

تلفیق تصاویر مرئی و داده‌های ارتفاعی لیدار به منظور شناسایی نیمه خودکار عوارض شهری

مسعود آزاد*^۱، فرشید فرنود احمدی^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

چکیده

این مقاله روشی جدید برای شناسایی عوارض از داده لیدار و تصاویر مرئی ارائه می‌دهد. الگوریتم شناسایی عوارض پیشنهادی، کمترین وابستگی را به نوع سنجنده مورد استفاده برای تصویربرداری و منطقه مورد مطالعه دارد و در مورد هر داده لیدار و داده تصویری ورودی، شامل باندهای مرئی قرمز، سبز و آبی با قدرت تفکیک مکانی بالا، عوارض را با دقت قابل قبولی شناسایی می‌کند. در روش پیشنهادی، شناسایی عوارض با استفاده از تئوری تحلیل شی‌مبنایی، بعنوان رویکرد اصلی به انجام رسیده است. همچنین دو راهکار و نوآوری متفاوت به منظور افزایش سطح دقت و خودکارسازی فرایند شناسایی، پیشنهاد و به اجرا رسیده است. اولین راهکار، استفاده مستقل از داده‌های تصویری و لیدار به منظور رفع مشکل وابستگی زیاد بین داده‌ها در الگوریتم‌های موجود می‌باشد. راهکار دوم در این تحقیق، ارائه روشی نوین به منظور شناسایی مناطق پوشش گیاهی پیشنهاد شده می‌باشد. از ویژگی‌های این روش، عدم نیاز به باند مادون قرمز در داده‌های تصویری و همچنین عدم نیاز به اطلاعات شدت لیزر بازگشتی لیدار می‌باشد. با ارزیابی نتایج رده‌بندی روی داده‌های در دسترس، مشخص شد دقت کلی روش پیشنهادی در مورد رده پوشش گیاهی به طور متوسط ۹۸٪ است که بالاترین مقدار را نسبت به سایر عوارض نشان می‌دهد. در مورد سایر عوارض نیز این روش به دقت‌های قابل قبولی دست یافت.

کلیدواژه‌ها: شناسایی و اندازه‌گیری محدوده عوارض، لیدار، تصاویر مرئی.

* نویسنده مکاتبه کننده: دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی ژئوماتیک، دپارتمان سنجش از دور.

تلفن: ۰۴۱۳۳۳۹۲۵۱۵

Email: m.azad93@ms.tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

شناسایی عوارض یک گام اساسی و ضروری در مدل‌سازی برای طراحی شهری، مدیریت منابع و کاربردهای متنوع دیگر می‌باشد. هدف پژوهشگران در شناسایی عارضه، بدست آوردن مختصات، ارتباط بین نقاط مختصات‌دار (توپولوژی) و در نهایت برچسب زدن به عارضه می‌باشد. به دلیل روند رو به رشد نیاز کاربران به تولید سریع، بهنگام و دقیق اطلاعات مکانی در سال‌های اخیر، توسعه فرایندهای هوشمند استخراج اطلاعات مکانی به‌عنوان رویکرد پژوهشگران در دستور کار قرار گرفته است. اولین، مهم‌ترین و چالش برانگیزترین گام برای شناسایی عارضه، استخراج هوشمند مرزهای عوارض می‌باشد [۲]. به همین علت تحقیقات بسیاری برای حل این مسأله به انجام رسیده است ولی تا به حال شناسایی عوارض به صورت هوشمند، با موفقیت صددرصدی تحقق نیافته است [۷]. یکی از رویکردهای رایج به منظور استخراج عوارض، تلفیق و استفاده همزمان از منابع مختلف داده به منظور ایجاد هم‌افزایی در استخراج اطلاعات دقیق می‌باشد؛ زیرا تحقیقات صورت گرفته در سال‌های اخیر، نشان داده‌اند که تلفیق داده‌های اخذ شده توسط منابع مختلف، احتمال تأمین دقت‌های بیشتر را به همراه خواهد داشت [۸]. از جمله این منابع قابل تلفیق، می‌توان به استفاده هم‌زمان از تصاویر چندطیفی و داده‌های ارتفاعی لیدار اشاره کرد. لیدار و تصاویر طیفی، هر دو نقاط مثبت و منفی در ایجاد دقت افقی و قائم تعیین موقعیت دارند [۲]. در مقایسه با تصاویر، داده لیدار، عموماً اطلاعات را با دقت بالای ارتفاعی عرضه می‌کند، اما بسته به قدرت تفکیک مکانی داده برداشت شده، دقت خطوط مرزی عوارض تحت تأثیر خواهند بود [۶]. همچنین این داده به صورت ابرنقطه می‌باشد و پژوهشگر با انبوه داده فاقد ساختار روبرو است؛ به این معنی که پژوهشگر نمی‌داند کدام نقطه لیدار باید به کدام نقطه وصل شود؛ در واقع این داده عارضه‌مبنا نبوده و نقطه‌مبنا می‌باشد. صرف نظر از اختلاف ماهیتی

سامانه‌های اخذ داده لیدار در مقایسه با سنجنده‌های طیفی؛ از نقطه نظر تئوری، تفاوت‌های ساختاری داده‌های لیدار و تصاویر را می‌توان در ماهیت داده ثبت شده، هندسه اخذ داده، هندسه نمایش داده، و ماهیت رادیومتریکی داده دسته‌بندی نمود. این دو منبع داده، به صورت طبیعی ویژگی‌های مکمل‌کننده همدیگر را دارا می‌باشند [۲]، اما هنوز این سؤال که چگونه آنها را به منظور شناسایی و استخراج عارضه در یک روش بهینه با هم تلفیق کنیم، مطرح است [۷]؛ بنابراین تحقیقات فراوانی در دنیا در این زمینه انجام گرفته و یا در حال انجام است.

استو و همکاران یک روش رده‌بندی شی‌مبنای سلسله‌مراتبی را برای تهیه نقشه‌های کاربری شهری با به‌کارگیری تصاویر چندطیفی کوئیک‌برد (QB)، در منطقه آکرا پایتخت کشور غنا و با هدف ارزیابی اثربخشی قطعه‌بندی و رده‌بندی سلسله‌مراتبی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا ارائه دادند [۱۰]. آنها رویکرد سلسله‌مراتبی را در هر دو مرحله قطعه‌بندی و رده‌بندی تصویر اعمال نمودند. همچنین دو استراتژی رده‌بندی یکی بر اساس مشخصه‌های فرکانسی عوارض و دیگری بر اساس بررسی نسبت‌های پوشش گیاهی به اشیای سطح پایین‌تر را به این منظور ارزیابی کردند و در نتایج خود برای هر دو رویکرد، به صحت قابل قبولی دست یافتند. آنها برای انجام رده‌بندی، دو روش نزدیکترین همسایه و همچنین روش نزدیکترین همسایه فازی را بررسی و ارزیابی کردند. نتایج آنها نشان داد اعمال پردازش‌های رده‌بندی شی‌مبنا به روش سلسله‌مراتبی به تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا به منظور ایجاد نقشه‌های کاربری شهری، رویکردی مناسب بوده و نتایج ضعیفی را که در اثر اعمال الگوریتم‌های رده‌بندی مبتنی بر روش‌های پیکسل‌مبنا نتیجه شده بودند؛ برطرف می‌نماید. پولات و همکاران، یک بررسی به منظور تولید مدل رقومی ارتفاعی مناسب برای تحلیل ویژگی‌های زمینی بر مبنای مجموعه داده ورودی لیدار با سطح تراکم متوسط در منطقه شهری استانبول

مربوط به رده ساختمان را بر اساس ویژگی ارتفاع نقاط لیدار و شاخص گیاهی به هنجارسازی شده بدست آمده از باندهای تصاویر چندطیفی، شناسایی نمودند و سپس خطوط مستقیم از این نقاط را بدست آوردند. آنها یک عملکرد داده‌مبنا بر روی تصاویر طیفی و یک عملکرد مدل‌مبنا روی ابرنقاط لیدار، با هدف جبران نقاط ضعف هر یک از این مدل‌ها، برای استخراج خطوط ساختمان بکار گرفتند تا با ادغام پلی‌گون‌های بدست آمده از هر مدل، توصیف ساختمان‌ها بصورت کامل‌تر و دقیق‌تر صورت گیرد. آنها برای توصیف ساختمان‌ها بصورت پلی‌گون‌های مجزا، در الگوریتم پیشنهادی خود، ابتدا خطوط لبه‌ای از تصویر طیفی را شناسایی و با بررسی و پردازش اینکه نقاط ساختمانی و غیرساختمانی در کدام سمت این خطوط قرار دارند؛ خطوط مرزی ساختمان‌ها را شناسایی نمودند و همه خطوط غیرمرزی را از روند پردازش‌های بعدی خارج نمودند. در گام بعدی یک مدل مستطیلی به هر یک از خطوط مرزی برازش دادند، با شرط آنکه مستطیل برازش داده شده کوچکترین مستطیلی باشد که دارای بیشترین نقاط ساختمانی باشد. آنها سه ضلع ایجاد شده توسط مستطیل را به‌عنوان خطوط مدل‌مبنا در نظر گرفتند و در پردازش‌های بعدی، پلی‌گون‌های مرزی هر ساختمان را بصورت مجزاً به کمک خطوط مرزی و خطوط مدل‌مبنا بدست آوردند. آنها برای ارزیابی نتایج الگوریتم پیشنهادی خود در مقایسه با مجموعه مرجع تهیه شده از طریق روش نقشه‌برداری مستقیم، از معیارهای ارزیابی شی‌مبنا بهره بردند که نتایج ارزیابی، میزان کامل بودن کار آنها را برابر ۸۸/۳ درصد، میزان صحت را برابر ۹۰/۱ درصد و کیفیت سراسری نتایج بدست آمده را برابر ۸۰/۵۰ درصد نشان داد. علت کم بودن میزان دقت کلی نتایج آنها را می‌توان در تراکم کم نقاط داده لیدار مورد استفاده دانست. شناسایی ساختمان با استفاده از این روش، پیچیدگی صحنه را کاهش می‌دهد و در نتیجه، پروسه شناسایی و توصیف راحت‌تر انجام می‌گیرد؛ زیرا الگوریتم طراحی شده آنها از تغییرات

ترکیه انجام دادند و تأثیر عوامل مختلف در صحت مدل نهایی ایجاد شده نظیر: تنوع توپوگرافی، تراکم نقاط نمونه‌برداری شده، روش‌های درونیایی، و قدرت تفکیک مکانی را بررسی و مورد تحقیق قرار دادند [۶]. آنها برای این هدف، از یک مدل رقومی ارتفاعی مرجع تهیه شده با قدرت تفکیک مکانی مناسب که به روش دستی فیلتر شده بود؛ استفاده نمودند و با مقایسه مدل رقومی ارتفاع تولیدی با مدل رقومی ارتفاع مرجع، قابلیت روش‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادند. همچنین آنها تکنیک‌های مختلف درونیایی کریجینگ (K)، فاصله معکوس وزنی (IDW)، نزدیک‌ترین همسایگی (NN) و روش استفاده از ابزار *Topo to Raster* را به‌منظور انتخاب بهترین الگوریتم درونیایی برای تولید مدل رقومی ارتفاعی، اعمال کرده و نحوه اثرگذاری آنها در صحت نهایی مدل را بررسی نمودند. همچنین آنها برای پردازش داده لیدار برای تولید مدل رقومی ارتفاعی، دو روند ذیل را اجرا و نتایج را برای انتخاب یک روند مناسب مورد بررسی قرار دادند. در روش اول، به ترتیب مراحل فیلتر کردن داده لیدار، کاهش دادن داده (برای در اختیار گرفتن مقادیر کمتر از ابرنقاط لیدار)، و درونیایی را اجرا کردند و در روش دوم، به ترتیب مراحل کاهش دادن داده، فیلتر کردن داده لیدار و درونیایی را اجرا نمودند. آنها الگوریتم‌های مختلف برای فیلتر کردن داده لیدار را نیز اجرا و نتایج را با هم مقایسه نمودند. همچنین آنها هر دو روند را با پنج مقدار مختلف حاصل از عملیات کاهش دادن داده و با روش‌های مختلف درونیایی اجرا و نتایج را مقایسه نمودند. نتایج نشان داد، با در نظر گرفتن هر دوی این روش‌ها، روش درونیایی NN نسبت به سایر روش‌های درونیایی، با در نظر گرفتن تمامی پنج مقدار مختلف کاهش داده، دارای نتایج صحیح‌تری می‌باشد. سون و دومان، روشی برای استخراج دوبعدی ساختمان به‌صورت خودکار با ادغام تصاویر چندطیفی آیکونوس و داده لیدار هوایی، در یک منطقه شهری ارائه نمودند [۹]. در ابتدا، در فضای سه‌بعدی ابرنقاط لیدار، نقاط

