نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۸
Vol.7, No.4, Winter 2020
۱۱۵ -۱۳۷
مقاله پژوهشی

تلفیق تصاویر مرئی و داده‌های ارتفاعی لیدار به‌منظور شناسایی نیمه‌خودکار 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 به‌منظور افزایش سطح دقت و خودکارسازی فرایند شناسایی، پیشنهاد و به اجرا رسیده است. اولین راهکار، استفاده مستقل از داده‌های تصویری و لیدار به‌منظور رفع مشکل وابستگی زیاد بین داده‌ها در الگوریتم‌های موجود می‌باشد. راهکار دوم در این تحقیق، ارائه روشی نوین به‌منظور 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.

کلید واژه‌ها : 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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. به‌دلیل 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 تابه‌حال شناسایی عوارض به‌صورت هوشمند، با موفقیت صددرصدی تحقق نیافته است [۷]. یکی از رویکردهای رایج به‌منظور استخراج عوارض، تلفیق و استفاده همزمان از منابع مختلف داده به‌منظور 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. صرف‌نظر از اختلاف ماهیتی سامانه‌های اخذ داده لیدار در مقایسه با سنجنده‌های طیفی؛ ازنقطه‌نظر 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، به‌صورت طبیعی ویژگی‌های مکمل‌کننده همدیگر را دارا می‌باشند [۲]، اما هنوز این سؤال که چگونه آنها را به‌منظور 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 به‌منظور 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 به‌منظور تولید مدل رقومی ارتفاعی مناسب برای تحلیل ویژگی‌های زمینی بر مبنای مجموعه داده ورودی لیدار با سطح تراکم متوسط در منطقه شهری استانبول

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

ترکیه انجام دادند و تأثیر عوامل مختلف در صحت مدل نهایی ایجاد شده نظیر: تنـوع توپـوگرافی، تـراکم نقـاط نمونه‌برداری شده، روش‌های درونیابی، و قدرت تفکیـک مکانی را بررسی و مـورد تحقیـق قـرار دادنـد [۶]. آنهـا 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 بـا مـدل رقـومی ارتفـاع مرجـع، قابلیـت روش‌های مختلف را مورد بررسی قرار دادنـد. همچنـین آنها تکنیک‌های مختلف درونیابی کریجینگ (*K*)، فاصله معکوس وزنی (*IDW*)، نزدیک ترین همسـایگی (*NN*) و روش اسـتفاده از ابـزار *Topo to Raster* را بـه‌منظـور انتخاب بهترین الگـوریتم درونیـابی بـرای تولیـد مـدل رقومی ارتفاعی، اعمال کرده و نحـوه اثرگـذاری آنهـا در صحت نهایی مدل را بررسی نمودند. همچنین آنها برای پردازش داده لیدار برای تولید مدل رقومی ارتفـاعی، دو روند ذیل را اجـرا و نتـایج را بـرای انتخـاب یـک رونـد مناسب مورد بررسی قرار دادند. در روش اول، به ترتیب مراحل فیلتر کردن داده لیدار، کاهش دادن داده (بـرای در اختیار گـرفتن مقـادیر کمتـر از ابـرنقـاط لیـدار)، و درونیـابی را اجـرا کردنـد و در روش دوم، بـه ترتیـب مراحـل کـاهش دادن داده، فیلتـر کـردن داده لیـدار و درونیابی را اجرا نمودند. آنها الگوریتم‌های مختلف برای فیلتر کردن داده لیـدار را نیـز اجـرا و نتـایج را بـا هـم مقایسه نمودند. همچنین آنهـا هـر دو رونـد را بـا پـنج مقدار مختلف حاصل از عملیات کـاهش دادن داده و بـا روش‌هـای مختلـف درونیـابی اجـرا و نتـایج را مقایسـه نمودند. نتایج نشان داد، با در نظر گرفتن هـر دوی ایـن روش‌ها، روش درونیابی *NN* نسبت بـه سـایر روش‌هـای درونیابی، با در نظر گرفتن تمامی پـنج مقـدار مختلـف کاهش داده، دارای نتایج صحیح‌تری مـی‌باشـد. سـون و دومـان، روشـی بـرای اسـتخراج دوبعـدی سـاختمان به‌صورت خودکار با ادغام تصاویر چندطیفی آیکونوس و داده لیدار هوایی، در یک منطقـه شـهری ارائـه نمودنـد [۹]. در ابتدا، در فضای سه‌بعدی ابرنقـاط لیـدار، نقـاط مربوط به رده ساختمان را بر اساس ویژگی ارتفاع نقـاط لیدار و شاخص گیاهی به‌هنجارسازی شده بدست آمـده از باندهای تصاویر چندطیفی، شناسایی نمودند و سپس خطوط مستقیم از این نقاط را بدست آوردند. آنها یـک عملکرد داده‌مبنا بر روی تصاویر طیفی و یـک عملکـرد مدل‌مبنا روی ابرنقاط لیدار، با هدف جبران نقاط ضـعف هر یک از این مدل‌ها، برای استخراج خطوط سـاختمان بکار گرفتند تا با ادغام پلی‌گون‌های بدست آمـده از هـر مدل، توصیف ساختمان‌ها بصورت کامـل‌تـر و دقیـق‌تـر صورت گیرد. آنها برای توصـیف سـاختمان‌هـا بصـورت پلی‌گون‌های مجزا، در الگوریتم پیشـنهادی خـود، ابتـدا 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 غیرمـرزی را از رونـد پردازش‌های بعدی خارج نمودنـد. در گـام بعـدی یـک مدل مستطیلی بـه هـر یـک از خطـوط مـرزی بـرازش دادنـد، بـا شـرط آنکـه مسـتطیل بـرازش داده شـده کوچکترین مستطیلی باشـد کـه دارای بیشـترین نقـاط سـاختمانی باشـد. آنهـا سـه ضـلع ایجـاد شـده توسـط مستطیل را به‌عنوان خطوط مدل‌مبنا در نظر گرفتنـد و در پردازش‌های بعدی، پلی‌گون‌های مرزی هر ساختمان را بصـورت مجـزّا بـه کمـک خطـوط مـرزی و خطـوط مدل‌مبنا بدست آوردند. آنها برای ارزیابی نتایج الگوریتم پیشنهادی خود در مقایسه با مجموعه مرجع تهیه شده از طریـق روش نقشـه‌بـرداری مسـتقیم، از معیـارهـای ارزیابی شی‌مبنا بهره بردنـد کـه نتـایج ارزیـابی، میـزان کامل بودن کار آنها را برابر ۸۸٫۳ درصد، میـزان صـحت را برابر ۹۰٫۱ درصد و کیفیـت سراسـری نتـایج بدسـت آمده را برابر ۸۰٫۵۰ درصد نشـان داد. علـت کـم بـودن میزان دقت کلی نتایج آنها را می‌توان در تراکم کم نقاط داده لیدار مورد استفاده دانست. شناسایی سـاختمان بـا استفاده از این روش، پیچیدگی صحنه را کاهش می‌دهد و در نتیجه، پروسه شناسایی و توصیف راحت‌تـر انجـام می‌گیرد؛ زیرا الگوریتم طراحـی شـده آنهـا از تغییـرات

