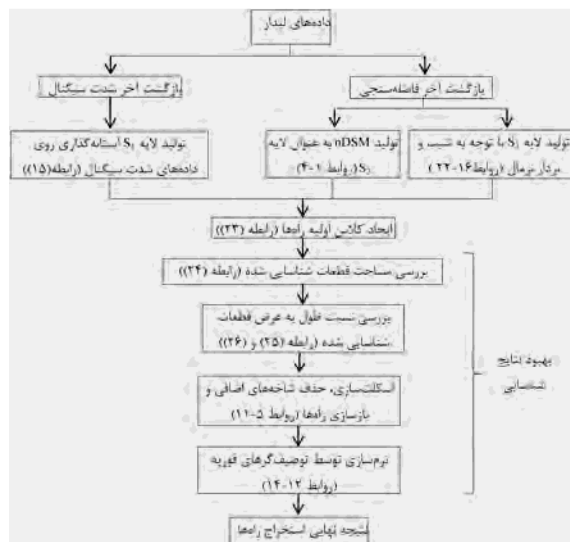
$$Ms = LRP, \quad (1)$$

- ۱ Dilation
- ۲ Erosion
- ۳ Structure element
- ۴ Opening
- ۵ Closing
- ۶ Geodesic Morphology

تحقیقات ذکر شده در قبل، از داده‌های کمکی سنجنده‌های دیگر در کنار داده‌های لیدار استفاده کرده‌اند، در صورتی که برخی دیگر تنها از داده‌های لیدار استفاده نموده‌اند. این در حالی است که استفاده از چند سنجنده جهت شناسایی یک عارضه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد. در تحقیقات ذکر شده در قبل، از تکنیک‌های مختلفی نظیر تکنیک بخش بندی، طبقه بندی، رشد ناحیه و آستانه گذاری جهت استخراج راه استفاده شده است. به گونه‌ای که از یک سو، اغلب روندهای مطرح شده دارای حجم محاسباتی بالا بوده و از سوی دیگر، کلیه معابری که دارای شباهت با راه اصلی بودند نیز شناسایی شده‌اند. بر این اساس، در این مقاله سعی گشت تا روندی پیشنهاد شود که دارای حجم محاسباتی کمی بوده و همچنین بتواند مجاری اصلی راه را با سرعت و دقتی مناسب شناسایی و استخراج نماید. در این راستا، تنها از داده‌های گریدبندی شده بازگشت آخر لیدار بهره گرفته شده است.

۳- روند پیشنهادی

مراحل روند پیشنهادی برای استخراج شبکه راه‌ها در این تحقیق به صورت نمودار در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- روند پیشنهادی برای استخراج شبکه راه‌های اصلی

در راستای شرح کامل روند پیشنهادی ابتدا در بخش ۳-۱ به طور خلاصه به توضیح الگوریتم‌های مورد استفاده در این تحقیق برای شناسایی راه‌ها پرداخته می‌شود.

نقاط مرزی پردازش گردند [۱۷]. ولی در صورتی که یک یا چند شرط نقض شوند، مقدار نقطه مورد نظر تغییری نمی‌کند. شرایط مورد نظر با توجه به همسایگی هشت‌گانه مطرح شده در شکل ۳ به صورت زیر می‌باشند [۱۷].

z_5	z_2	z_6
z_1	z_0	z_3
z_8	z_4	z_7

شکل ۳- المان ساختاری باابعاد 3×3 [۱۷]

$$2 \leq N(z_1) \leq 6, \quad (5)$$

$$T(z_1) = 1, \quad (6)$$

$$z_2 + z_3 + z_4 = 0 \quad (7)$$

$$z_1 + z_3 + z_4 = 0 \quad (8)$$

که $N(z_1)$ مطابق رابطه زیر تعداد همسایه‌های غیر صفر z_1 می‌باشد [۱۷]:

$$N(z_1) = z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_8, \quad (9)$$

که $z_i, i = 1, 2, \dots, 8$ برابر صفر یا یک است و $T(z_1)$ تعداد گذاره‌های ۰-۱ در دنباله مرتب $z_1, z_2, z_3, \dots, z_7$ است. در مرحله دوم شرایط موجود در رابطه (۵) و (۶) مانند مرحله یک است اما شرایط دیگر به صورت زیر تغییر می‌کند [۱۷].

$$z_1 + z_2 + z_3 = 0 \quad (10)$$

$$z_1 + z_2 + z_4 = 0 \quad (11)$$

پس از اعمال مرحله یک به تمام نقاط مرزی، مقدار نقطه‌ای که علامت‌گذاری شده‌اند به صفر تغییر کرده و سپس مرحله دوم مانند مرحله اول به نقاط مرزی اعمال می‌گردند. این دو مرحله تا جایی ادامه می‌یابد که دیگر نقطه را نتوان حذف کرد.

۳-۱-۳- توصیف‌گرهای فوریه

توصیف‌گرهای فوریه برای نرم کردن خطوط شکسته مرزها استفاده می‌شود. فرض کنید که یک عارضه K نقطه‌ای وجود دارد که مرز آن به صورت دنباله‌ای با مختصات $S(k) = [x(k), y(k)]$ برای $k = 0, 1, 2, \dots, K-1$ می‌باشد [۱۷]. هر جفت مختصات را می‌توان به صورت مختلط نوشت (رابطه (۱۲)) [۱۷].

$$Mr = LRP - h, \quad (2)$$

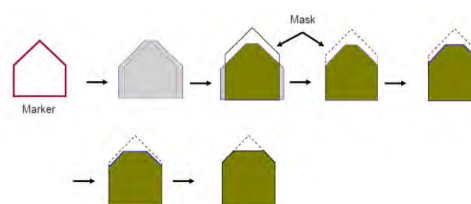
از Marker جهت محدود کردن عمل انبساط در هر مرحله استفاده می‌شود. فرآیند انبساط و محدود کردن تا جایی که شکل به حالت ایستا^۱ برسد، ادامه پیدا می‌کند (رابطه (۳)) [۱۸].