آن مشخص شدن زمینه‌های پژوهشی جدید برای محققان، از طریق شناساندن مشکلات مشترک رویکردهای موجود و ارائه دادن معیارهایی در مورد رویکردهای امیدبخش بود. همچنین آنها به منظور جهت دادن به تحقیقات آینده و مشخص شدن نقاط ضعف و قوت رویکردهای موجود، اکثر روش‌های پیشنهاد شده توسط محققان در زمینه شناسایی ساختمان‌ها، درختان و مدل‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها را روی مجموعه داده مذکور، اجرا و نتایج هر یک را مقایسه، ارزیابی و تحلیل نمودند. آنها الگوریتم‌های موجود را از نظر داده ورودی به پنج گروه بصورت: تصویر و مدل رقومی سطح تولید شده از همان تصویر، داده لیدار، مدل رقومی سطح تولید شده توسط ابرنقاط لیدار، هر دو مجموعه داده لیدار و تصویر، هر دو مجموعه داده تصویر قائم و مدل رقومی سطح تولید شده توسط ابرنقاط لیدار، و از نظر استراتژی اصلی پردازش نیز به سه گروه بصورت: عملکردهای مدل‌مبنا، عملکردهای طبقه‌بندی نظارت‌شده و عملکردهایی بر اساس نمونه‌گیری آماری، دسته‌بندی کرده و به بررسی عملکرد هر یک بصورت جداگانه پرداختند. نتایج آنها نشان داد تفاوت‌ها در کیفیت نتایج بین روش‌های مختلف با تکیه بر مجموعه‌های داده ورودی مختلف به میزان بسیار کمی قابل توجه می‌باشد و در مقابل، کیفیت نتایج، تغییرات بیشتری را درون هر گروه مبتنی بر داده ورودی یکسان نشان داد و اهمیت انتخاب نوع استراتژی و کیفیت پردازش‌ها را آشکار نمود. منطقه مورد مطالعه و شرایط حاکم بر آن نیز، تأثیر زیادی روی کیفیت نتایج داشت. همچنین نتایج آنها نشان داد تا به حال هیچ روشی مبتنی بر داده ورودی تصویر، بصورت کامل اطلاعات و پتانسیل تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا را مورد بهره‌برداری قرار نداده‌اند؛ چرا که کیفیت نتایج این روش‌ها، با روش‌های مبتنی بر داده ورودی لیدار، به‌ویژه در جنبه صحت افقی نتایج، با وجود تراکم پایین نقاط لیدار نسبت به قدرت تفکیک مکانی تصویر، تفاوت زیادی نداشت.

بافتی پشت‌بام ساختمان‌ها در داده تصویر تأثیری نمی‌پذیرد و به این ترتیب لبه‌های استخراجی نهایی مطلوب خواهد بود. اورانجب و همکاران، روشی برای شناسایی خودکار ساختمان‌ها با ادغام داده لیدار و تصاویر چندطیفی ارائه دادند [۲]. آنها از هر دو داده لیدار و تصویر، به عنوان نشانه اولیه برای ترسیم خطوط مرزی استفاده کردند. آنها دو ماسک بصورت همزمان از داده لیدار تهیه نمودند؛ در ماسک اول، پاره‌خط‌های اطراف مناطق عاری از ساختمان را استخراج و در ماسک دوم هم ساختمان‌ها را مشخص نمودند. سپس تمامی پاره‌خط‌ها را از ماسک اولیه ساختمان با استفاده از شناساگر لبه *Canny*، استخراج کرده و یکسری پردازش از جمله حذف لبه‌های کوچک و تجزیه منحنی‌های شناسایی شده به پاره‌خط‌ها روی لبه‌های شناسایی شده، انجام دادند. سپس پاره‌خط‌های اطراف درختان را نیز با استفاده از شاخص گیاهی بهنجارسازی شده حذف کردند. به این ترتیب، موقعیت ابتدایی ساختمان‌ها در قطعات خطی باقیمانده معین شدند. آنها سپس هندسه خطوط را نیز تنظیم و پلان‌های مستطیل شکل را از این خطوط بدست آوردند. لبه‌های درختی باقیمانده را نیز با تکنیک مقایسه‌ای محلی حذف کردند. نتایج الگوریتم آنها نشان داد که روش پیشنهادی برای شناسایی ساختمان‌های مسکونی و صنعتی در منطقه شهری استرالیا، به صورت بسیار موفق و رضایت‌بخش عمل می‌نماید، اما در مناطق مسکونی با شیب زیاد و ساختمان‌هایی مرتفع و انبوه، با تنوع ارتفاعی بالا و متغیر، ضعیف عمل می‌کند؛ علت این امر هم به حد آستانه ارتفاعی تعریف شده بر می‌گردد؛ به این معنی که حد آستانه مشخص شده ممکن است بهینه نباشد. روتن استاینر و همکاران، یک مجموعه داده شامل تصویر هوایی رقومی و داده لیدار اخذ شده از دو منطقه وایهینگن آلمان و تورونتو کانادا را در دسترس جامعه پژوهشی قرار دادند [۷]. هدف آنها امکان‌پذیر کردن ارزیابی و مقایسه دقت روش‌های پیشنهادی جدید با روش‌های سایر محققان، و به دنبال

گنبدی و مسطح می‌باشد. این مجموعه داده، شامل بخشی از یک تصویر ماهواره‌ای، و داده لیدار متناظر می‌باشد. تصویر ماهواره‌ای پین‌شارپ شده رنگی، مربوط به سنجنده *QB*، دارای سه باند قرمز، سبز و آبی، با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۱ متر می‌باشد. این داده تصویری، در ۱۲ ژانویه ۲۰۱۱ از منطقه معرفی شده اخذ شده است. همچنین خطای جابجایی ارتفاعی از تصویر حذف شده است. داده‌های لیدار هوایی نیز در ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴، با حداکثر سه بازگشت و با قدرت تفکیک تقریبی معادل ۲ نقطه در متر مربع جمع‌آوری شده است. این داده‌ها که در قالب ابرنقاط نامنظم به فرمت *ALS*^۲ ارائه شده‌اند حاوی اطلاعاتی از قبیل: بازگشت اولیه، ثانویه، بازگشت چندگانه، و مختصات (*X*، *Y*، *Z*) برای هر نقطه است. نزدیک به چهار سال اختلاف زمانی میان اخذ تصویر ماهواره‌ای با داده لیدار وجود داشته و به همین دلیل، رخ‌نمون بخشی از مناطق، بواسطه توسعه شهری دستخوش تغییر شده است. مجموعه داده نمونه بعدی، مربوط به منطقه شهری تورونتو از کشور کانادا می‌باشد. این ناحیه، توسط ساختمان‌های مرتفع و با اختلاف ارتفاعی بالا و با ساختارهای سقفی متنوع احاطه شده است. این مجموعه داده نیز، شامل بخشی از یک تصویر مرئی هوایی، و داده لیدار متناظر می‌باشد که خطای جابجایی از تصویر نیز حذف شده است. داده تصویری هوایی، توسط شرکت *FBS*^۳ توسط سنجنده *UCD*^۴، دارای سه باند قرمز، سبز و آبی، با قدرت تفکیک مکانی ۰٫۱۵ متر و قدرت تفکیک رادیومتریکی ۸ بیتی تهیه شده است. مجموعه بلوک تصویری، شامل سه نوار تصویربرداری است. منطقه مورد نظر در چهار تصویر و دو نوار پروازی قابل شناسایی است. داده‌های لیدار هوایی نیز، در ۶ نوار اسکن هوایی، مربوط به همان

بررسی تحقیقات گذشته نشان داد استفاده از باند مادون قرمز در کنار سایر باندهای مرئی، احتمال مشابهت میان سایه‌های موجود در تصویر با درختان واقعی را افزایش می‌دهد که به‌عنوان یکی از مشکلات عمده در تحقیقات ذکر شده است. از طرفی وابستگی به حضور سنجنده‌ای در باند مادون قرمز، سبب می‌شود استفاده از تصاویر مرئی به تنهایی کارایی خود را از دست دهد؛ لذا توسعه روشی که بتواند تنها با استفاده از تصاویر مرئی به شناسایی و استخراج عوارض بپردازد، از ارزش بالایی برخوردار است که هدف اصلی این تحقیق است. همچنین از بررسی آثار انجام شده، وجود نقطه ضعف الگوریتم‌های پیشنهاد شده در مورد شناسایی عوارضی که هم از نظر الگوی سه‌بعدی بدست آمده از داده‌های لیدار و هم از نظر الگوی دوبعدی و خصوصیات رادیومتریکی بدست آمده از داده‌های تصویری، دارای ویژگی‌های یکسان می‌باشند، معلوم گردید. در این تحقیق سعی شده است قدرت تحلیل شی‌مبنا برای حل مشکل ناشی از عوارض دارای خواص رادیومتریک و ارتفاعی یکسان در شناسایی مورد بررسی قرار گیرد.

۲- داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم طراحی شده، در برخورد با داده‌های مناطق با اختلاف در نوع سازه‌ها و پوشش گیاهی، دو نمونه از مجموعه داده‌های در دسترس، شامل داده شهر اصفهان و مجموعه داده تورونتو از کشور کانادا که توسط جامعه بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور^۱ در اختیار مؤلفین قرار گرفته است، انتخاب و نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی روی آنها نشان داده شده است. مجموعه داده مربوط به منطقه اصفهان، دارای ساختمان‌های متنوع از نظر مساحت و در دو نوع سقف

^۲ Aerial Lidar Scanning

^۳ First Base Solutions

^۴ UltraCam-D (UCD) camera

^۱ International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)– Commision III –Working Group 4

جابجایی ارتفاعی به وجود آمده‌اند. این نواحی با استفاده از روش شی‌مبنا در رده مورد نظر قرار خواهند گرفت. از بررسی تحقیقات انجام شده معلوم شد پرتوهای لیزر در برخورد با عوارضی که صلب می‌باشند، در بازگشت اول و آخر فاصله نباید اختلافی در مؤلفه ارتفاعی از خود نشان دهند و تنها در مناطق پوشش گیاهی، بسته به نوع و زمان برداشت داده، دارای خاصیت نفوذ می‌باشند؛ اما به دلیل وجود خطای ارتفاعی در مقادیر ثبت شده فاصله لیدار، ممکن است مقادیر بازگشت اول فاصله، به اندازه خطای ارتفاعی تفاضل مقادیر دو بازگشت اول و آخر فاصله، کوچکتر از مقادیر بازگشت آخر فاصله باشد. در این تحقیق از رابطه پیشنهاد شده توسط [۱۱]، برای تشخیص نویز در مقادیر داده‌های لیدار استفاده شده است (رابطه (۱)).

$$\text{رابطه (۱)} \rightarrow \text{نویز} \rightarrow \text{حد آستانه تعریف شده} > (\text{مقادیر بازگشت اول فاصله}) - (\text{مقادیر بازگشت آخر فاصله}) : \text{اگر} = \begin{cases} \text{مجموعه نقاط لیدار} \\ \text{صحیح} \rightarrow \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

مرئی، ابتدا داده‌های لیدار به فرمت رستری تبدیل و سپس روند هم‌مرجع کردن این دو منبع اطلاعاتی دنبال شد. به‌منظور تبدیل ابرنقاط نامنظم به شبکه رستری، محدوده تحت پوشش داده لیدار به شبکه‌ای منظم، با ابعاد برابر با قدرت تفکیک مکانی داده تصویری مربوطه تقسیم‌بندی شد. نقاط لیدار واقع در هر سلول از شبکه، شناسایی و ارتفاع مرتفع‌ترین نقطه به‌عنوان مؤلفه ارتفاعی و همچنین میانگین شدت‌های ثبت شده، به‌عنوان مؤلفه شدت آن سلول انتخاب شد. در مناطق فاقد نقطه لیدار، درونیایی مبتنی بر روش درونیایی خطی^۱ به اجرا رسید. برای شناسایی عوارض از هر دو داده، بایستی لایه‌های تولید شده با داده تصویری مربوطه هم‌مرجع شوند. از این رو هر دو مجموعه داده باید پیکسل‌سایز برابری داشته باشند. لازم به ذکر است

^۱ Linear

محدوده مکانی، در فوریه سال ۲۰۰۹، با حداکثر پنج بازگشت و با قدرت تفکیک تقریبی معادل ۶ نقطه در متر مربع جمع‌آوری شده است. این داده‌ها که در قالب ابرنقاط نامنظم به فرمت LAS ارائه شده‌اند، حاوی اطلاعات شدت لیدار، بازگشت اولیه، ثانویه، بازگشت چندگانه، زاویه اسکن و مختصات (X, Y, Z) برای هر نقطه است.