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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، به‌عنوان 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، به‌صورت 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 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 به‌منظور 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.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

بررسـی تحقیقـات گذشـته نشـان داد اسـتفاده از بانـد مـادون قرمـز در کنـار سـایر باندهای مرئـی، احتمـال مشابهت میان سایه‌های موجـود در تصـویر بـا درختـان واقعی را افزایش می‌دهد که به‌عنوان یکـی از مشـکلات عمده در تحقیقات ذکر شده اسـت. از طرفـی وابسـتگی به حضور سنجنده‌ای در باند مادون قرمز، سبب می‌شود استفاده از تصاویر مرئـی بـه تنهـایی کـارایی خـود را از دست دهد؛ لذا توسعه روشی که بتواند تنها بـا اسـتفاده از تصاویر مرئی به شناسایی و استخراج عوارض بپردازد، از ارزش بالایی برخـوردار اسـت کـه هـدف اصـلی ایـن تحقیق است. همچنین از بررسی آثار انجام شده، وجـود نقطـه ضـعف الگـوریتم‌هـای پیشـنهاد شـده در مـورد شناسایی عوارضی که هم از نظر الگوی سه‌بعدی بدست آمده از داده‌های لیدار و هـم از نظـر الگـوی دوبعـدی و خصوصـیات رادیـومتریکی بدسـت آمـده از داده‌هـای تصویری، دارای ویژگی‌های یکسـان مـی‌باشـند، معلـوم گردید. در این تحقیق سعی شده اسـت قـدرت تحلیـل 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 بـا اخـتلاف در نوع سازه‌ها و پوشش گیـاهی، دو نمونـه از مجموعـه داده‌هـای در دسـترس، شـامل داده شـهر اصـفهان و مجموعه داده تورونتو از کشور کانادا که توسـط جامعـه بین المللـی فتـوگرامتری و سـنجش از دور[۱] در اختیـار مـؤلفین قـرار گرفتـه اسـت، انتخـاب و نتـایج اعمـال الگوریتم پیشنهادی روی آنهـا نشـان داده شـده اسـت. مجموعـه داده مربـوط بـه منطقـه اصـفهان، دارای ساختمان‌های متنوع از نظر مساحت و در دو نوع سـقف گنبدی و مسطح می‌باشـد. ایـن مجموعـه داده، شـامل بخشی از یک تصـویر مـاهواره‌ای، و داده لیـدار متنـاظر می‌باشد. تصویر ماهواره‌ای پن‌شارپ شده رنگی، مربـوط به سنجنده *QB*، دارای سه بانـد قرمـز، سـبز و آبـی، بـا قـدرت تفکیـک مکـانی ۰/۱ متـر مـی‌باشـد. ایـن داده تصویری، در ۱۲ ژانویـه ۲۰۱۱ از منطقـه معرفـی شـده اخذ شده است. همچنین خطـای جابجـایی ارتفـاعی از تصویر حذف شده است. داده‌های لیـدار هـوایی نیـز در ۱۵ ژوئن ۲۰۱۴، با حـداکثر سـه بازگشـت و بـا قـدرت تفکیک تقریبی معادل ۲ نقطه در متر مربع جمـع‌آوری شده است. این داده‌ها که در قالب ابرنقـاط نـامنظم بـه فرمت *ALS*[۲] ارائه شـده‌انـد حـاوی اطلاعـاتی از قبیـل: بازگشت اولیه، ثانویه، بازگشت چندگانه، و مختصات *(X, Y, Z)* برای هر نقطه است. نزدیک به چهار سال اختلاف زمانی میان اخذ تصویر ماهواره‌ای بـا داده لیـدار وجـود داشته و به همـین دلیـل، رخ‌نمـون بخشـی از منـاطق، بواسطه توسعه شـهری دسـتخوش تغییـر شـده اسـت. مجموعه داده نمونه بعدی، مربـوط بـه منطقـه شـهری تورونتو از کشور کانـادا مـی‌باشـد. ایـن ناحیـه، توسـط ساختمان‌های مرتفـع و بـا اخـتلاف ارتفـاعی بـالا و بـا سـاختارهای سـقفی متنـوع احاطـه شـده اسـت. ایـن مجموعه داده نیز، شـامل بخشـی از یـک تصـویر مرئـی هوایی، و داده لیدار متناظر می‌باشد که خطای جابجایی از تصویر نیز حذف شـده اسـت. داده تصـویری هـوایی، توسط شـرکت *FBS* [۳] توسـط سـنجنده *UCD* [۴]، دارای سه باند قرمز، سبز و آبی، با قدرت تفکیک مکـانی ۰/۱۵ متر و قدرت تفکیک رادیـومتریکی ۸ بیتـی تهیـه شـده اسـت. مجموعـه بلـوک تصـویری، شـامل سـه نـوار تصویربرداری است. منطقه مورد نظر در چهار تصـویر و دو نوار پـروازی قابـل شناسـایی اسـت. داده‌هـای لیـدار هوایی نیز، در ۶ نوار اسـکن هـوایی، مربـوط بـه همـان