$$\begin{cases} F_{Ms}^{(1)}(Mr) = (Mr \oplus B) \wedge Ms \\ F_{Ms}^{(n)}(Mr) = F_{Ms}^{(1)}(F_{Ms}^{(n-1)}(Mr)), Mr \subseteq Ms, \end{cases} \quad (3)$$

که B المان ساختاری و $F_{Ms}^{(n)}(Mr)$ تصویر بازسازی شده در هر مرحله می‌باشد. در نهایت $nDSM$ مطابق رابطه زیر بدست می‌آید [۱۸].

$$nDSM = Ms - F_{Ms}^{(n)}(Mr) \quad (4)$$

اگر مقدار h کوچک باشد تنها خط الراس‌ها جدا می‌شوند و اگر مقدار h بزرگ باشد، امکان دارد مقداری از زمین نیز از دست برود. شکل ۲ مراحل انجام این عملگر را به نمایش می‌دهد [۱۸].



شکل ۲- نحوه کار عملگر تورم ژئودزیک مورفولوژی

۳-۱-۳- اسکلت‌سازی

اسکلت‌سازی الگوریتمی است که برای نمایش شکل ساختاری یک ناحیه و با باریک کردن ناحیه صورت می‌گیرد. این روش باریک‌سازی برای تصاویر باینری دارای دو مرحله اصلی است و تکرار متوالی این دو مرحله تا دستیابی به نتیجه مطلوب می‌باشد. در این الگوریتم فرض می‌شود نقاط ناحیه دارای مقدار ۱ و نقاط پس زمینه دارای مقدار صفر باشند. برای باریک‌سازی، نقاط مرزی مدنظر قرار می‌گیرند. نقاط مرزی نقطه‌ای اند که دارای یک همسایه با مقدار صفر می‌باشند. در مرحله اول اگر شرایط مطرح در روابط ۵-۸ برقرار باشد، نقطه برای حذف علامت‌گذاری می‌شود ولی حذف نمی‌گردد تا تمام

^۱ Stable

تولید می‌گردند. اولین لایه توصیف‌گر، تصویر بازگشت اول شدت می‌باشد. مقادیر داده‌های شدت سیگنال لیدار متناسب با جنس عوارض روی زمین می‌باشد. از این‌رو این پارامتر می‌تواند در راستای تفکیک راه‌ها از دیگر عوارض بسیار اثرگذار باشد. با توجه به جنس راه‌ها که اغلب آسفالت می‌باشد، می‌توان یک محدوده شدت سیگنال برای راه‌ها در نظر گرفت و داده‌های شدت سیگنال را با توجه به آن آستانه‌گذاری نمود (رابطه (۱۵)).

$$S_1 = \{P_k \in LIP \mid \forall P_k : I_1 < LIP < I_2\}, \quad (15)$$

که LIP مجموعه مقادیر پیکسل‌های تصویر بازگشت اول شدت و P_k یک نقطه از این مجموعه است. I_1 و I_2 مقادیر محدود کننده بوده که با بررسی داده‌های شدت مواد تشکیل سطح راه تعیین می‌شوند. تصویر حاصله از این مرحله نشان دهنده هر مکانی از تصویر است که جنس آن از آسفالت باشد که شامل راه‌ها، پارکینگ‌ها و برخی از پشت بام‌ها که از آسفالت پوشیده شده‌اند می‌شود. البته مقادیری نیز به دلایل مختلف روی تصویر به وجود می‌آید.

راه عارضه‌ای است تقریباً مسطح که اختلاف ارتفاع چندانی در فواصل کوتاه نداشته و شیب بسیار کمی دارد. بنابراین می‌توان از این خصوصیت برای شناسایی راه استفاده نمود. از این‌رو، باید با استفاده از تصویر بازگشت آخر فاصله‌سنجی لیدار، اختلاف ارتفاع هر پیکسل از پیکسل‌های مجاور محاسبه گشته و اگر در هر یک از جهات تغییر ارتفاع ناگهانی (مقدار شیب بالا) مشاهده شود، آن پیکسل حذف شود. بنابراین شیب در هر یک از جهات محاسبه شده (روابط ۱۶-۱۸) [۱۹] و مناطقی که شیب آنها بیشتر از حد آستانه‌ای باشد، حذف می‌شوند. با انجام این فرآیند مناطق شیبدار مانند سقف‌های شیروانی شناسایی و حذف می‌گردند. برای محاسبه شیب از یک کرنل 3×1 و یک کرنل 1×3 استفاده می‌شود تا شیب در دو راستای عمودی و افقی بدست آید. در ادامه روابط مورد استفاده برای ایجاد لایه شیب با استفاده از ۴ همسایگی آورده شده است (با توجه به شکل ۳ که شیب حاصله برابر با برآیند شیب‌های افقی و عمودی می‌باشد [۱۹]).

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{2 \times z_0 - z_1 - z_3}{2 \times d}, \quad (16)$$

$$S(k) = x(k) + jy(k), \quad (12)$$

$$k = 1, 2, \dots, K-1,$$

که محور x به عنوان محور حقیقی و محور y به عنوان محور موهومی است. بزرگترین حسن این روش تبدیل مسئله دو بعدی به مسئله یک بعدی می‌باشد. تبدیل فوریه گسسته $S(k)$ ، به ازای $u=0, 1, 2, \dots, K-1$ به صورت زیر می‌باشد [۱۷]:

$$a(u) = \sum_{k=0}^{K-1} S(k) e^{-j 2\pi uk/K}, \quad (13)$$

ضرایب مختلط $a(u)$ توصیف‌گرهای فوریه مرز نامیده می‌شوند. مطابق رابطه (۱۴) تبدیل فوریه معکوس این ضرایب $S(k)$ را بازیابی می‌کند [۱۷].

$$S(k) = \frac{1}{K} \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{j 2\pi uk/K}, \quad (14)$$

جهت ساده‌سازی مرزها از K ضریب ممکن، تنها P ضریب اول استفاده می‌شود. توجه شود که در رابطه (۱۴) همچنان k از صفر تا $K-1$ است ولی برای یک نقطه تنها p نقطه مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چه P کوچکتر باشد جزئیات بیشتری از مرز از دست داده می‌شود [۱۷].