۲-۱- پیش‌پردازش

پیش‌پردازش رادیومتریکی و هندسی بر روی داده‌های تصویری انجام شده است. همچنین مجموعه داده‌های ابرنقاط لیدار، با سرشکنی نواری، پیش‌پردازش شده‌اند تا خطاهای سیستماتیک زمین‌مرجع کردن آن تصحیح گردد. برخی از نواحی با مقادیر صفر در داده‌های تصویری و لیدار وجود دارند که به علت تصحیح خطای

دقت ارتفاعی مجموعه داده‌های لیدار، به‌طور میانگین برابر ۱۵ سانتیمتر می‌باشد. بنابر قانون انتشار خطاها، مقدار خطای ارتفاعی کل برای تفاضل مقادیر این دو بازگشت، از طریق رابطه (۲)، قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{FR}^2 + \sigma_{LR}^2}$$

در این تحقیق مقدار نهایی برای حد آستانه بزرگتر از خطای کل و برابر ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد. با اعمال رابطه فوق بر روی داده لیدار مربوط به منطقه اصفهان، تعداد ۵۶,۸۹۸ نویز و در داده مربوط به منطقه تورونتو نیز تعداد ۱۲,۶۴۴ نویز از تعداد کل ۵,۲۹۰,۰۰۰ نقاط لیداری در هر دو مجموعه شناسایی شد. پس از شناسایی، این نویزها حذف و نقاط لیزری مصنوعی جدید با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای داده، از طریق درونیایی به روش نزدیکترین همسایگی برای هر دو بازگشت اول و آخر فاصله ایجاد شدند. به‌عنوان پیش‌نیاز روش پیشنهادی، با هدف استفاده هم‌زمان از مزایای داده‌های ناهمگون لیدار و تصاویر

رابطه (۳) $nDSM = First\ DSM - DTM$
 هم مرجع سازی داده لیدار و تصویر مرئی برای ایجاد ارتباط بین آنها، پیش پردازش دیگر برای ادغام داده در روش پیشنهادی است. هم مرجع کردن با در نظر گرفتن لایه های رستری لیدار بدست آمده از منطقه به عنوان لایه مرجع صورت گرفت. به این ترتیب داده های تصویری با انتخاب نقاط گرهی و اعمال یک چندجمله ای به سیستم مختصات داده های مرجع، منتقل شدند. $RMSE\ error$ هم مرجع کردن داده های منطقه اصفهان به $0/8$ پیکسل و در منطقه تورونتو به $1/05$ پیکسل رسید.

۳- معرفی روش پیشنهادی

شکل (۱) چرخه کار روش پیشنهادی را ارائه می دهد. در این تحقیق بدلائل ذکر شده در بخش مقدمه، شناسایی عوارض با استفاده از آنالیز شی مینا، بعنوان رویکرد اصلی پیشنهاد و به اجرا رسیده است. در آنالیز شی مینا به جای تعریف توابع و منطق، از اشیای مستقل استفاده می شود که هر کدام از این اشیا، به عنوان یک مدل داده ای، دارای خصوصیات منحصر به فرد می باشد. از آنجا که نمی توان برای هر پیکسل از تصویر، بویژه در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، به صورت مجزا خصوصیت منحصر به فرد تعریف کرد، برای مجموعه ای از پیکسل ها در همسایگی هم، خصوصیت منحصر به فرد تعریف می شود. به عمل تفکیک و دسته بندی مجموعه های پیکسلی با خصوصیت متفاوت از سایر مجموعه های مجاور، قطعه بندی گفته می شود [۱۰]. در مرحله بعد، هر کدام از این قطعه ها، در صورت دارا بودن رفتارهای مشابه با همدیگر ترکیب و قطعه بزرگتر را تشکیل می دهند. بر طبق مطالعات انجام شده معلوم گردید پتانسیل روش های تحلیل شی مینا، زمانی کاملاً مورد استفاده قرار می گیرد که فرآیند قطعه بندی بعنوان اولین مرحله این روش، به درستی و با دقت بالا انجام گیرد. از این رو در این پژوهش سعی گردید یک روش قطعه بندی مناسب برای دست یافتن به نتایج مطلوب انتخاب شود. برای این منظور، الگوریتم های متداول

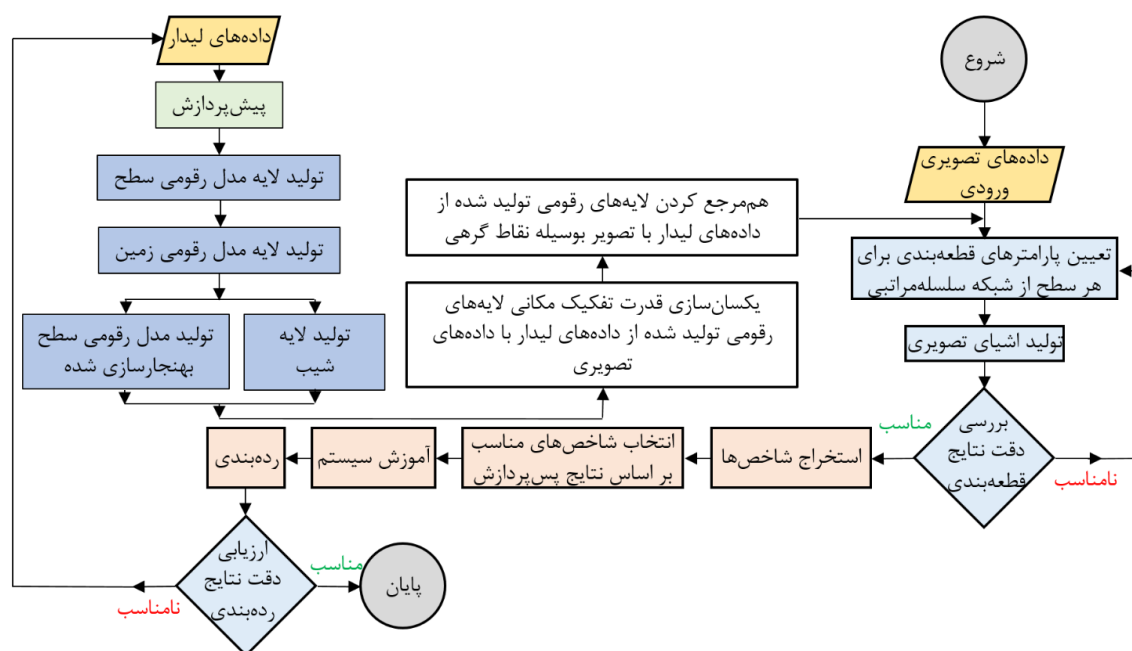
که قدرت تفکیک مکانی واقعی مربوط به لایه های رستری حاصل از داده های لیدار؛ در بهترین حالت، بسیار کوچکتر از قدرت تفکیک مکانی داده های تصویری بود و عملیات تفکیک پیکسل ها به ابعاد 10 و 15 سانتیمتر (پیکسل سائز داده های تصویری)، تنها به صورت صوری و برای همگون سازی با داده های تصویری برای پردازش های آتی بود. لایه های شیب لیدار نیز از بازگشت اول فاصله تهیه شدند. برای این کار ابتدا نقاط لیدار در فضای سه بعدی مثلث بندی شدند. این شبکه، بر طبق روش مثلث بندی دلونی^۱ تولید گردید. این لایه های تولید شده نیز، با ابعاد پیکسل سائز 10 و 15 سانتیمتری رستری شدند. برای تولید ماسک اولیه از عوارض به لایه مدل رقومی سطح بهنجار سازی شده نیاز بود. برای این منظور ابتدا برای جداسازی نقاط زمینی و غیرزمینی داده های لیدار، نقاط بازگشت آخر فاصله با روش الگوریتم ارتقاء یافته MGF ^۲ [۱۱] با مقدار حد آستانه شیب 60% فیلتر شدند. لازم به ذکر می باشد پولات و همکاران، یک بررسی برای انتخاب بهترین الگوریتم درونیابی و فیلترینگ داده لیدار در منطقه شهری ارائه و پس از مشخص شدن بهترین الگوریتم ها، داده لیدار را در چند نرخ کاهش داده و هر بار با اعمال الگوریتم های منتخب، نتایج را بررسی و تحلیل نمودند [۶]. بررسی آنها نشان داد دقت و صحت نتایج، مستقیماً و به میزان زیاد تحت تأثیر قدرت تفکیک مکانی داده لیدار می باشد و کم تر تحت تأثیر اعمال انواع روش های درونیابی و الگوریتم های فیلترینگ می باشد. در ادامه، برای تولید لایه مدل رقومی زمین، نقاط خروجی الگوریتم به روش انترپولاسیون خطی درونیابی و با ابعاد پیکسل سائز مورد نظر رستری شدند. لایه مدل رقومی سطح بهنجار سازی شده طبق رابطه (۳) تهیه شد.

^۱ Delaunay

^۲ Multi-directional Ground Filter

چندگانه، دارای نتایج قابل قبول تری در هر سه رده برای فرایند قطعه‌بندی می‌باشد. در این تحقیق؛ استخراج سه رده عوارض عمدتاً شهری: پوشش گیاهی، راه و ساختمان، مدنظر قرار گرفته و روش رده‌بندی سلسله‌مراتبی با استفاده از روش حد آستانه گذاری انتخاب شده است.

قطعه‌بندی به داده‌های در دسترس، اعمال و نتایج در هر سه رده (پوشش گیاهی، راه و ساختمان) مورد بررسی قرار گرفت، بطوریکه ابتدا مقدار عددی پارامترهای مناسب این الگوریتم‌ها، بصورت سعی و خطا [۴، ۱۰]، برای بدست آوردن بهترین نتیجه در هر رده، تعیین و سپس نتایج با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد الگوریتم بخش‌بندی بر اساس قدرت تفکیک



شکل ۱: چرخه کار روش پیشنهادی برای شناسایی عوارض

بررسی، مورد پردازش قرار گرفته و در گام نهایی عوارض مورد نظر و مرزهای آنها بازسازی می‌شوند. از بررسی پژوهش‌های انجام شده معلوم گردید عمدتاً الگوریتم‌های مبتنی بر تلفیق داده لیدار و تصویر طیفی، از تصاویر تنها برای شناسایی مناطق پوشش گیاهی استفاده نموده و سه مرحله پردازش کلی فوق‌الذکر را تنها روی داده لیدار اعمال می‌نمایند.