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

[۲] *Aerial Lidar Scanning*

[۳] *First Base Solutions*

[۴] *UltraCam-D (UCD) camera*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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 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)).

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

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.

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

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 درونیابی 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 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، درونیابی مبتنی بر روش درونیابی 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*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

که قدرت تفکیک مکـانی واقعـی مربـوط بـه لایـه‌هـای رستری حاصـل از داده‌هـای لیـدار؛ در بهتـرین حالـت، بسـیار کـوچکتر از قـدرت تفکیـک مکـانی داده‌هـای تصویری بود و عملیات تفکیک پیکسل‌ها به ابعـاد ۱۰ و ۱۵ سانتیمتر (پیکسل‌سایز داده‌های تصویری)، تنهـا بـه صورت صوری و برای همگون‌سازی با داده‌های تصویری برای پردازش‌های آتی بود. لایه‌های شیب لیـدار نیـز از بازگشت اول فاصله تهیه شدند. برای این‌کار ابتدا نقـاط لیدار در فضای سه‌بعدی مثلث‌بندی شدند. ایـن شـبکه، بر طبق روش مثلـث‌بنـدی دلـونی[1] تولیـد گردیـد. ایـن لایه‌های تولید شده نیز، با ابعاد پیکسـل‌سـایز ۱۰ و ۱۵ سانتیمتری رستری شدند. برای تولیـد ماسـک اولیـه از عوارض به لایه مدل رقـومی سـطح بهنجارسـازی شـده نیاز بود. برای این منظـور ابتـدا بـرای جداسـازی نقـاط زمینی و غیرزمینی داده‌های لیدار، نقاط بازگشـت آخـر فاصـله بـا روش الگـوریتم ارتقاءیافتـه *MGF* [2] [۱۱] بـا مقدار حد آستانه شیب ۶۰ ٪ فیلتر شدند. لازم بـه ذکـر می‌باشد پولات و همکاران، یـک بررسـی بـرای انتخـاب بهترین الگـوریتم درونیـابی و فیلترینـگ داده لیـدار در منطقه شهری ارائـه و پـس از مشـخص شـدن بهتـرین الگوریتم‌ها، داده لیدار را در چند نرخ کاهش داده و هـر بار با اعمال الگوریتم‌هـای منتخـب، نتـایج را بررسـی و تحلیل نمودند [۶]. بررسی آنها نشان داد دقت و صحت نتایج، مستقیماً و بـه میـزان زیـاد تحـت تـأثیر قـدرت تفکیک مکانی داده لیدار می‌باشد و کم‌تـر تحـت تـأثیر اعمـال انـواع روش‌هـای درونیـابی و الگـوریتم‌هـای فیلترینگ می‌باشـد. در ادامـه، بـرای تولیـد لایـه مـدل رقـومی زمـین، نقـاط خروجـی الگـوریتم بـه روش انترپولاسیون خطی درونیابی و با ابعاد پیکسل‌سایز مورد نظر رستری شدند. لایه مدل رقومی سطح بهنجارسازی شده طبق رابطه (۳) تهیه شد.