۳-۲- روند سلسله مراتبی شناسایی راه‌ها

الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق، یک روش سلسله مراتبی می‌باشد. به این صورت که در هر مرحله از نتایج حاصله از مرحله قبل استفاده می‌شود. پس از هر مرحله و قبل از ورود داده‌ها به مرحله بعد با اعمال برخی فیلترها و حذف عوارض ناخواسته سعی در بهبود نتیجه در هر مرحله می‌شود. این روند تا حصول نتیجه نهایی به دو بخش کلی تقسیم می‌گردد. در بخش ۳-۲-۱ سه لایه توصیف‌گر که دارای توانایی لازم جهت شناسایی راه‌ها هستند، انتخاب شده و یک کلاس اولیه از راه‌ها ایجاد می‌شود. سپس پردازش‌هایی جهت بهبود مناطق شناسایی شده و مرزها صورت می‌گیرد (بخش ۳-۲-۲).

۳-۲-۱- لایه‌های توصیف‌گر بهینه

در این بخش سه لایه توصیف‌گر با توجه به خصوصیات و ویژگی‌های طیفی، بافتی و ساختاری راه‌ها انتخاب و

$$S_3 = \{P_k \in S_2 \mid \forall P_k : N(P_k) < I_4\}, \quad (22)$$

که H_{ij} و H_{ki} بردارهای شیب در دو راستا بوده و N مجموعه نرمال‌های محاسبه برای هر پیکسل است که از ضرب خارجی دو بردار شیب بدست می‌آید. ΔN اختلاف بردار نرمال هر پیکسل با پیکسل‌های مجاور می‌باشد. I_4 حد آستانه‌ی مورد نظر برای حذف پیکسل‌هایی که تغییرات نرمال آن‌ها از پیکسل کناری از مقدار مطلوب مورد نظر بیشتر است. تصویر حاصل از اعمال شیب و بردار نرمال (مجموعه S_3) به عنوان توصیف‌گر دوم انتخاب می‌گردد.

$nDSM$ حاوی عوارض غیرزمینی می‌باشد، بنابراین می‌تواند به عنوان یک توصیف‌گر در شناسایی و حذف عوارض غیر راه بسیار موثر باشد. برای استخراج $nDSM$ مطابق روند توضیح داده شده در بخش ۳-۱ (روابط ۱-۴) از فیلتر ژئودزیک مورفولوژی استفاده می‌گردد.

لایه‌های حاصل از اعمال شیب و بردار نرمال (مجموعه S_3)، $nDSM$ و لایه حاصل از آستانه‌گذاری روی شدت سیگنال (مجموعه S_1) هر یک مزایا و معایبی در راستای شناسایی و حذف عوارض غیرزمینی دارند که منجر به استفاده هر سه لایه گردید. زمانی که از شیب یا بردار نرمال استفاده می‌شود، عوارضی که شیب کمی داشته و گسترده باشند، به طوری که تغییر ارتفاع آنی در آن‌ها مشاهده نشود، مانند ساختمان‌هایی با مساحت زیاد و سقف‌های مسطح، حذف نمی‌شوند. بنابراین از فیلتر ژئودزیک مورفولوژی استفاده شد. ولی این فیلتر در حذف درختچه‌های کوتاه و بوته‌ها دچار مشکل می‌شود. در صورتیکه بردار نرمال و شیب در شناسایی کامل این موارد موفق عمل می‌نمایند. همچنین هر دو لایه در حذف چمن و زمین بایر و تفکیک آن از راه‌ها معایب شهری ناکارآمد می‌باشند، بنابراین استفاده از لایه حاصله از آستانه‌گذاری روی شدت سیگنال لیدار (مجموعه S_1) بسیار ضروری و کارآمد می‌باشد.

بنابراین لایه حاصل از آستانه‌گذاری روی شدت سیگنال لیدار (مجموعه S_1) در لایه حاصل از اعمال شیب و بردار نرمال (مجموعه S_3) ضرب شده و نتیجه حاصل از این فرآیند در منفی تصویر حاصل از اعمال فیلتر ژئودزیک مورفولوژی ضرب می‌شود (رابطه ۲۳). با اعمال این فرآیند سعی می‌گردد تا از مزایای هر سه لایه ایجاد شده

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{2 \times z_0 - z_2 - z_4}{2 \times d}, \quad (17)$$

$$Slope = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}, \quad (18)$$

که در روابط فوق z مقادیر پیکسل DSM حاصل از داده‌های بازگشت آخر فاصله سنجی لیدار می‌باشد. d اندازه پیکسل‌های داده‌های بازگشت آخر فاصله‌سنجی لیدار و $Slope$ بیانگر مقادیر شیب می‌باشد. پس از محاسبه شیب مطابق رابطه (۱۹) مناطقی که دارای شیب قابل قبولی می‌باشند، انتخاب گشته و مابقی حذف می‌گردند.