در این تحقیق سعی شده است سه مرحله پردازش کلی روی هر دو داده لیدار و تصویر اعمال گردند. همچنین دو راهکار و نوآوری متفاوت بمنظور افزایش سطح دقت و خودکارسازی فرایند شناسایی عارضه، پیشنهاد شده

پس از بررسی پژوهش‌های انجام گرفته در مورد استخراج عوارض بصورت خودکار بر اساس داده‌های ورودی مختلف، می‌توان بطور کلی؛ مراحل الگوریتم‌های شناسایی عارضه بر اساس روش‌های مختلف را به سه گام پردازشی کلی خلاصه نمود. اولین گام با استخراج نشانه‌هایی (الگو^۱ و ویژگی^۲) که بصورت محلی قابل شناسایی می‌باشند شروع می‌شود، سپس از میان نشانه‌های استخراجی، نشانه‌های مربوط به عارضه مورد

^۱ pattern

^۲ feature

۲) تعیین پارامترهای قطعه‌بندی برای هر سطح از شبکه سلسله‌مراتبی

لازم به ذکر می‌باشد اگر چه روش‌های مختلفی جهت حد آستانه گذاری به صورت هوشمند توسعه یافته است [۵،۳]، اما در اغلب این تحقیقات، تعیین حد آستانه به صورت سعی و خطا بهترین روش معرفی گردیده است. لذا در این تحقیق روش اخیر برای تعیین حد آستانه به کار گرفته شده است. به دلیل فقدان باند مادون قرمز و محدود بودن باندهای تصاویر مرئی به سه باند (قرمز، سبز و آبی)، این فرآیند با حساسیت بیشتری دنبال شد. برای بررسی میزان تغییرات طیف بازتابی، هیستوگرام طیفی یک مقطع خطی، که نشان‌دهنده این تغییرات، از سه رده مورد نظر می‌باشد، بررسی شد (شکل ۲).

به دلیل عدم تبعیت درختان از هندسه و شکل خاص، سهم کمتری برای وزن شاخص شکل در نظر گرفته شد. به دلیل تفاوت زیاد پاسخ‌های طیفی دو رده پوشش گیاهی و راه در داده اصفهان (شکل ۲-ب))، سهم بیشتری برای پارامتر وزن شاخص طیفی برای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی در نظر گرفته شد. در داده تورونتو نیز علی‌رغم اخذ داده تصویری در فصل زمستان، وجود تفاوت زیاد شدت پاسخ‌های طیفی دو رده پوشش گیاهی و راه (شکل ۲-د))، باعث در نظر گرفتن سهم بالا برای پارامتر وزن شاخص طیفی برای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی شد. برای بررسی مقادیر انحراف معیار پاسخ‌های طیفی رده‌های مختلف در باندهای در دسترس (قرمز، سبز و آبی)، نمودار انحراف معیار بهنجارسازی شده برای عوارض مورد نظر، در داده‌های مورد استفاده تهیه و بررسی شد (شکل ۳).

با بررسی انحراف معیار بهنجارسازی شده در داده اصفهان (شکل ۳-الف)) و همچنین با بررسی مقادیر انحراف معیار سه باند در مرزهای دو رده پوشش گیاهی و راه، سهم بیشتری برای مقادیر پارامتر وزن باند اول و دوم (قرمز و سبز) نسبت به باند سوم برای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی در نظر گرفته شد.

است که عبارتند از:

۱) استفاده مستقل از داده‌های تصویری و داده‌های لیدار در روند شناسایی

از بررسی آثار انجام شده، وجود وابستگی زیاد بین داده‌ها معلوم گردید؛ به این معنی که در صورت وجود خطا در داده تصویری، پس از ورود داده لیدار در روند شناسایی، خطای داده تصویری حذف نشده و دقت نتایج شناسایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق الگوریتمی جدید با محوریت حفظ استقلال بین داده‌های لیدار و داده‌های تصویری پیشنهاد و قدرت آن برای حل مشکل ناشی از وابستگی زیاد بین داده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در الگوریتم پیشنهادی روند شناسایی با مبنا قرار دادن اطلاعات اخذ شده از تصویر مرئی، آغاز و در گام دوم نیز، برای مناطقی که شناسایی به درستی تحقق نیافته، پتانسیل داده‌های لیدار استفاده شده است.

۲) شناسایی مناطق پوشش گیاهی از تصاویر مرئی، بدون نیاز به وجود باند مادون قرمز

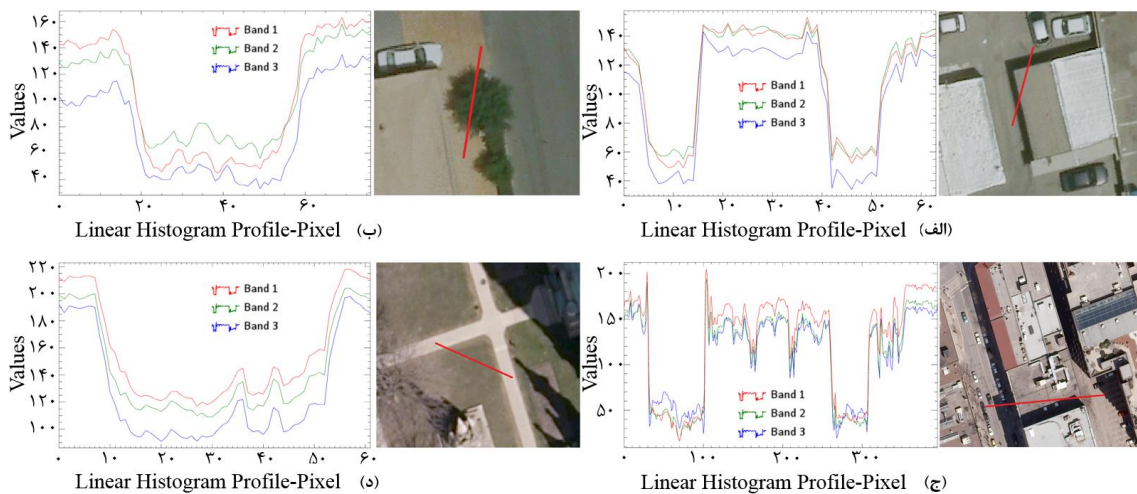
از بررسی آثار انجام شده معلوم گردید سایر محققان برای شناسایی عوارض مربوط به رده پوشش گیاهی، از اطلاعات باند مادون قرمز تصاویر چندطیفی بهره گرفته‌اند. در این تحقیق سعی شده است از داده‌های سه باند قرمز، سبز و آبی تصاویر مرئی، شاخص‌هایی استخراج و معرفی شوند تا توسط آنها مناطق پوشش گیاهی، بدون نیاز به باند مادون قرمز تصاویر طیفی و اطلاعات شدت لیزر بازگشتی لیدار شناسایی شوند.

۴- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

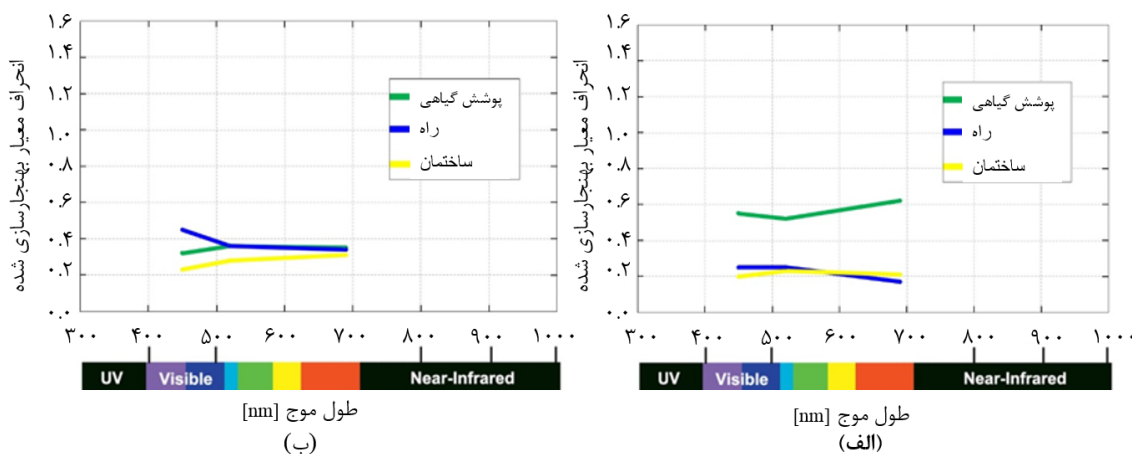
در ادامه مقاله با توجه به شکل (۱)، گام‌های چرخه‌کار پیشنهادی روی داده‌های نمونه اجرا و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

۱) داده‌های تصویری ورودی

داده‌های تصویری نمونه پس از پیش‌پردازش‌های لازم (بخش ۲-۱)، وارد فرآیند شناسایی شدند.



شکل ۲: تصویر هیستوگرام خطی برای مرز رده‌های پوشش گیاهی، راه و ساختمان، در مقطع خطی نشان داده شده با خط قرمز در داده‌های تصویری (الف و ب): اصفهان و (ج و د): تورونتو.



شکل ۳: انحراف معیار بهنجارسازی شده برای داده تصویری (الف): اصفهان و (ب): تورونتو

همدیگر مشابه می‌باشند (شکل ۲- الف و ج)؛ از این رو به پارامتر وزن شاخص طیفی برای قطعه‌بندی رده راه سهم کمتری اختصاص یافت. همچنین این امر دلیلی بر انتخاب سهم بالاتر برای وزن شاخص شکل به‌منظور قطعه‌بندی این رده شد. تفاوت اندک مقادیر انحراف معیار هر سه باند در مرزهای دو رده ساختمان و راه در داده اصفهان (شکل ۳- الف))، باعث در نظر گرفتن سهم یکسانی برای پارامتر وزن هر سه باند برای قطعه‌بندی رده راه شد. همچنین با بررسی مقادیر انحراف معیار سه باند در مرزهای دو رده ساختمان و راه در داده تورونتو (شکل ۳- ب))، سهم بیشتری برای

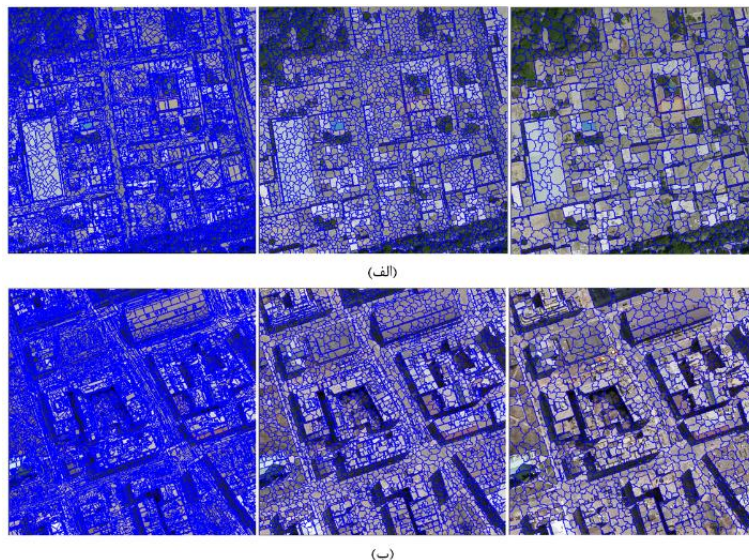
در داده تورونتو نیز مقادیر انحراف معیار هر سه باند، تفاوت زیادی در مرزهای دو رده پوشش گیاهی و راه نشان ندادند (شکل ۳- ب)؛ بنابراین سهم یکسانی برای پارامتر وزن هر سه باند داده تصویری برای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی اختصاص یافت. همچنین اختلاف بالای پاسخ طیفی در مرز بین این دو رده در داده‌ها، باعث انتخاب حد آستانه پایین‌تر برای پارامتر ناهمگنی الگوریتم بخش‌بندی بر اساس قدرت تفکیک چندگانه، به‌منظور قطعه‌بندی و استخراج پوشش گیاهی شد. پاسخ‌های طیفی دو رده ساختمان و راه، (به غیر از محدوده موجود در سایه) تقریباً با

مرزهای دو رده ساختمان و راه، در داده اصفهان (شکل ۳-الف))، سهم یکسانی برای پارامتر وزن هر سه باند داده تصویری برای قطعه‌بندی رده ساختمان در نظر گرفته شد. در داده تورونتو نیز، با بررسی مقادیر انحراف معیار سه باند در مرزهای دو رده (شکل ۳-ب))، سهم بیشتری برای پارامتر وزن باند دوم و سوم (سبز و آبی) نسبت به باند اول برای قطعه‌بندی رده ساختمان در نظر گرفته شد.

۳) تولید اشیای تصویری

شکل (۴)، نتایج قطعه‌بندی در سه سطح سلسله‌مراتبی برای مجموعه داده اصفهان و تورونتو را نشان می‌دهد.