رابطه (۳) $$nDSM = First\ DSM - DTM$$

هم‌مرجع سازی داده لیدار و تصویر مرئـی بـرای ایجـاد ارتباط بین آنها، پیش‌پردازش دیگر برای ادغـام داده در روش پیشنهادی است. هم‌مرجع کردن با در نظر گرفتن لایه‌های رستری لیدار بدست آمده از منطقـه بـه‌عنـوان لایه مرجـع صـورت گرفـت. بـه ایـن ترتیـب داده‌هـای تصـویری بـا انتخـاب نقـاط گرهـی و اعمـال یـک چندجمله‌ای بـه سیسـتم مختصـات داده‌هـای مرجـع، منتقل شدند. *RMSE error* هم‌مرجع کـردن داده‌هـای منطقه اصفهان به ۰٫۸ پیکسل و در منطقه تورونتـو بـه ۱٫۰۵ پیکسل رسید.

۳- معرفی روش پیشنهادی

شکل(۱) چرخه‌کار روش پیشنهادی را ارائه می‌دهد.

در ایـن تحقیـق بـدلایل ذکـر شـده در بخـش مقدمـه، شناسایی عوارض با استفاده از آنالیز شـی‌مبنـا، بعنـوان رویکرد اصلی پیشنهاد و به اجرا رسیده است. در آنـالیز شی‌مبنا به جای تعریف توابع و منطق، از اشیای مستقل استفاده می‌شود که هر کدام از این اشیا، به عنوان یـک مدل داده‌ای، دارای خصوصیات منحصر به فرد می‌باشد. از آنجا که نمی‌توان برای هر پیکسل از تصویر، بـویژه در تصاویر با قدرت تفکیک مکـانی بـالا، بـه صـورت مجـزا خصوصیت منحصر به فرد تعریف کرد، برای مجموعه‌ای از پیکسل‌ها در همسایگی هم، خصوصـیت منحصـر بـه فرد تعریف می‌شـود. بـه عمـل تفکیـک و دسـته‌بنـدی مجموعه‌های پیکسلی بـا خصوصـیت متفـاوت از سـایر مجموعه‌های مجاور، قطعه‌بندی گفته می‌شود [۱۰]. در مرحله بعد، هر کـدام از ایـن قطعـه‌هـا، در صـورت دارا بودن رفتارهای مشابه با همدیگر ترکیب و قطعه بزرگتر را تشکیل می‌دهند. بر طبق مطالعات انجام شده معلـوم گردید پتانسیل روش‌های تحلیل شی‌مبنا، زمانی کـاملاً مورد استفاده قرار می‌گیرد که فرآیند قطعه‌بندی بعنوان اولین مرحله این روش، به درستی و با دقت بـالا انجـام گیرد. از این رو در این پژوهش سعی گردیـد یـک روش قطعه‌بندی مناسب برای دست یافتن به نتـایج مطلـوب انتخاب شود. برای این منظـور، الگـوریتم‌هـای متـداول