$$S_2 = \{P_k \in H \mid \forall P_k : Slope(P_k) < I_3\}, \quad (19)$$

که H مجموعه شیب مربوط به هر پیکسل (P_k) بوده و I_3 حدآستانه برای حذف پیکسل‌هایی با شیب زیاد می‌باشد. با استفاده از پارامتر شیب، درختانی که به صورت انبوه و یکدست نبوده و اختلاف ارتفاع در فواصل کوتاهی قابل شناسایی است حذف می‌شوند. اما انبوه بودن درختان باعث می‌شود که شیب زیادی در فواصل کوتاه حاصل نشده و درختان به صورت یک عارضه نسبتاً مسطح درآیند و نتوان با استفاده از پارامتر شیب آن‌ها را شناسایی کرد. پارامتر دیگری که برای شناسایی عوارض غیر راه از آن استفاده شد، بردار نرمال هر پیکسل می‌باشد. برای محاسبه بردار نرمال با استفاده از یک کرنل 5×5 شیب را در دو راستای افقی و عمودی محاسبه کرده (مشابه روابط (۱۶) و (۱۷)) و با ضرب خارجی شیب‌ها بردار عمود بر این دو به عنوان بردار نرمال به پیکسل مرکزی نسبت داده شد. این پارامتر به دلیل آن‌که از ضرب خارجی دو بردار شیب در دو جهت به دست می‌آید، پارامتر کاملتری نسبت به محاسبه شیب در دو جهت به صورت مجزا می‌باشد. سپس پیکسل‌هایی را که اختلاف بردار نرمال آن‌ها با پیکسل کناری از حد آستانه بیشتر باشد، به عنوان عارضه غیر راه حذف می‌شوند (روابط ۲۰-۲۲). باید ذکر شود که در تصویر حاصله چمن‌ها چون تغییرات نرمال چندانی ندارند، باقی می‌مانند.

$$N = H_{ij} \times H_{ki}, \quad (20)$$

$$\Delta N : \begin{cases} adjacent(n_i, n_j) = True \\ \Delta N = |n_i - n_j| \end{cases}, \quad (21)$$

استفاده گردد تا بتوان اکثر عوارض غیر راه را شناسایی و حذف نمود و یک کلاس اولیه از راه‌ها و معابر شهری را با دقتی مناسب استخراج نمود.

$$T_2 = T_1 \cdot S_1 \cdot S_3 \quad (23)$$

T_1 منفی تصویر حاصل از اعمال فیلتر ژئودزیک مورفولوژی است. در اینجا منظور از ضرب، ضرب نقطه‌ای می‌باشد، یعنی به صورت پیکسل به پیکسل اعمال می‌شود.

۳-۲-۲- بهبود نتایج شناسایی

در تصویر حاصله از بخش ۳-۲-۱، مقادیر زیادی نویز مشاهده می‌شود که به عنوان کلاس راه شناخته شده‌اند. در این بخش سعی گشته است تا با ارائه روشی مناسب، این نویزها در سه مرحله تا حد امکان حذف شده و نتایج بهبود داده شوند.

مرحله ۱: در این مرحله برای حفظ اتصالات از یک فیلتر استفاده می‌شود که تعداد همسایگی ۱ و ۰ هر پیکسل را شمارش می‌کند. اگر تعداد آنها بیشتر بود مقدار پیکسل مرکزی را ۱ و اگر تعداد صفرها بیشتر بود مقدار پیکسل مرکزی را صفر قرار می‌دهد. سپس یک فیلتر گشایش مورفولوژی با ابعاد المان ساختاری مشخص به تصویر اعمال می‌شود تا اتصالات بسیار ضعیف که نشان از عرض کم قطعه شناسایی شده می‌باشند، قطع گردند. حاصل این فرآیند لایه T_3 را ایجاد می‌نماید. حال تمام قطعات حاصله در تصویر برچسب زده شده و مساحتشان محاسبه می‌گردد و قطعه‌هایی که مساحت آنها از یک مقدار معینی (A_{min}) کمتر است، حذف می‌شوند (رابطه (۲۴)).

$$T_4 = \{P_k \in T_3 \mid \forall P_k : \{P_k \in I \mid area(P_k) < A_{min}\}\}, \quad (24)$$

که ۱ مجموعه قطعات برچسب خورده می‌باشد. در برخی موارد ممکن است مساحت یک قطعه زیاد باشد ولی مربوط به راه نباشد. پارکینگ از جمله این موارد است و همواره شناسایی راه را دچار مشکل می‌کند. زیرا از لحاظ فیزیک و هندسه بسیار شبیه به راه می‌باشد و این باعث می‌شود جداسازی و تفکیک دشوار شود. بنابراین نیاز به پارامتری دیگر برای جداسازی بهبود نتایج نیز می‌باشد.

مرحله ۲: راه دارای شکلی باریک و طولانی می‌باشد، بنابراین نسبت کوچکترین بعد به بزرگترین بعدش مقدار بسیار کوچکی می‌شود. این پارامتر برای جداسازی پارکینگ از راه بسیار کارآمد است بنابراین برای حذف این قطعه‌ها نسبت بزرگترین بعد به کوچکترین بعد این قطعه‌ها محاسبه می‌شود. اگر عدد این نسبت از مقدار مشخصی بیشتر بود، آن قطعه حذف می‌شود.

$$m_i = \frac{a_i}{b_i}, \quad (25)$$

$$T_5 = \{P_k \in T_4 \mid \forall P_k : \{P_k \in I \mid m_i > Tresh\}\}, \quad (26)$$

که a_i و b_i به ترتیب اندازه بزرگترین و کوچکترین ابعاد شکل‌اند. m_i نسبت کوچکترین به بزرگترین بعد قطعه‌های شناسایی شده می‌باشد.