پارامتر وزن باند دوم و سوم (سبز و آبی) نسبت به باند اول (قرمز) در نظر گرفته شد. به دلیل تبعیت ساختمان‌ها از هندسه و شکل قانونمند، سهم بیشتری برای وزن شاخص شکل در نظر گرفته شد. پاسخ‌های طیفی دو رده ساختمان و راه، (به غیر از محدوده موجود در سایه) با همدیگر مشابه می‌باشند (شکل ۲-الف و ج))؛ از این رو برای قطعه‌بندی رده ساختمان به پارامتر وزن شاخص طیفی، سهم کمتری اختصاص یافت. همچنین این مشابهت طیفی، دلیلی مضاعف بر انتخاب سهم بالاتر برای وزن شاخص شکل، به‌منظور قطعه‌بندی و استخراج این رده شد. همچنین به دلیل تفاوت کم در مقادیر انحراف معیار هر سه باند در



شکل ۴: نتایج قطعه‌بندی؛ تصویر چپ: نتیجه قطعه‌بندی برای رده پوشش گیاهی، تصویر وسط: نتیجه قطعه‌بندی برای رده راه، تصویر راست: نتیجه قطعه‌بندی برای رده ساختمان بر روی مجموعه نمونه داده تصویری (الف): اصفهان و (ب): تورونتو

۴) بررسی دقت نتایج قطعه‌بندی

داده‌های تصویری نمونه برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، وجود یک عارضه فرعی در وسط یک عارضه اصلی مورد دلخواه (مانند کولر در وسط پشت‌بام ساختمان‌ها)، باعث شده است که قطعه ساختمان چند تکه شده و قطعه‌بندی بصورت مناسب صورت نگیرد که اصولاً نباید چند تکه می‌شدند. در داده‌های تصویری، بخصوص در منطقه اصفهان، که ساختمان‌ها با بافت

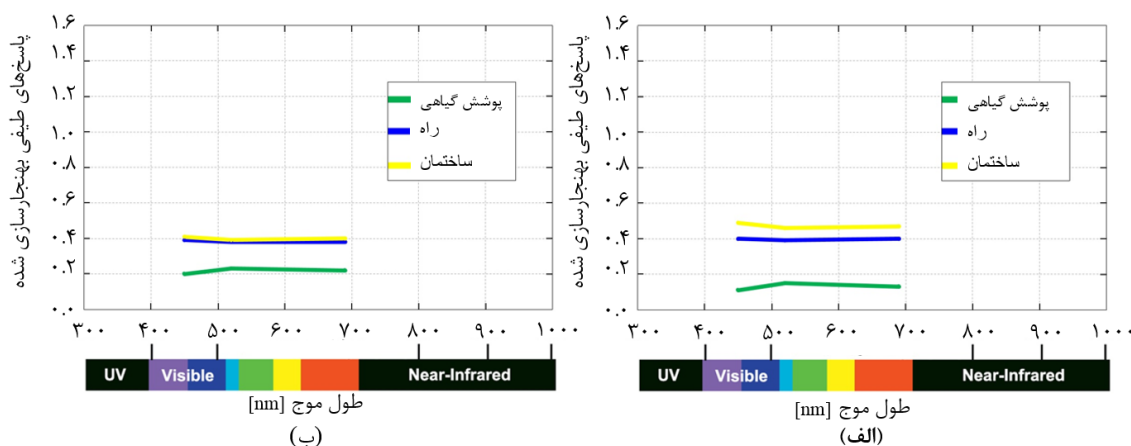
در داده‌های تصویری، قدرت تفکیک طیفی پایین در مقابل قدرت تفکیک مکانی بالای داده‌ها، فرآیند قطعه‌بندی را در سطح بالایی از خطاهای اجتناب‌ناپذیر همراه نمود. از مشکلات قطعه‌بندی داده‌ها، مبتنی بر داده‌های تصویری بصورت دقیق‌تر، این مورد به‌خصوص می‌باشد که به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای

کمتر در قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی دیده شد و علت آن، متمایز بودن شدید اطلاعات طیفی این رده، در مقایسه با سایر عوارض موجود در منطقه می‌باشد.

۵) استخراج شاخص‌ها

در تصاویر منطقه اصفهان و تورونتو تمایز قابل توجهی در پاسخ‌های طیفی باندهای مرئی از رده‌های پوشش گیاهی، راه و ساختمان مشاهده شد (شکل ۵))؛ از این رو در این تحقیق سعی شده است با هدف بهره‌گیری کامل از پتانسیل داده‌های تصویری، یک روش دقیق، برای شناسایی رده پوشش گیاهی بصورت ویژه و همچنین سایر رده‌ها ارائه شود.

پیچیده و شکل‌های مختلف، تعداد زیادی از سطوح مسطح و گنبدی را شامل می‌شود، مقدار زیادی از نشانه‌های خطی غیرمنطقی که به مرزهای ساختمان‌ها مربوط نیستند، تولید می‌شوند. همچنین در داده‌های مرئی، مصالح مختلف موجود در سطح پشت‌بام ساختمان‌ها، باعث شده است پارامترهای استاندارد واحدی برای قطعه‌بندی رده ساختمان و راه وجود نداشته باشد که در کل تصویر دارای نتایج یکسان و دقیقی باشد. با بررسی و مقایسه اشیا تولید شده در دو سطح راه و ساختمان، ناکافی بودن این داده‌ها برای قطعه‌بندی برای دستیابی به نتایج منطقی‌تر و با انطباق بیشتر با عوارض دنیای واقعی معلوم گردید. این مشکل،



شکل ۵: پاسخ‌های طیفی بهنجارسازی شده، برای داده (الف) اصفهان و (ب) تورونتو.

نانومتر، نسبت به رده‌های راه و ساختمان جذب بالایی دیده شد که بیشترین مقدار این تفاوت در باند آبی بود (شکل ۵-الف)). این الگو در بین دو رده راه و ساختمان در تمام طول باندهای طیفی اخذ شده معکوس بود و تفاوت و نقطه اوج قابل توجهی دیده نشد که علت این امر، خصوصیات رادیومتریکی مشابه مصالح مورد استفاده در سطح پشت‌بام و سطح راه‌های شهر اصفهان می‌باشد و همین دلیل باعث عدم تفاوت پاسخ‌های طیفی دو رده راه و ساختمان در منطقه تورونتو نیز می‌باشد. مشاهده شد که رده پوشش گیاهی باند سبز را نسبت به دو باند دیگر بویژه نسبت به باند

در داده‌های تصویری تورونتو، اختلاف کمی بین پاسخ‌های طیفی مربوط به رده پوشش گیاهی و غیرپوشش گیاهی مشاهده شد که علت این موضوع اخذ داده در فصل زمستان می‌باشد. بین دو رده راه و ساختمان نیز، جدایی ملموسی مشاهده نشد (شکل ۵-ب)). با این حال، این سه رده، در باند آبی بیشترین تفاوت در شدت پاسخ طیفی را نشان دادند؛ از این‌رو پتانسیل داده تصویری باند آبی بهنجارسازی شده برای متمایز ساختن این رده از سایر عوارض موجود در تصویر بررسی شد. در رده پوشش گیاهی در هر سه طیف قرمز، آبی و سبز، در محدوده ۴۵۰ تا ۶۹۰

طیفی در هر سه باند در این رده، پایین تر از دو رده دیگر خواهد بود؛ از این رو پتانسیل این شاخص نیز بررسی شد. همانطور که انتظار می رود مقادیر در باندهای خام تصویری، نمی توانند بصورت مناسب بین عوارض تمایز برقرار نمایند؛ از این رو در این تحقیق، در ابتدا از مقادیر بهنجارسازی شده باندهای مرئی برای شناسایی پوشش گیاهی مطابق با روابط (۴ الی ۶) بهره گرفته شد.

$$Rn = R / (R + G + B) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Gn = G / (R + G + B) \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Bn = B / (R + G + B) \quad \text{رابطه (۶)}$$

دو رده راه و ساختمان تقریباً بصورت یکسان دو باند قرمز و سبز را جذب می کنند، در صورتی که این روند در رده پوشش گیاهی دیده نمی شود. بنابراین می توان مطابق با این ویژگی، شاخص ذیل (رابطه (۹)) را تعریف نمود. همچنین، می توان مطابق با ویژگی جذب کمتر طیف سبز توسط رده پوشش گیاهی شاخص های ذیل (روابط (۱۰ و ۱۱)) را تعریف نمود.

$$\text{رابطه (۷)} = G - B \quad \text{شاخص پیشنهادی اول}$$

$$\text{رابطه (۸)} = (G - B) / (G + B) \quad \text{شاخص پیشنهادی دوم}$$

$$\text{رابطه (۹)} = 1/4 \times R - G \quad \text{شاخص پیشنهادی سوم}$$

$$\text{رابطه (۱۰)} = 0/441 \times R - 0/811 \times G + 0/385 \times B + 18/78 \quad \text{شاخص پیشنهادی چهارم}$$

$$\text{رابطه (۱۱)} = (G - R) \times (G - B) \quad \text{شاخص پیشنهادی پنجم}$$

متعلق به این رده هاست به صورت تصادفی توسط اپراتور انتخاب می گردد. در این تحقیق به منظور افزایش قابلیت اطمینان نتایج مقایسه در کل تصویر، پیکسل های مرتبط با هر رده به صورت دستی و با دقت بالا در کل تصویر انتخاب شدند. تعداد پیکسل های رده بندی شده به صورت دستی هر رده، در هر دو داده در جدول (۱) ارائه شده است.

آبی، کمتر جذب نموده (شکل (۵-ب)) که این الگو در دو رده دیگر مشاهده نشد؛ بنابراین مقادیر تفاضل پاسخ های طیفی در دو باند آبی و قرمز، از پاسخ طیفی باند سبز در رده پوشش گیاهی دارای مقادیر بالاتر بوده و این شاخص، می تواند عوارض فوق را تفکیک نماید. همچنین رده پوشش گیاهی هر سه طیف قرمز، آبی و سبز را بیشتر از رده راه و ساختمان ها جذب می کند (شکل (۵-ب))، بنابراین مجموع مقادیر پاسخ های

یک جدایی در محدوده ۴۵۰ تا ۵۲۰ نانومتر در پاسخ های طیفی رده های مورد نظر مشاهده می شود (شکل (۵)) که نشان می دهد رده پوشش گیاهی، نور آبی را نسبت به سایر باندها بیشتر جذب می نماید و چنین روندی در دو رده دیگر مشاهده نمی شود که می توان مطابق با این ویژگی، شاخص های ذیل (روابط (۷ و ۸)) را تعریف نمود.

۶) انتخاب شاخص های مناسب بر اساس نتایج پس پردازش

با اعمال شاخص های توسعه داده شده در این تحقیق به داده های تصویری در دسترس، کارایی آنها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی نتایج الگوریتم توسعه یافته در این پژوهش، در سه رده شامل: پوشش گیاهی، راه و ساختمان نیاز به داده واقعیت زمینی بود. در پژوهش های مشابه، معمولاً بخش هایی از تصویر که

جدول ۱: پیکسل‌های رده‌بندی شده به صورت دستی مرتبط با رده‌های پوشش گیاهی، راه و ساختمان در کل داده تصویری اصفهان و تورونتو

ابهام و عدم قطعیت در تعیین رده		رده ساختمان		رده راه		رده پوشش گیاهی		رده
تورونتو	اصفهان	تورونتو	اصفهان	تورونتو	اصفهان	تورونتو	اصفهان	تعداد پیکسل‌های هر رده در کل داده تصویری
۳۷۰۳۰۰	۲۳۷۸۰۴	۲۲۴۲۳۸۵	۲۲۳۲۵۲۳	۲۲۸۲۸۲۲	۲۰۰۵۲۸۸	۳۹۴۴۹۳	۸۱۴۳۸۵	

کلی بالا، اما با یک میزان قابل توجه خطای حذف، می‌تواند دلیلی بر اشتباه بالای الگوریتم در رده‌بندی باشد؛ از این رو شاخص‌ها بمنظور بهبود دقت کلی و کاهش خطای حذف، با هم ترکیب شدند. در داده اصفهان، از آن جایی که شاخص‌های اول و سوم، دارای نتایج تقریباً یکسانی بودند، تنها شاخص اول در نظر گرفته شد. در هر یک از داده‌های نمونه برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، شاخص دوم، به دلیل نتایج با دقت پایین رده‌بندی نسبت به سایر شاخص‌ها، از ادامه روند پردازش خارج شد. در نهایت داده‌ها، با ترکیب شاخص‌های باقیمانده، رده‌بندی شدند. نتایج این ترکیب برای تأیید این حقیقت که: کارایی استفاده از این شاخص‌ها در کنار هم بهتر از کارایی منفرد آنها می‌باشد، دلگرم کننده بود. جدول (۲)، پارامترهای ارزیابی دقت [۱] را برای نتایج رده‌بندی بر اساس ترکیب شاخص‌های معرفی شده، در کنار پارامترهای ارزیابی دقت نتایج رده‌بندی براساس مقادیر بهنجارسازی شده باندهای تصویری، برای داده اصفهان و تورونتو را نشان می‌دهد.