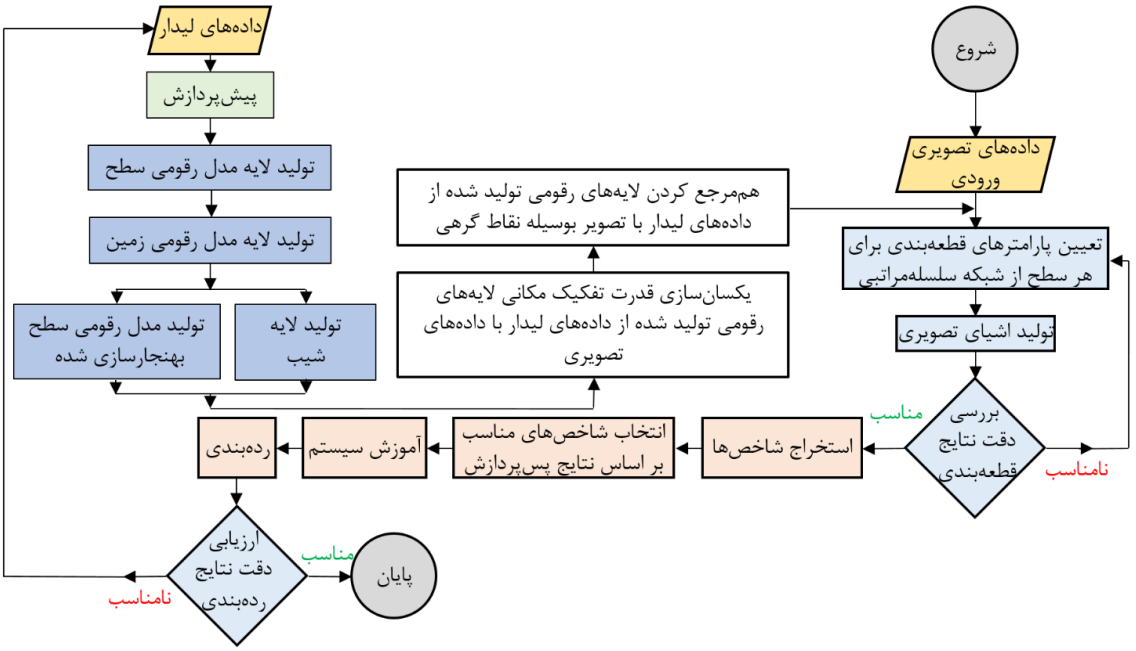
[1] *Delaunay*

[2] *Multi-directional Ground Filter*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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 [۱۰،۴]، 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 چندگانه، دارای نتایج قابل قبول‌تری در هر سه رده برای فرایند قطعه‌بندی می‌باشد. در این تحقیق؛ استخراج سه رده عوارض عمده شهری: پوشش گیاهی، راه و ساختمان، مدنظر قرار گرفته و روش رده‌بندی سلسله‌مراتبی با استفاده از روش حد آستانه گذاری انتخاب شده است.



شکل ۱: چرخه‌کار روش پیشنهادی برای شناسایی عوارض

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 نشانه هایی (الگو[۱] و ویژگی[۲]) که بصورت محلی قابل شناسایی می‌باشند شروع می‌شود، سپس از میان نشانه‌های استخراجی، نشانه‌های مربوط به عارضه مورد بررسی، مورد پردازش قرار گرفته و در گام نهایی عوارض مورد نظر و مرزهای آنها بازسازی می‌شوند. از بررسی پژوهش های 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

[۱] *pattern*

[۲] *feature*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

است که عبارتند از:

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

از بررسی آثار انجام شـده، وجـود وابسـتگی زیـاد بـین داده‌ها معلوم گردید؛ به این معنی که در صـورت وجـود خطا در داده تصویری، پس از ورود داده لیـدار در رونـد شناسایی، خطـای داده تصـویری حـذف نشـده و دقـت نتایج شناسایی را تحـت تـأثیر قـرار مـی‌دهـد. در ایـن تحقیق الگوریتمی جدید با محوریت حفظ استقلال بین داده‌های لیدار و داده‌های تصویری پیشنهاد و قدرت آن برای حل مشکل ناشـی از وابسـتگی زیـاد بـین داده‌هـا مورد بررسی قرار گرفته است. در الگـوریتم پیشـنهادی روند شناسایی با مبنا قرار دادن اطلاعـات اخـذ شـده از تصویر مرئی، آغاز و در گام دوم نیز، بـرای منـاطقی کـه شناسایی به درستی تحقـق نیافتـه، پتانسـیل داده‌هـای لیدار استفاده شده است.

۲) شناسایی مناطق پوشـش گیـاهی از تصـاویر مرئـی، بدون نیاز به وجود باند مادون قرمز

از بررسی آثار انجام شده معلوم گردیـد سـایر محققـان برای شناسایی عوارض مربوط به رده پوشش گیـاهی، از اطلاعـات بانـد مـادون قرمـز تصـاویر چنـدطیفی بهـره گرفته‌اند. در این تحقیق سعی شـده اسـت از داده‌هـای سه باند قرمز، سبز و آبی تصـاویر مرئـی، شـاخص‌هـایی استخراج و معرفی شوند تا توسط آنهـا منـاطق پوشـش گیاهی، بدون نیاز به باند مادون قرمـز تصـاویر طیفـی و اطلاعات شدت لیزر بازگشتی لیدار شناسایی شوند.

۴- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

در ادامه مقاله با توجه به شکل (۱)، گام‌های چرخه‌کـار پیشـنهادی روی داده‌هـای نمونـه اجـرا و نتـایج مـورد ارزیابی قرار گرفته شده است.