مرحله ۳: هدف اصلی این تحقیق، استخراج شبکه راه‌های اصلی و حذف راه‌های فرعی می‌باشد و پارامتری که می‌تواند در تفکیک این دو از هم موثر باشد، عرض کمتر راه‌های فرعی نسبت به اصلی در اغلب موارد می‌باشد. از همین ویژگی می‌توان برای جداسازی و حذف راه‌های فرعی و کوچه‌ها استفاده نمود. بنابراین برای حذف کامل کوچه‌های فرعی و استخراج شبکه یکپارچه راه‌ها و حذف نویزهای باقیمانده در تصویر، ابتدا اسکلت راه مطابق بخش ۳-۱-۲ محاسبه می‌گردد. سپس برای حذف راه‌های فرعی و نویزهای باقیمانده شاخه‌های اضافی، حذف شده و دوباره شبکه راه بازسازی می‌گردد. به این صورت، شبکه راه‌ها به صورت یکپارچه در می‌آید ولی دارای پیچ و خم‌های زیادی می‌باشد. زیرا شاخه‌های فرعی سبب می‌گردند که اسکلت راه دچار شکستگی‌های پی‌درپی شود. از اینرو جهت از بین بردن این پیچ‌تاب‌ها از توصیف‌گرهای فوریه (بخش ۳-۱-۳) مرزی استفاده می‌گردد. استفاده از توصیف‌گرهای فوریه مرزی سبب می‌گردد با حذف تعدادی از نقاط مربوط به شکستگی‌ها، مرز راه‌های شناسایی شده نرم شده و به صورت بهتری بر روی شبکه واقعی راه‌ها منطبق گردد.

۴- نتایج عملی

در این بخش، ابتدا منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده جهت پیاده‌سازی ارائه می‌گردند (بخش ۴-۱). سپس در بخش ۴-۲ نتایج عملی روند پیشنهادی به طور مفصل ارائه می‌گردد.

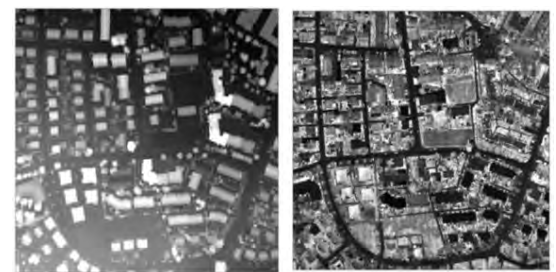
۴-۱- منطقه مطالعاتی و مجموعه داده

مجموعه داده مورد مطالعه مربوط به شهر Vaihingen آلمان است که توسط انجمن فتوگرامتری و سنجش از دور آلمان DGPF تهیه شده است. این مجموعه داده شامل ۱۰ نوار اسکن هوایی است که در ۲۱ اگوست ۲۰۰۸ توسط Leica Geosystems و با استفاده از سیستم Leica ALS50 برداشت شده است. متوسط همپوشانی ۳۰٪ و تراکم نقاط میانه ۷٫۶ نقطه در هر متر مربع است. به طور قابل ملاحظه تراکم نقاط به علت هم پوشانی در بلوک متغیر است، اما در مناطقی که با یک نوار پوشیده شده اند، تراکم نقاط ۴ نقطه در هر متر مربع است. بازگشت چندگانه شدت و سیگنال نیز برای هر نقطه ثبت شده است. تصاویر رنگی منطقه دارای باند مادون قرمز و قدرت تفکیک ۸ سانتی متر و قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۱ بیتی می باشند.

در این پروژه تنها از داده‌های بازگشت اول و آخر شدت و فاصله لیدار استفاده شده و از تصاویر رنگی منطقه و هیچ داده کمکی استفاده نشده است. شکل‌های ۴ و ۵ داده‌های مربوط به بازگشت اول و آخر شدت سیگنال و فاصله‌سنجی لیدار را نشان می‌دهند.



شکل ۴- (الف) بازگشت اول فاصله سنجی لیدار، (ب) بازگشت اول شدت سیگنال لیدار



شکل ۵- (الف) بازگشت آخر فاصله سنجی لیدار، (ب) بازگشت آخر شدت سیگنال لیدار

۴-۲- شناسایی راه‌ها

در این بخش، روند سلسله مراتبی پیشنهادی جهت شناسایی و استخراج راه‌های اصلی از داده‌های لیدار پیاده‌سازی گشته و مرحله به مرحله مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به بخش ۳-۲-۱، ابتدا لایه‌ای با آستانه‌گذاری روی شدت سیگنال لیدار تشکیل می‌گردد (رابطه (۱۵)). از اینرو I_1 برابر با ۱۵ و I_2 برابر با ۵۰ در نظر گرفته شد. در شکل ۶ نتیجه آستانه‌گذاری بر روی داده‌های شدت سیگنال به همراه مناطقی که به دلیل شدت سیگنال نزدیک به راه انتخاب گشته‌اند و باید با کمک لایه‌های دیگر حذف گردند، ارائه شده است.

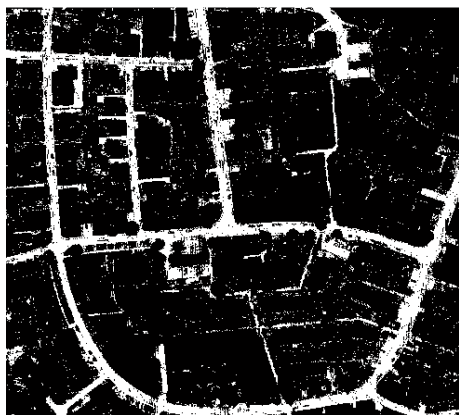


شکل ۶- تصویر حاصل از آستانه‌گذاری روی داده‌های شدت سیگنال لیدار

همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود، برخی مناطق مربوط به عوارض غیر راه (مستطیل‌های سبز) به دلیل داشتن شدت سیگنال در محدوده مشخص شده انتخاب گشته‌اند. بنابراین جهت حذف این مناطق نیاز به لایه‌های دیگری نیز می‌باشد.