دو رده راه و ساختمان در داده‌های اصفهان و تورونتو، هیچ اختلاف ملموس و منطقی در مقادیر پاسخ‌های طیفی ثبت شده از خود نشان ندادند؛ از این رو تنها با تکیه بر داده‌های تصویری، استخراج این دو رده صورت نپذیرفت. با استفاده از ویژگی‌های ساختاری (نظیر محیط، مساحت اشیا یا نسبت طول به عرض و غیره)، تمایز رده ساختمان و راه، به نتایج غیرمنطقی و اشتباه رسید و نتایج رده‌بندی بر اساس این ویژگی‌ها غیر قابل قبول بود. علت این امر، غیر منطقی بودن انجام فرآیند

از نظر کیفی سعی گردید پیکسل‌هایی که در تشخیص آنها، اپراتور نیز ممکن است دچار ابهام گردد، مورد استفاده قرار نگیرد. برای ارزیابی صحت فرآیند مرحله رده‌بندی، نتایج رده‌بندی دستی داده‌های تصویری با نتایج رده‌بندی حاصل از روش پیشنهادی برای شناسایی عارضه مقایسه شده و پارامترهای ارزیابی صحت، محاسبه شدند. در داده اصفهان، دقت کلی از شاخص Gn به بالای ۸۵ درصد رسید، در مقابل اعمال سایر شاخص‌ها نتایج ضعیف‌تری نشان دادند. در داده تورونتو نیز، نتایج فرآیند رده‌بندی پوشش گیاهی، در صورت استفاده از شاخص Bn ، در مقایسه با نتایج اعمال دو شاخص Gn و Rn ، بهتر بود. در مورد داده اصفهان، دقت کلی رده‌بندی رده‌های پوشش گیاهی و غیرپوشش گیاهی با شاخص‌های پیشنهادی اول، سوم، چهارم و پنجم بالای ۹۴ درصد بود. بهترین نتایج با شاخص پنجم حاصل شد. شاخص دوم نیز عملکرد خوبی نشان داد. در داده تورونتو نیز، دقت کلی از شاخص‌های پنجم، چهارم، اول و سوم به بالای ۹۳ درصد رسید. بهترین نتیجه با شاخص چهارم حاصل شد. شاخص چهارم و پنجم برای جداسازی رده پوشش گیاهی از سایر عوارض، برای تولید یک تصویر باینری؛ به ترتیب در داده اصفهان و تورونتو، استفاده شدند (شکل (۶)). لازم به ذکر می‌باشد همراه با دقت کلی، در ارزیابی نتایج سیستم، خطای حذف^۱ نیز یک فاکتور مهم می‌باشد؛ چرا که هر الگوریتم با یک میزان دقت

^۱ omission error

باندهای تصویری این جدایی دیده شد. برای تمایز رده راه و ساختمان از یکدیگر و از پوشش گیاهی، شاخص‌های توسعه داده شده توسط تیم تحقیقاتی استفاده گردید. جدول (۳)، پارامترهای ارزیابی دقت برای نتایج تفکیک کلاس راه و ساختمان از سایر عوارض در داده اصفهان و تورونتو را نشان می‌دهد.

قطعه‌بندی مبتنی بر تنها داده‌های تصویری برای استخراج این دو رده و بدست آمدن اشیا غیر منطقی از عوارض این دو رده می‌باشد (بخش (۴-۴)). البته یک جدایی با مقدار بسیار کم بین دو رده راه و ساختمان در داده منطقه اصفهان دیده شد که این مقدار جدایی، فاقد نقطه اوج خاصی بود و به صورت یکنواخت بین



شکل ۶: (الف) داده طیفی مربوط به منطقه اصفهان، (ب) ماسک باینری داده طیفی رده‌بندی شده پوشش گیاهی توسط شاخص پیشنه‌ادی پنجم (بیکسل‌های سفید بیانگر رده پوشش گیاهی در برابر بیکسل‌های سیاه به عنوان اطلاعات پس‌زمینه (غیرپوشش گیاهی))؛ (ج) داده طیفی مربوط به منطقه تورونتو، (د) ماسک باینری داده طیفی رده‌بندی شده پوشش گیاهی توسط شاخص پیشنه‌ادی چهارم.

جدول ۲: دقت نتایج رده‌بندی بمنظور تفکیک رده پوشش گیاهی، در داده تصویری اصفهان و تورونتو، در دو حالت استفاده از شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق و در حالت استفاده از مقادیر بهنجار سازی شده باندهای تصویری

پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:	دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب گاپا	خطای حذف [۱]	مقادیر	
						بهنجار سازی شده باندهای تصویری	شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق
رده پوشش گیاهی	اصفهان = ۸۸٫۵۰٪	اصفهان = ۹۵٫۰۰٪	اصفهان = ۸۵٫۹۰٪	اصفهان = ۷۶٫۱۰٪	اصفهان = ۲۵٫۰۰٪	مقادیر بهنجار سازی شده باندهای تصویری	
	تورونتو = ۹۰٫۶۰٪	تورونتو = ۹۳٫۰۰٪	تورونتو = ۸۶٫۵۱٪	تورونتو = ۷۹٫۹۰٪	تورونتو = ۳۹٫۰۰٪		
شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق	اصفهان = ۹۵٫۴۰٪	اصفهان = ۹۶٫۰۰٪	اصفهان = ۹۵٫۷۰٪	اصفهان = ۹۰٫۳۰٪	اصفهان = ۰۹٫۰۰٪	مقادیر بهنجار سازی شده باندهای تصویری	
	تورونتو = ۹۴٫۱۰٪	تورونتو = ۹۴٫۰۰٪	تورونتو = ۹۴٫۱۰٪	تورونتو = ۸۰٫۷۰٪	تورونتو = ۱۷٫۰۰٪		

جدول ۳: دقت نتایج کلاس‌بندی تفکیک کلاس راه از سایر عوارض در داده تصویری اصفهان و تورونتو، در حالت استفاده از شاخص‌های توسعه داده شده توسط تیم تحقیقاتی

پارامترهای ارزیابی دقت کلاس‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای آمیختن
رده راه	شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق	اصفهان = ۴۰,۰۰٪ تورونتو = ۵۲,۰۰٪	اصفهان = ۸۰,۰۰٪ تورونتو = ۸۳,۰۰٪	اصفهان = ۷۵,۰۰٪ تورونتو = ۵۶,۰۵٪	اصفهان = ۱۹,۰۰٪ تورونتو = ۱۱,۲۸٪	اصفهان = ۸۴,۰۰٪ تورونتو = ۴۷,۰۰٪
	شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق	اصفهان = ۹۹,۶۰٪ تورونتو = ۸۸,۷۶٪	اصفهان = ۴۱,۶۰٪ تورونتو = ۵۲,۲۳٪	اصفهان = ۵۳,۸۰٪ تورونتو = ۵۹,۸۰٪	اصفهان = ۲۱,۶۰٪ تورونتو = ۲۴,۳۲٪	اصفهان = ۰,۱۰٪ تورونتو = ۱۱,۰۰٪

۷ رده‌بندی

روندی قانونمند (آموزش سیستم برای استفاده از شاخص‌ها) از سایر عوارض متمایز و کلاسه‌بندی می‌شوند. در این فرآیند، بهترین حد آستانه برای شاخص‌ها، با استفاده از روش سعی و خطا انتخاب شدند تا دقت رده‌بندی، حداکثر شود. تصاویر رده‌بندی شده پوشش گیاهی در اصفهان و تورونتو، به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.

تفاوت اساسی بین قطعه‌بندی و رده‌بندی، در نظر گرفتن همسایگی پیکسل‌ها در فضای هندسی، علاوه بر ویژگی‌های داده‌های تصویری توسط الگوریتم قطعه‌بندی می‌باشد که باعث قدرتمند شدن قطعه‌بندی می‌باشد؛ اما در رده‌بندی، تنها یک فضای تصویری وجود دارد و هیچگونه دیدی نسبت به پیکسل‌های همسایه وجود ندارد. برای حل این مشکل در رده‌بندی به روش سلسله‌مراتبی، اشیای مورد نظر در هر سطح با



شکل ۷: (الف) داده تصویری اصفهان، (ب) تصویر رده‌بندی شده پوشش گیاهی بر اساس ترکیب شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق



شکل ۸: (الف) داده تصویری تورونتو، (ب) تصویر رده‌بندی شده پوشش گیاهی بر اساس ترکیب شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق

۹) تعیین پارامترهای قطعه‌بندی بر اساس تلفیق داده‌های تصویری و داده‌های ارتفاعی لیدار در این تحقیق برای حصول نتایج مناسب در قطعه‌بندی بمنظور رده‌بندی راه و ساختمان، پتانسیل اطلاعات ارتفاعی در کنار داده‌های تصویری در فرآیند قطعه‌بندی مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور، پیکسل‌های با ویژگی‌های تصویری و ارتفاعی مشابه، ادغام شدند. در این مرحله نیز، بر طبق ساختار سلسله‌مراتبی، قطعه‌بندی در هر سطح، برای شناسایی رده مورد نظر، انجام شد. بدلیل مشاهده مقادیر بسیار متفاوت انحراف معیار در مرزهای رده راه و ساختمان، در لایه رستری شده بازگشت اول فاصله، سهم زیادی برای پارامتر وزن این لایه در نظر گرفته شد. رفتار مشابه، در لایه $nDSM$ و نیز لایه شیب، مشاهده شد. همچنین به علت تفاوت بالای مقادیر این لایه‌ها در دو رده راه و ساختمان، برای پارامتر وزن لایه‌های مذکور سهم بیشتری در نظر گرفته شد.

۱۰) تولید اشیای تصویری

شکل (۹)، نتایج قطعه‌بندی در دو سطح برای مجموعه داده اصفهان و تورونتو را نشان می‌دهد.

۱۱) بررسی دقت نتایج قطعه‌بندی

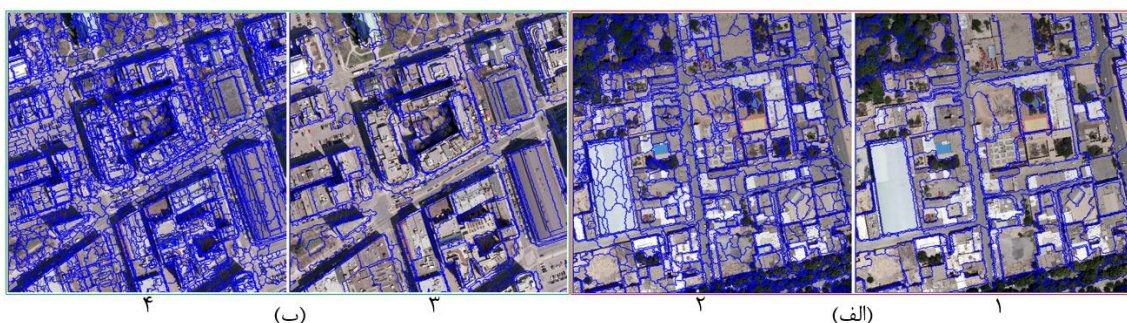
برای تحلیل داده گسسته لیدار در فضای تصویر، لازم است این داده به فضای پیوسته تبدیل شود. بررسی‌ها نشان داد لایه شیب برای پیوسته کردن این داده

۸) ارزیابی دقت رده‌بندی

درختان از نظر شکل و بافت ساختار بسیار پیچیده و نامنظمی دارند و علاوه بر سبز بودن، سایه‌روشن (تیرگی)هایی هم ایجاد می‌کنند. این موضوع باعث شد تا روش پیشنهادی بخش‌هایی از ساختمان‌ها یا عوارض دارای این‌گونه سایه‌روشن‌ها را به عنوان مناطق پوشش گیاهی شناسایی نماید. روش پیشنهادی در مواردی که سایه‌روشنی با الگوی سایه‌روشن‌های درختی وجود دارد، آنها را به عنوان درخت شناسایی کرده است (مصادر ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۸، ۲۰ و ۲۱ در شکل (۷) و موارد ۱-۲۰ در شکل (۸)). همچنین در مواردی که سایه‌روشن‌هایی همانند سایه‌روشن‌های ناشی از درختان وجود ندارد؛ ولی این مناطق جزء مناطق پوشش گیاهی می‌باشد، قادر به شناسایی نبوده است (مصادر ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۷ و ۱۹ در شکل (۷)). نتایج نشان داد دقت روش تحلیل شی مبنای روش حد آستانه‌گذاری برای رده پوشش گیاهی بر اساس اطلاعات تصویری؛ در داده‌های نمونه مربوط به اصفهان و تورونتو بسیار بالا است. این نتیجه رده‌بندی در مورد دو رده راه و ساختمان مشاهده نشد و رده‌بندی بر اساس تنها اطلاعات تصویری، به صورت مناسب صورت نگرفت.