۱) داده‌های تصویری ورودی

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

۲) تعیین پارامترهای قطعه‌بندی برای هر سطح از شبکه سلسله‌مراتبی

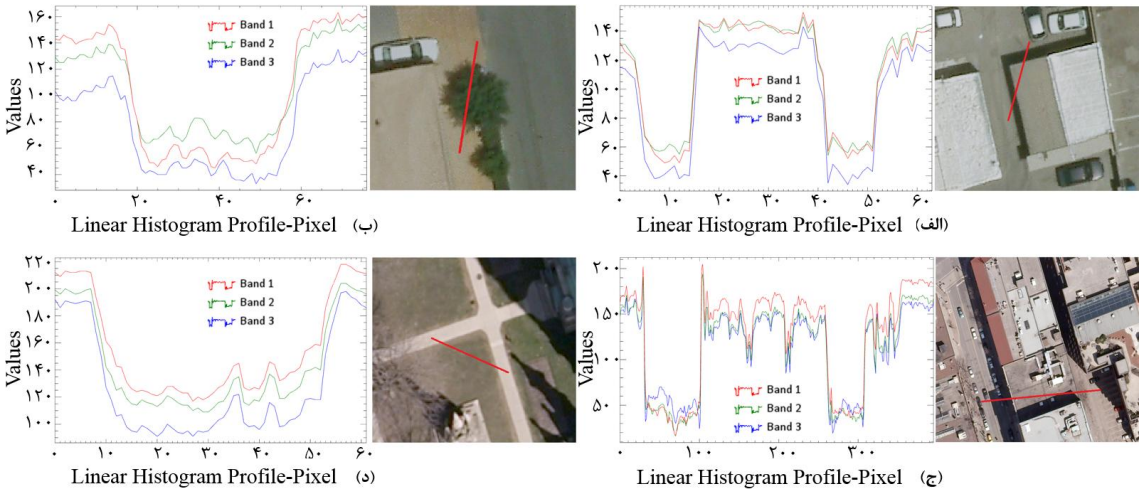
لازم به ذکر می باشد اگر چه روش‌های مختلفی جهـت حد آستانه گذاری به صورت هوشمند توسعه یافته است [۵،۳]، اما در اغلب این تحقیقات، تعیین حد آستانه بـه صورت سعی و خطا بهترین روش معرفی گردیده اسـت. لذا در این تحقیق روش اخیر برای تعیین حد آستانه به کار گرفته شده است. به دلیل فقدان باند مادون قرمـز و محدود بودن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

به دلیل عدم تبعیت درختان از هندسه و شـکل خـاص، سهم کمتری برای وزن شـاخص شـکل در نظـر گرفتـه شد. به‌دلیل تفاوت زیاد پاسخ‌های طیفی دو رده پوشش گیـاهی و راه در داده اصـفهان (شـکل (۲-ب))، سـهم بیشـتری بـرای پـارامتر وزن شـاخص طیفـی بـرای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی در نظـر گرفتـه شـد. در داده تورونتو نیز علی‌رغم اخـذ داده تصـویری در فصـل زمستان، وجود تفاوت زیاد شدت پاسـخ‌هـای طیفـی دو رده پوشش گیاهی و راه (شـکل (۲-د))، باعـث در نظـر گرفتن سهم بالا برای پارامتر وزن شاخص طیفـی بـرای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی شد. برای بررسی مقـادیر انحراف معیـار پاسـخ‌هـای طیفـی رده‌هـای مختلـف در باندهای در دسترس (قرمز، سبز و آبی)، نمودار انحـراف معیار بهنجارسازی شـده بـرای عـوارض مـورد نظـر، در داده‌های مورد استفاده تهیه و بررسی شد (شکل (۳)).

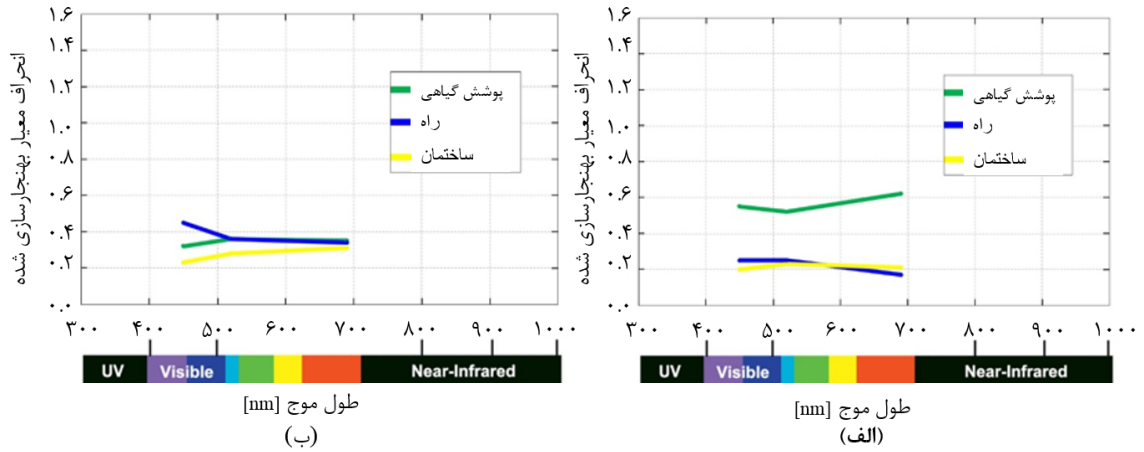
بـا بررسـی انحـراف معیـار بهنجارسـازی شـده در داده اصفهان (شکل (۳-الف)) و همچنین با بررسـی مقـادیر انحراف معیار سه باند در مرزهای دو رده پوشش گیاهی و راه، سهم بیشتری برای مقادیر پارامتر وزن بانـد اول و دوم (قرمز و سبز) نسبت به باند سوم برای قطعـه‌بنـدی رده پوشش گیاهی در نظر گرفته شد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]