در مرحله بعد مطابق بخش ۳-۱، ابتدا شیب منطقه محاسبه گشته و حداکثر شیب مورد قبول ۰/۱ رادیان در نظر گرفته شد (رابطه (۱۹)) تا نقاطی که دارای شیبی بیشتر از آن حد هستند، حذف گردند. سپس تصویر بردار نرمال منطقه مطابق روابط (۲۰) و (۲۱) محاسبه گشت و از میان نقاط انتخاب شده (دارای شیب مورد قبول)، تنها آن‌هایی که دارای زاویه بردار نرمال بیشتر از ۸۷ درجه بودند (رابطه (۲۲))، انتخاب گشتند. شکل ۷ تصویر حاصل از محاسبه شیب و بردار نرمال و آستانه‌گذاری روی آن‌ها را نشان می‌دهد.

برای بدست آوردن راه‌ها ضروری می‌باشد. شکل ۹، کلاس اولیه بدست آمده از راه‌ها با استفاده از سه لایه ایجاد شده را نشان می‌دهد.



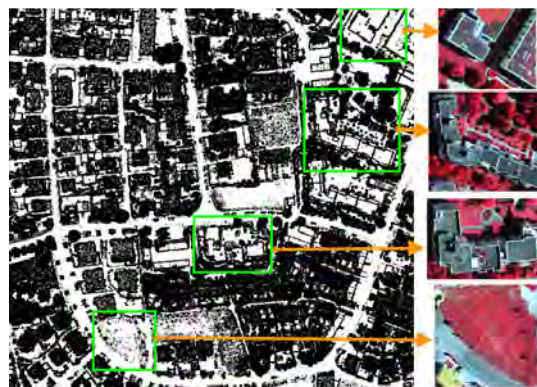
شکل ۹- کلاس اولیه راه‌ها

جهت حذف نویزهای موجود در تصویر حاصل شده مراحل ذکر شده در بخش ۳-۲-۲ انجام می‌شود. در این راستا، المان ساختاری دیسکی شکل با شعاع ۳ پیکسل برای فیلتر گشایش در نظر گرفته شد. همچنین حداکثر مساحت مورد قبول ۱۰۰ پیکسل (رابطه (۲۴)) و حداقل نسبت طول به عرض مورد قبول ۵ (رابطه (۲۶)) انتخاب گردید. شکل ۱۰، تصویر حاصل از اعمال فیلتر ساییدگی و حذف عوارض کوچکتر از حدآستانه و عوارض دارای نسبت طول به عرض غیرقابل قبول را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- تصویر حاصل از اعمال فیلتر ساییدگی و حذف عوارض کوچکتر از حدآستانه و عوارض دارای نسبت طول به عرض غیرقابل قبول

در مرحله بعد، پس از محاسبه اسکلت تصویر، حذف شاخه‌های اضافی (شکل ۱۱) و بازسازی دوباره سعی گشت تا شبکه راه‌های اصلی شناسایی و استخراج گردند. شبکه کلی راه‌ها پس از این مرحله در شکل ۱۲ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۷- تصویر حاصل از محاسبه شیب و بردار نرمال و اعمال آستانه بر روی آن‌ها

کاملاً مشهود است که علاوه بر راه‌ها مناطقی نظیر ساختمان‌هایی با سقف‌های صاف و زمین‌های بایر غیر راه نیز دارای شیب و بردار نرمال مشابه راه‌ها می‌باشند. همانطور که در شکل ۶ مشاهده گشت مناطق بایر غیر راه با استفاده از شدت سیگنال قابل شناسایی می‌باشند. ولی مناطقی که مربوط به ساختمان‌ها با سقف‌های صاف می‌باشند و ممکن است دارای جنسی مشابه جنس راه‌ها باشند، قابل شناسایی نیستند. از این‌رو نیاز است که با استفاده از فیلتر گشایش ژئودزیک مورفولوژی (بخش ۳-۱) عوارضی که دارای ارتفاع نسبت به زمین هستند را شناسایی نمود. در این راستا ارتفاع مورد نظر (h) برابر با ۱۴ قرار داده شد (رابطه (۲)) تا nDSM منطقه استخراج گردد که نتیجه در شکل ۸ ارائه گشته است.



شکل ۸- nDSM حاصل از اعمال فیلتر ژئودزیک مورفولوژی

همانطور که مشاهده می‌شود علاوه بر راه‌ها مناطقی بایر زیادی وجود دارد. همچنین فیلتر اعمال شده در شناسایی تمام عوارض دارای ارتفاع از سطح زمین نظیر بوته‌ها و ساختمان‌های کوتاه ناتوان می‌باشد. بنابراین استفاده از هر سه لایه ایجاد شده (مطابق رابطه (۲۳))



شکل ۱۴- راه‌های استخراج شده توسط روند پیشنهادی بر روی تصویر هوایی منطقه با ترکیب رنگ کاذب

۵- ارزیابی نتایج

برای ارزیابی روند پیشنهادی از یک فایل رفرنس که راه‌ها در آن به صورت دستی استخراج شده‌اند، استفاده گشت. معیارهای مقایسه به کار گرفته شده شامل کامل بودن و صحت راه‌های استخراج شده در سطح پیکسل می‌باشد که مطابق روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$Correctness = \frac{TP}{TP + FP} \quad (27)$$

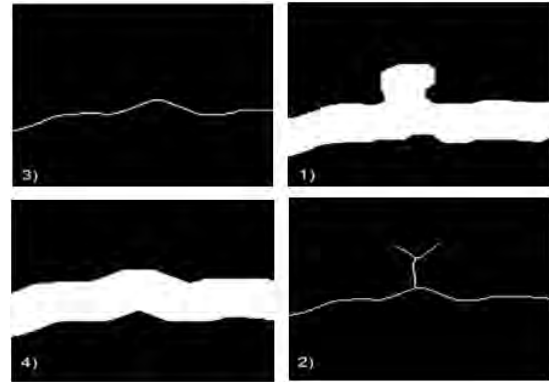
$$Completeness = \frac{TP}{TP + FN} \quad (28)$$

که TP معرف True Positive است و نشان دهنده پیکسل‌هایی است که درست شناسایی شده‌اند. FP معرف False Positive است و نشان دهنده پیکسل‌های به اشتباه شناسایی شده‌اند. در نهایت FN معرف False Negative است و نشان دهنده پیکسل‌هایی که شناسایی نشده‌اند. نتایج محاسبه پارامترهای ارزیابی دقت و صحت شناسایی در جدول ۱ اراده شده است.