ارتفاع مربوط به عوارض دو رده می‌باشد. در این تحقیق، از ویژگی اطلاعات لایه مذکور، برای تمایز این دو رده در روند رده‌بندی استفاده شد. در فرآیند رده‌بندی به وسیله تحلیل شی‌مبنا، بهترین حد آستانه (بر اساس نتایج تحلیل‌ها) برای لایه ارتفاعی ورودی انتخاب شد تا دقت رده‌بندی به میزان حداکثر برسد.

گسسته مناسب است. فرآیند قطعه‌بندی برای رده راه و ساختمان، بصورت مناسب، منطقی و منطبق بر خصوصیات دنیای واقعی صورت گرفته است (شکل (۹)).
۱۲) استخراج شاخص‌ها
 ویژگی میانگین لایه مدل رقومی سطح بهنجارسازی شده، برای تمایز دو رده راه و ساختمان به شدت مفید به نظر آمد؛ چرا که یکی از وجوه تمایز این دو رده،



شکل ۹: نتایج قطعه‌بندی؛ (۱) و (۳): نتیجه قطعه‌بندی برای رده ساختمان، (۲) و (۴): نتیجه قطعه‌بندی برای رده راه بر روی مجموعه نمونه داده تصویری (الف): اصفهان و (ب): تورونتو

برای داده اصفهان و تورونتو را نشان می‌دهد.
۱۴) رده‌بندی
 تصاویر رده‌بندی شده نهایی برای داده اصفهان و تورونتو در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

۱۳) انتخاب شاخص‌های مناسب بر اساس نتایج پس‌پردازش
 جدول (۴) و (۵)، پارامترهای ارزیابی دقت، برای نتایج رده‌بندی بر اساس اعمال شاخص‌های طیفی و شاخص ارتفاعی، به ترتیب برای رده راه و ساختمان

جدول ۴: دقت نتایج رده‌بندی تفکیک رده راه از سایر عوارض در داده تصویری اصفهان و تورونتو، در دو حالت استفاده از شاخص‌های رادیومتریکی توسعه داده شده در این تحقیق و همچنین در حالت استفاده از داده لیدار

پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای حذف
رده راه	شاخص‌های طیفی	اصفهان - ۴۰,۰۰٪	اصفهان - ۸۰,۰۰٪	اصفهان - ۷۵,۰۰٪	اصفهان - ۱۹,۰۰٪	اصفهان - ۸۴,۰۰٪
		تورونتو - ۵۲,۰۰٪	تورونتو - ۸۳,۰۰٪	تورونتو - ۵۶,۰۵٪	تورونتو - ۱۱,۲۸٪	تورونتو - ۴۷,۰۰٪
	شاخص ارتفاعی	اصفهان - ۹۸,۰۰٪	اصفهان - ۹۳,۰۰٪	اصفهان - ۹۷,۲۰٪	اصفهان - ۹۳,۲۲٪	اصفهان - ۰,۲۰٪
		تورونتو - ۹۲,۰۰٪	تورونتو - ۸۸,۰۰٪	تورونتو - ۸۵,۱۰٪	تورونتو - ۸۹,۷۰٪	تورونتو - ۰,۹۰٪

جدول ۵: دقت نتایج رده بندی تفکیک رده ساختمان از سایر عوارض در داده تصویری اصفهان و تورونتو، در دو حالت استفاده از شاخص های رادیومتریکی توسعه داده شده در این تحقیق و در حالت استفاده از لایه ارتفاعی

خطای حذف	ضریب گایا	دقت کلی	دقت کاربر	دقت تولید کننده	پارامترهای ارزیابی دقت رده بندی بر اساس:	
					شاخص های طبقی	شاخص ارتفاعی
اصفهان - ۰۱,۰۰٪	اصفهان - ۲۱,۴۰٪	اصفهان - ۵۲,۸۰٪	اصفهان - ۴۱,۶۰٪	اصفهان - ۹۹,۰۰٪	اصفهان - ۸۸,۷۶٪	رده ساختمان
تورونتو - ۱۱,۰۰٪	تورونتو - ۳۴,۳۲٪	تورونتو - ۵۹,۸۰٪	تورونتو - ۵۲,۲۳٪	تورونتو - ۹۷,۰۰٪	تورونتو - ۸۹,۹۰٪	
اصفهان - ۰۳,۰۰٪	اصفهان - ۹۴,۶۲٪	اصفهان - ۹۷,۶۰٪	اصفهان - ۹۹,۳۰٪	اصفهان - ۹۷,۰۰٪	اصفهان - ۹۷,۰۰٪	رده ساختمان
تورونتو - ۰۸,۰۰٪	تورونتو - ۸۵,۰۱٪	تورونتو - ۸۹,۲۰٪	تورونتو - ۹۱,۲۰٪	تورونتو - ۸۹,۹۰٪	تورونتو - ۸۹,۹۰٪	



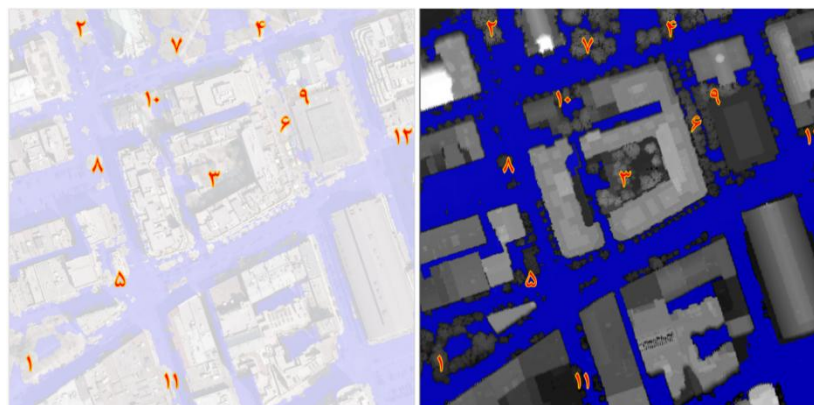
شکل ۱۰: نتایج رده بندی؛ (۱) و (۵): نتایج رده بندی رده راه بر اساس داده لیدار، (۲) و (۶): نتایج رده بندی رده راه بر اساس شاخص های توسعه داده شده، (۳) و (۷): نتایج رده بندی رده ساختمان بر اساس داده لیدار، (۴) و (۸): نتایج رده بندی رده ساختمان بر اساس شاخص های توسعه داده شده بر روی مجموعه نمونه داده تصویری (الف): اصفهان و (ب): تورونتو

که مبنای ارزیابی در این تحقیق، داده تصویری برداشت شده از منطقه بود. برای ارزیابی دقت نتایج رده بندی برای روش پیشنهادی، ماتریس خطا در هر سه سطح پوشش گیاهی، راه و ساختمان، بطور جداگانه برای داده تورونتو و اصفهان محاسبه شدند. جدول (۶)، پارامترهای ارزیابی دقت روش حد آستانه گذاری، برای داده اصفهان و تورونتو، بر اساس داده های تصویری و ارتفاعی را نشان می دهد. تصاویر رده بندی شده هر سه سطح نیز، در شکل (۱۲) و (۱۳)، به ترتیب برای داده اصفهان و تورونتو نشان داده شده است.

۱۵) ارزیابی دقت رده بندی

علت پایین بودن سطح دقت فرآیند شناسایی در مورد رده راه در داده تورونتو، اختلاف زمانی بین اخذ داده تصویری و داده لیدار از منطقه می باشد؛ چرا که داده تصویری در فصل زمستان اخذ گردیده و داده لیدار در فصل تابستان از محل برداشت گردیده است (شکل (۱۱)).

وجود اختلاف در داده ارتفاعی لیدار و داده تصویری (موارد ۱ الی ۱۲ از شکل (۱۱))؛ باعث وارد شدن خطا در نتایج فرآیند رده بندی در داده تورونتو گردید، چرا



(الف) (ب) راه

شکل ۱۱: داده تورونتو؛ تصویر رده‌بندی شده راه با استفاده از اطلاعات دو منبع داده، نمایش داده شده روی: (الف) داده طیفی و (ب) بازگشت اول لیدار

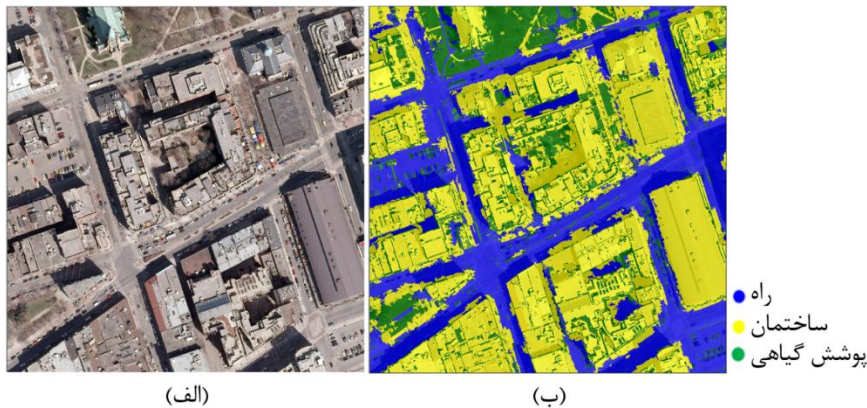
جدول ۶: دقت نتایج رده‌بندی نهایی

خطای حذف	ضریب کاپا	دقت کلی	دقت کاربر	دقت تولید کننده	پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:	
					رده پوشش گیاهی	رده نهایی
اصفهان - ۰۷,۰۰٪ تورونتو - ۱۱,۰۰٪	اصفهان - ۹۶,۳۰٪ تورونتو - ۷۶,۹۰٪	اصفهان - ۹۹,۴۸٪ تورونتو - ۹۷,۶۰٪	اصفهان - ۹۹,۰۰٪ تورونتو - ۹۴,۰۰٪	اصفهان - ۹۹,۹۰٪ تورونتو - ۹۸,۷۴٪	رده پوشش گیاهی	رده‌بندی نهایی
اصفهان - ۰۲,۰۰٪ تورونتو - ۰۹,۰۰٪	اصفهان - ۹۳,۲۲٪ تورونتو - ۸۹,۷۰٪	اصفهان - ۹۷,۲۰٪ تورونتو - ۸۵,۱۰٪	اصفهان - ۹۳,۰۰٪ تورونتو - ۸۸,۰۰٪	اصفهان - ۹۸,۰۰٪ تورونتو - ۹۲,۰۰٪	رده راه	
اصفهان - ۰۳,۰۰٪ تورونتو - ۰۸,۰۰٪	اصفهان - ۹۴,۶۲٪ تورونتو - ۸۵,۰۱٪	اصفهان - ۹۷,۶۰٪ تورونتو - ۸۹,۲۰٪	اصفهان - ۹۹,۳۰٪ تورونتو - ۹۱,۲۰٪	اصفهان - ۹۷,۰۰٪ تورونتو - ۸۹,۹۰٪	رده ساختمان	



(الف) (ب)

شکل ۱۲: (الف) داده طیفی اصفهان، (ب) تصویر رده‌بندی شده نهایی داده اصفهان



شکل ۱۳: (الف) داده طیفی تورونتو، (ب) تصویر رده‌بندی شده نهایی داده تورونتو

بدست آمده بر اساس سه پارامتر ارزیابی دقت جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت [۷] (با استفاده از دو روش سنجش بر اساس پیکسل و سنجش بر اساس عارضه [۷]) پرداخته شد (جدول (۷)).