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

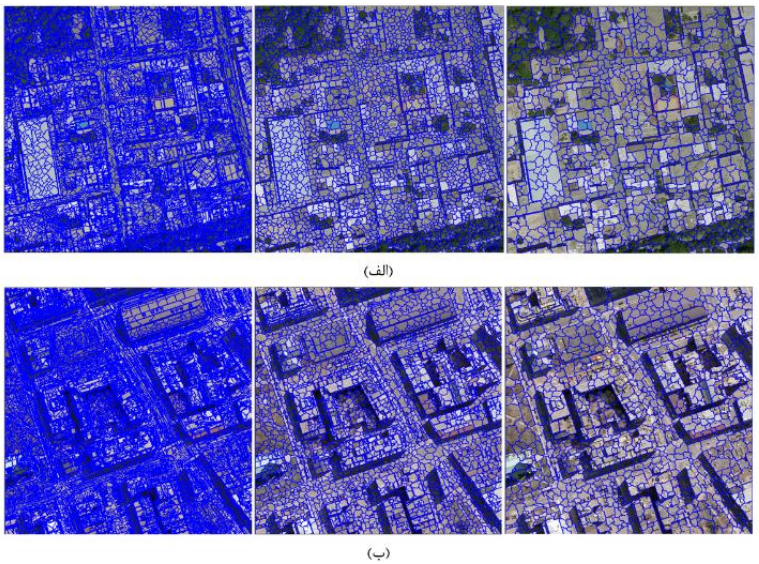
در داده تورونتو نیز مقادیر انحراف معیار هر سه باند، تفاوت زیادی در مرزهای دو رده پوشش گیاهی و راه نشان ندادند (شکل (۳-ب))؛ بنابراین سهم یکسانی برای پارامتر وزن هر سه باند داده تصویری برای قطعه‌بندی رده پوشش گیاهی اختصاص یافت. همچنین اختلاف بالای پاسخ طیفی در مرز بین این دو رده در داده‌ها، باعث انتخاب 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 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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 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.



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

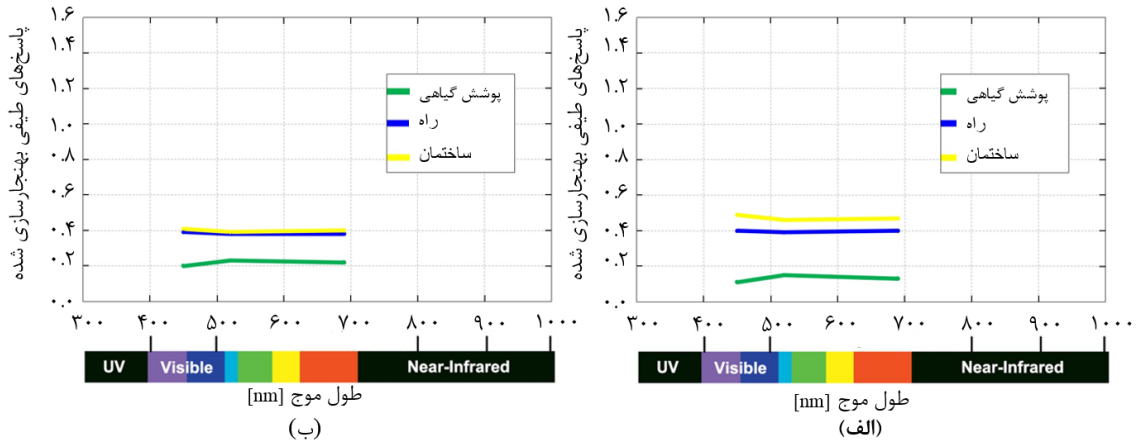
در داده‌های تصویری، قدرت تفکیک طیفی پایین در مقابل قدرت تفکیک مکانی بالای داده‌ها، فرآیند قطعه‌بندی را در سطح بالایی از خطاهای اجتناب‌ناپذیر همراه نمود. از مشکلات قطعه‌بندی داده‌ها، مبتنی بر داده‌های تصویری بصورت دقیق‌تر، این مورد به‌خصوص می‌باشد که به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای داده‌های تصویری نمونه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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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، 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.



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

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 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

آبی، کمتر جذب نموده (شکل (۵-ب)) که این الگـو در دو رده دیگـر مشـاهده نشـد؛ بنـابراین مقـادیر تفاضـل پاسخ‌های طیفی در دو باند آبی و قرمز، از پاسخ طیفـی باند سبز در رده پوشش گیاهی دارای مقادیر بالاتر بوده و این شاخص، می‌تواند عوارض فـوق را تفکیـک نمایـد. همچنین رده پوشش گیاهی هر سه طیف قرمـز، آبـی و سبز را بیشتر از رده راه و ساختمان‌هـا جـذب مـی‌کنـد (شـکل (۵-ب))، بنـابراین مجمـوع مقـادیر پاسـخ‌هـای طیفی در هر سه باند در ایـن رده، پـایین‌تـر از دو رده دیگر خواهد بود؛ از این رو پتانسـیل ایـن شـاخص نیـز بررسـی شـد. همـانطور کـه انتظـار مـی‌رود مقـادیر در باندهای خام تصویری، نمی‌توانند بصورت مناسـب بـین عوارض تمایز برقرار نمایند؛ از این‌رو در این تحقیـق، در ابتدا از مقادیر بهنجارسازی شده باندهـای مرئـی بـرای شناسایی پوشش گیاهی مطابق با روابط (۴ الی ۶) بهره گرفته شد.