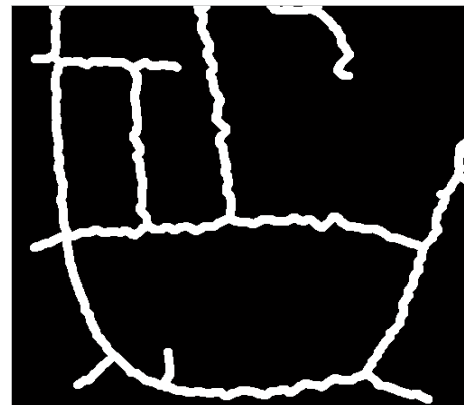
جدول ۱- ارزیابی نتایج

	TP	FP	FN	Cr	Com
	تعداد پیکسل			درصد %	
Roads	۱۷۲۱۵۴	۴۱۵۲۱	۴۹۰۴۳	۸۰/۵۶	۷۷/۸۲

همانطور در تصویر هوایی منطقه قابل رویت است، منطقه از لحاظ نوع بافت، منطقه‌ای دشوار برای استخراج راه به حساب می‌آید. با این حال در جدول ۱ مشاهده می‌شود که روند پیشنهادی دارای دقت بسیار مناسبی در

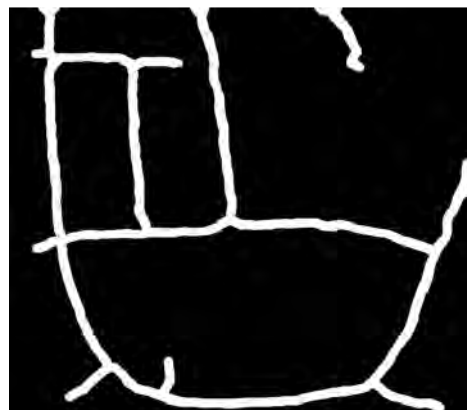


شکل ۱۱- روند اسکلت‌بندی و حذف شاخه‌های اضافی و بازیابی تصویر



شکل ۱۲- شبکه راه‌ها پس از اسکلت‌سازی و بازسازی دوباره راه‌ها

در نهایت با استفاده از توصیف‌گرهای فوریه مرز و قرار دادن تعداد ضرایب فوریه (p) برابر با ۱۰۰ (بخش ۳-۱-۳) نتیجه نهایی نرم‌شده که راه‌ها بدست آمد. در شکل ۱۳ شبکه راه‌های اصلی پس از نرم‌سازی ارائه گشته است. همچنین در شکل ۱۴ می‌توان محل قرارگیری راه‌های شناسایی شده را روی تصویر هوایی منطقه مشاهده نمود.



شکل ۱۳- نتیجه نهایی استخراج راه توسط الگوریتم پیشنهادی

در برخی مناطق نیز وجود همزمان چند عامل باعث ایجاد یک آشفتگی در مسیر راه استخراج شده می‌شود. برای مثال وجود پارکینگ و درخت و راه فرعی به صورت همزمان باعث به وجود آمدن یک شکستگی در مسیر استخراج گشته، شده است. البته آشفتگی در مسیر راه از طریق نرم‌سازی با استفاده از توصیف‌گرهای فوریه مرز تقریباً به طور کامل حل شد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روندی جهت استخراج راه‌ها از داده‌های لیدار پیشنهاد، پیاده‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، ابتدا سه لایه توصیف‌گر بهینه با استفاده از آستانه‌گذاری روی داده‌های شدت سیگنال لیدار، nDSM و لایه حاصل از اعمال شیب و بردار نرمال تولید گردید. سپس با اعمال ضرب نقطه‌ای لایه‌های باینری ایجاد شده یک لایه اولیه از راه‌ها بدست آمد. در مرحله بعد، با توجه خصوصیات هندسی راه‌ها، نویز موجود تا حد زیادی حذف گشته و نتیجه شناسایی بهبود داده شد. در نهایت نیز با استفاده از الگوریتم‌های اسکلت‌بندی و توصیف‌گرهای فوریه مرزی نتایج شناسایی با حذف شاخه‌های فرعی راه‌ها و نرم‌سازی مرز راه‌ها نتیجه نهایی شناسایی و استخراج راه‌ها بدست آمد. ارزیابی نتایج شناسایی نشان داد که روند پیشنهادی عملکرد بسیار خوبی داشته است و از نظر کامل بودن $77/82\%$ و صحت $80/56\%$ دقت داشته است. به طوریکه می‌توان از آن در پروژه‌های شناسایی و استخراج راه در مناطق شهری و غیر شهری استفاده نمود. به طور کلی سعی شد فرآیند پیشنهادی پیچیده و نامفهوم نباشد و با کاهش حجم محاسبات بتوان با صرف زمانی مناسب به نتیجه‌ای با دقت و صحتی بالا دست یافت.

سپاسگزاری

مجموعه داده‌های استفاده شده در این مقاله توسط انجمن فتوگرامتری و سنجش از دور آلمان جهت پیاده‌سازی الگوریتم‌های مختلف و شناسایی عوارض تهیه شده است. همچنین نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از داوارن محترم به دلیل ارائه نقطه نظرات ارزشمندشان تشکر و قدردانی نمایند.