همچنین به منظور مقایسه دقت نتایج شناسایی عوارض توسط روش پیشنهادی با دقت‌های مربوط به نتایج شناسایی عارضه بر اساس روش‌های موجود (روی داده یکسان، که مربوط به ناحیه چهارم از مجموعه نواحی تست منطقه تورونتو می‌باشد)، به بررسی دقت‌های

جدول ۷: مقایسه دقت شناسایی عوارض بر اساس روش پیشنهادی و روش‌های قبلی در منطقه تورونتو

سنجش بر اساس عارضه			سنجش بر اساس پیکسل			روش‌ها
کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	
٪ ۸۶٫۸۰	٪ ۹۵٫۸۰	٪ ۹۰٫۴۰	٪ ۸۶٫۵۰	٪ ۹۱٫۳۰	٪ ۹۴٫۳۰	(ISPRS, [۷]2013)
٪ ۸۶٫۰۰	٪ ۸۶٫۸۰	٪ ۹۸٫۷۰	٪ ۸۸٫۷۰	٪ ۹۲٫۱۰	٪ ۹۶٫۱۰	Mongus et al, [۷]2013
٪ ۸۴٫۸۰	٪ ۹۱٫۹۰	٪ ۹۱٫۳۰	٪ ۸۸٫۹۰	٪ ۹۴٫۳۰	٪ ۹۴٫۰۰	Mongus et al, [۷]2014
٪ ۹۶٫۶۰	٪ ۹۸٫۲۰	٪ ۹۸٫۳۰	٪ ۸۷٫۸۰	٪ ۹۰٫۶۰	٪ ۹۶٫۶۰	(Bulatov et al, [۷]2014)
٪ ۷۷٫۰۰	٪ ۹۰٫۳۰	٪ ۸۳٫۹۰	٪ ۷۰٫۶۰	٪ ۸۰٫۶۰	٪ ۸۵٫۱۰	(Wei et al, [۷]2012)
٪ ۳۸٫۵۰	٪ ۴۳٫۵۰	٪ ۷۹٫۶۰	٪ ۷۱٫۷۰	٪ ۹۴٫۵۰	٪ ۷۵٫۰۰	Gerke and [۷]Xiao, 2014
٪ ۲۱٫۰۰	٪ ۲۱٫۷۰	٪ ۸۶٫۵۰	٪ ۶۸٫۹۰	٪ ۸۷٫۵۰	٪ ۷۶٫۹۰	(Gerke and [۷]Xiao, 2014)
٪ ۹۵٫۷۰	٪ ۹۰٫۱۰	٪ ۹۱٫۶۰	٪ ۸۶٫۵۰	٪ ۹۱٫۲۰	٪ ۸۹٫۹۰	روش پیشنهاد شده

عوارضی باشد که ذاتاً متصل به همدیگر، هم ارتفاع و مشابه با همدیگر باشند که در این رده‌های کلان قرار گرفته‌اند. اما نکته مهم این است که با قرار دادن بخشی

با توجه به اینکه در این تحقیق هر سه رده پوشش گیاهی، راه و ساختمان به صورت رده‌های کلان از همدیگر تفکیک گردیده است، هر رده می‌تواند شامل

از قیدهای هندسی و منطقی به عنوان مثال: مساحت قطعات، کشیدگی قطعات، محصور شدن آن بین رده‌های دیگر و مجاورت با رده‌های خاص؛ می‌توان این زیر رده‌ها را از رده کلان جدا کرد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق، یک روش جدید شناسایی عارضه بر اساس تلفیق تصاویر مرئی و داده‌های ارتفاعی لیدار به صورت نیمه خودکار پیشنهاد گردید. در این روش، شناسایی عارضه با استفاده از تحلیل شی‌مبنا انجام می‌گیرد. در این تحقیق، دو روش جدید بمنظور افزایش سطح دقت و سطح خودکارسازی فرآیند شناسایی، پیشنهاد و به اجرا رسیده است. نوآوری اول، ارائه روشی جدید برای تلفیق دو منبع داده، بمنظور انجام فرآیند شناسایی با محوریت حفظ استقلال بین داده‌های تصویری و ارتفاعی لیدار، طی دو گام متوالی می‌باشد. در روش پیشنهادی، با مبنا قرار دادن داده‌های تصویری، روند شناسایی عوارض آغاز می‌شود. در گام دوم نیز، برای شناسایی مناطقی که شناسایی به درستی تحقق نیافته است، داده‌های ارتفاعی لیدار، مورد استفاده قرار گرفت. نوآوری دیگر از این تحقیق؛ ارائه روشی جدید، بمنظور شناسایی مناطق پوشش گیاهی می‌باشد. از ویژگی‌های این روش، عدم نیاز به باند مادون قرمز در داده‌های تصویری و همچنین عدم نیاز به اطلاعات شدت لیزر بازگشتی لیدار می‌باشد. روش جدید پیشنهاد شده، توسعه شاخص‌هایی جدید برای شناسایی پوشش گیاهی با محوریت استفاده از داده‌های سه باند مرئی قرمز، سبز و آبی می‌باشد. روش پیشنهادی به داده‌های متعدد در دسترس، اعمال و نتایج، بررسی و تأیید شدند که در این مقاله نتایج شناسایی در دو نمونه از داده‌های در دسترس تشریح شده است. روش پیشنهاد شده و شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق، کم‌ترین وابستگی را به نوع و منطقه تصویربرداری دارد و در مورد هر داده تصویری ورودی، شامل باندهای مرئی قرمز، سبز و آبی به همراه داده لیدار، که هر دو داده دارای قدرت تفکیک مکانی

بالا باشند، عوارض را با دقت قابل قبولی شناسایی می‌کند. تنها مقدار حد آستانه‌ها وابسته به داده تصویری بوده و ممکن است از یک تصویر به تصویر دیگر، تغییر پیدا کند که البته این میزان تغییر حد آستانه، بسیار ناچیز می‌باشد؛ بنابراین استفاده از میانگین این حد آستانه‌ها، علی‌رغم اینکه ممکن است در مورد همه داده‌های تصویری ورودی بهینه نباشد، ولی به صورت کلی مفید بوده و برای قسمت عمده‌ای از داده‌های تصویری مختلف کارآمد می‌باشد. در مورد داده‌های نمونه تصویری متعدد در دسترس از ایران، با وجود اینکه حد آستانه‌ها با سعی و خطا به صورت بهینه تعیین شدند، ولی میزان تغییرات این حد آستانه‌ها بسیار ناچیز بود، حتی در مورد دو داده تصویری تورونتو با داده تصویری ایران، که اصولاً باید تفاوت بسیاری در مقادیر حدود آستانه مشاهده می‌شد، ولی با انجام سعی و خطا به منظور تعیین مقادیر بهینه حدود آستانه، تغییرات بسیار ناچیزی در این مقادیر مشاهده شد. نتایج تحقیق نشان داد که روش پیشنهادی می‌تواند عوارض شهری (شامل پوشش گیاهی، راه و ساختمان)، با اشکال مختلف را به صورت موفقیت‌آمیز شناسایی نماید. ارزیابی نتایج نشان داد دقت کلی روش پیشنهادی به طور متوسط، در مورد رده پوشش گیاهی ۹۸٪ است؛ ضریب کاپا، دقت تولیدکننده و دقت کاربر نیز به طور متوسط برای این رده، به ترتیب برابر ۸۶٪، ۹۹٪ و ۹۶٪ می‌باشد؛ همچنین دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپای روش پیشنهادی به طور متوسط برای شناسایی رده ساختمان، به ترتیب برابر ۹۳٪، ۹۵٪ و ۹۰٪ و برای شناسایی رده راه نیز به ترتیب برابر ۹۵٪، ۹۱٪ و ۹۱٪ می‌باشد. لازم به ذکر است روش پیشنهادی در برخورد با موارد وجود اختلاف زمانی در اخذ داده‌های تصویری و لیدار، ضعیف عمل می‌نماید و در مورد داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر به نتایج دقیق‌تری می‌رسد؛ اگرچه که بر روی داده‌هایی با قدرت تفکیک پایین‌تر نیز قابل اجرا می‌باشد. با توجه به اینکه

روشی برای تعیین حد آستانه به صورت اتوماتیک بر اساس روش های بهینه سازی، برای پژوهش های آینده پیشنهاد می شود.

در تصویربرداری از مناطق مختلف و در شرایط تصویربرداری متفاوت، حد آستانه های تصمیم گیری براساس پارامترهای تصویر تغییر پیدا می کند؛ توسعه

مراجع

- [1] Anand, Anupam, (2017), "UNIT 14 ACCURACY ASSESSMENT".
- [2] Awrangjeb, M., Ravanbakhsh, M., Fraser, C.S., "Automatic detection of residential buildings using LiDAR data and multispectral imagery", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65 (2010) 457 - 467.
- [3] Dragut, L., Csillik, O., Eisank, C., & Tiede, D., "Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (2014) 88, 119-127.
- [4] Dragut, L., Tiede, D., & Levick, S. R., "ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data", *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 6, June 2010, 859-871.
- [5] Martha, T. R., Kerle, N., van Westen, C. J., Jetten, V., & Kumar, K. V., "Segment optimization and data-driven thresholding for knowledge-based landslide detection by object-based image analysis", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(12) (2011), 4928-4943.
- [6] Polat, N., Uysal, M., Toprak, A.S., "An investigation of DEM generation process based on LiDAR data filtering, decimation, and interpolation methods for an urban area", *Measurement* 75 (2015) 50 - 56.
- [7] Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., Wegner, J., Breitkopf, U. and Jung, J., "Results of the ISPRS benchmark on urban object detection and 3D building reconstruction", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 93 (2014) 256 - 271.
- [8] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. and Kubik, K., "Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LiDAR data and multi-spectral images for building detection", *Information fusion* 6.4 (2005): 283-300.
- [9] Sohn, G. and Dowman, I., "Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 62 (2007) 43 - 63.
- [10] Stow, D., Lopez, A., Lippitt, C., Hinton, S., and Weeks, J., "Object-based classification of residential land use within Accra, Ghana based on QuickBird satellite data", *International journal of remote sensing*, Vol. 28, No. 22, 20 November 2007, 5167-5173.
- [11] Zarea, A., and Mohammadzadeh, A., "A novel building and tree detection method from LiDAR data and aerial images", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, (2016), 9(5), 1864-1875.



Integration of Visible Image and LIDAR Altimetric Data for Semi-Automatic Detection and Measuring the Boundari of Features

Masoud Azad ^{1*}, Farshid Farnood Ahmadi ²

1- Master of science of geodesy in Department of Geomatics, College of Geodesy and Geomatics Engineering, University of Tabriz

2- Associate professor in Department of Geomatics, College of Geodesy and Geomatics Engineering, University of Tabriz

Abstract

This paper presents a new method for detecting the features using LiDAR data and visible images. The proposed features detection algorithm has the lowest dependency on region and the type of sensor used for imaging, and about any input LiDAR and image data, including visible bands (red, green and blue) with high spatial resolution, identify features with acceptable accuracy. In the proposed approach, detecting the features by using the object-based analysis theory as the main approach has been performed. Also two different approaches and innovations in order to increase “Level of Automation” (LoA) and level of accuracy and precision in detecting process have been proposed and performed. The first approach uses visible and LiDAR data independently in order to resolve the problem of high-dependencies between data in the existing algorithms. The second proposed method has been suggested in order to the detection of vegetation regions. Among the characteristics of this method it can be mentioned that there is no need to use the infrared band in the image data and also there is no need to intensify information of the laser returns. By assessing the results of available data classification, the determined overall accuracy of the proposed method on average, about vegetation regions is 98 % which shows the highest value compared with other features. The proposed method about other features also achieves acceptable accuracy.

Key words: Measuring the boundary of features, LiDAR, Visible images.