جهت شناسایی راه‌ها از داده‌های لیدار می‌باشد. در این منطقه عواملی چون پوشش گیاهی بسیار زیاد، وجود پارکینگ‌های متعدد که از جنس آسفالت‌اند و یکسان بودن یا تفاوت نه چندان زیاد عرض راه‌های اصلی و راه‌های فرعی باعث می‌شود که استخراج راه دچار مشکل شود و دقت شناسایی کاهش یابد.

پوشش گیاهی منطقه بسیار انبوه می‌باشد، همچنین تراکم برگ درختان و نوع آن‌ها به گونه‌ای است که باعث شده پرتوهای ارسالی کمترین بازتاب را از سطح زیرین این درختان داشته باشد. از این‌رو این عامل باعث گشت که در برخی مناطق مقداری از راه‌ها از دست رفته و شبکه دچار انفصال شود (افزایش پیکسل‌های FN) یا اینکه از حالت صاف درآمده و دچار شکستگی گردد (افزایش پیکسل‌های FN و FP). شکل ۱۵ یک نمونه از انفصال شبکه راه به دلیل نرسیدن صحیح پرتو لیدار به سطح زمین را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵- تصویر یک نمونه راه فرعی اشتباه استخراج شده

عرض زیاد راه‌های فرعی از دیگر عواملی که باعث می‌شود در برخی مناطق روند استخراج راه در جداسازی ناموفق عمل کرده و راه‌های فرعی به عنوان راه اصلی استخراج شوند. که به این ترتیب تعداد پیکسل‌های FP افزایش یافته و پارامتر Correctness کاهش یابد. در شکل ۱۶ یک نمونه راه فرعی با عرض زیاد که باعث خطا در شناسایی شده است ارائه شده است.



شکل ۱۶- تصویر یک نمونه راه فرعی اشتباه استخراج شده

- [1] Lee, H. Y., Park, W., Lee, H.-K. and Kim, T.-G., 2000. Towards Knowledge-Based Extraction of Roads from 1m resolution Satellite Images. In: Proc. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, Austin, U.S.A, pp. 171–176.
- [2] Hu, X. and Tao, C.V., 2003. Automatic Extraction of Main-Road Centrelines From High Resolution Satellite Imagery Based On Perceptual Grouping. In: Proceedings of ASPRS, Anchorage, Alaska, unpaginated, CDROM.
- [3] Wiedemann, C. (2003). External Evaluation of Road Networks. In: IAPRS, Vol. XXXIV, pp. 93–98.
- [4] Hinz, S. and Baumgartner, A., (2003). Automatic Extraction of Urban Road Networks from Multi-View Aerial Imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 58(1-2), pp. 83–98.
- [5] Huber, R. and Lang, K., (2001). Road Extraction from High-Resolution Airborne SAR using Operator Fusion. In: Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- [6] Hu, X., Tao, V., Hu, Y. (2004). Automatic Road Extraction from Dense Urban Area by Integrated Processing of High Resolution Imagery and Lidar Data, NATURAL RESOURCES, VOL 35;PART3,pages 320-324.
- [7] Alharthy, A. and Bethel, J. (2003). Automated road extraction from LiDAR data, ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings, Anchorage, Alaska (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Anchorage, Alaska), unpaginated CDROM.
- [8] Clode S., Kootsookos P., and Rottensteiner F., (2004a). The Automatic Extraction of Roads from LIDAR Data. Proceedings of the XXth ISPRS Congress at Istanbul, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences, Vol. XXXV, Part B3, pp. 231-236, Istanbul (Turkey).
- [9] Clode, S., Zelniker, E. E., Kootsookos, P. J., and Clarkson, I. (2004b). A Phase Coded Disk Approach to Thick Curvilinear Line Detection, In: Proceedings of EUSIPCO, Vienna, Austria, pp 1147-1150.
- [10] Li, J., Lee, H.J., Cho, G.S. (2008). Parallel Algorithm for Road Points Extraction from Massive LiDAR Data, International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications.
- [11] Wang, Y., Chen, S., Zhang, Y., Chen., Guo, P., and Yang, J. (2013). Automatic road extraction for airborne lidar data, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging, Laser Sensing and Imaging and Applications, 890528, doi:10.1117/12.2034862.
- [12] Zhao, J., You, S. (2012). Road Network Extraction from Airborne LiDAR Data using Scene Context, IEEE Computer Society Conference on, Conference Publications, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089.
- [13] Jiangui, P. and Guang, G. (2011). A method for main road extraction from airborne LiDAR data in urban area, Electronics, Communications and Control (ICECC), International Conference on , Sch. of Remote Sensing & Inf. Eng., Wuhan Univ., Wuhan, China. DOI: 10.1109/ICECC.
- [14] Matkan, A.A., Hajeb, and M., Sadeghian, S. (2014). Road Extraction from Lidar Data Using Support Vector Machine Classification, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, DOI: 10.14358/PERS.80.5.409.
- [15] Zhu, P., Lu, Z., Chen, X., Honda, K. and Eiumnoh, A., 2004. Extraction of City Roads Through Shadow Path Reconstruction Using Laser Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol 70, No.12, pp. 1433–1440.
- [16] Ribeiro da Silva, C., Silva Centeno, J.A and Henriques, M.J (2011). Automatic Road Extraction on Aerial Photo and Laser Scanner Data, International Conference on Environmental and Computer Science IPCBEE vol.19, IACSIT Press, Singapore.
- [17] Gonzales, R., Woods, R., and Eddins, R. (2009). Digital image processing using MATLAB, Pearson education, ISBN-10: 0982085400.

- [18] Arefi, H., & Hahn, M. (2005). A morphological reconstruction algorithm for separating off-terrain points from terrain points in laser. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36.
- [19] Zhilin, Li. and Zhu, Q. (2005). Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, CRC Press. Boca Raton.