رابطه (۴) $Rn = R / (R + G + B)$

رابطه (۵) $Gn = G / (R + G + B)$

رابطـه (۶) $Bn = B / (R + G + B)$

یـک جـدایی در محـدوده ۴۵۰ تـا ۵۲۰ نـانومتر در پاسخ‌های طیفی رده‌های مورد نظـر مشـاهده مـی‌شـود (شکل (۵)) که نشان می‌دهد رده پوشـش گیـاهی، نـور آبی را نسبت به سایر باندها بیشـتر جـذب مـی‌نمایـد و چنین روندی در دو رده دیگـر مشـاهده نمـی‌شـود کـه می‌توان مطابق با این ویژگی، شاخص‌های ذیـل (روابـط (۷ و ۸)) را تعریف نمود. دو رده راه و ساختمان تقریبـاً بصـورت یکسـان دو بانـد قرمز و سبز را جذب می‌کنند، در صورتی‌کـه ایـن رونـد در رده پوشش گیاهی دیده نمی‌شود. بنابراین مـی‌تـوان مطابق با این ویژگی، شاخص ذیل (رابطه (۹)) را تعریف نمود. همچنین، می‌توان مطابق با ویژگـی جـذب کمتـر طیف سبز توسط رده پوشش گیاهی شاخص‌هـای ذیـل (روابط (۱۰ و ۱۱)) را تعریف نمود.

رابطه (۷) شاخص پیشنهادی اول $= G - B$

رابطـه (۸) شاخص پیشنهادی دوم $= (G - B) / (G + B)$

رابطـه (۹) شاخص پیشنهادی سوم $= ۱/۴ \times R - G$

رابطه (۱۰) شاخص پیشنهادی چهارم $= ۰/۴۴۱ \times R - ۰/۸۱۱ \times G + ۰/۳۸۵ \times B + ۱۸/۷۸$

رابطـه (۱۱) شاخص پیشنهادی پنجم $= (G - R) \times (G - B)$

۶) انتخـاب شـاخص‌هـای مناسـب بـر اسـاس نتـایج پس‌پردازش

با اعمال شاخص‌های توسعه داده شـده در ایـن تحقیـق به داده‌های تصـویری در دسـترس، کـارایی آنهـا مـورد بررسی قرار گرفت. بـه‌منظـور ارزیـابی نتـایج الگـوریتم توسعه‌یافته در این پژوهش، در سه رده شـامل: پوشـش گیاهی، راه و ساختمان نیاز به داده واقعیت زمینی بـود. در پژوهش‌های مشابه، معمولاً بخش‌هایی از تصویر کـه متعلق به این رده‌هاست به‌صورت تصادفی توسط اپراتور انتخاب می‌گـردد. در ایـن تحقیـق بـه‌منظـور افـزایش قابلیـت اطمینـان نتـایج مقایسـه در کـل تصـویر، پیکسل‌های مرتبط با هر رده به‌صورت دستی و با دقـت بالا در کل تصویر انتخـاب شـدند. تعـداد پیکسـل‌هـای رده‌بندی شده به صورت دستی هر رده، در هـر دو داده در جدول (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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

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

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 *Rn* و *Gn*، 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 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 تائید 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.

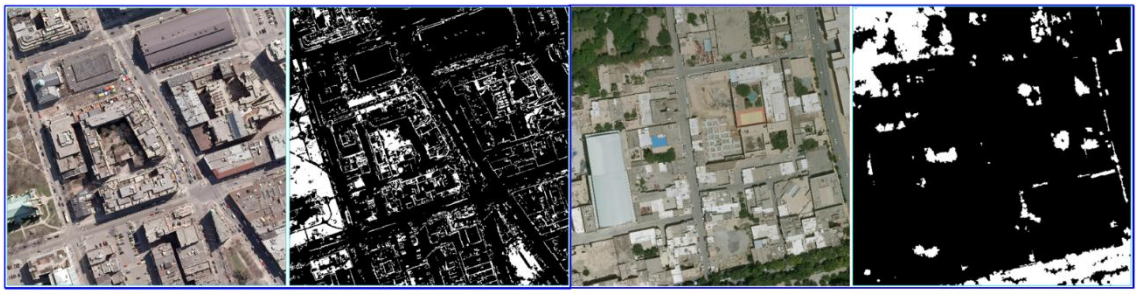
دو رده راه و ساختمان در داده‌های اصفهان و تورونتو، هیچ اختلاف ملموس و منطقی در مقادیر پاسخ‌های طیفی ثبت شده از خود نشان ندادند؛ از این رو تنها با تکیه بر داده‌های تصویری، استخراج این دو رده صورت نپذیرفت. با استفاده از ویژگی‌های ساختاری (نظیر محیط، مساحت اشیا یا نسبت طول به عرض و غیره)، تمایز رده ساختمان 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

[۱] *omission error*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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 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.



(ج) (د) (الف) (ب)

شکل ۶: (الف) داده طیفی مربوط به منطقه اصفهان، (ب) ماسک باینری داده طیفی رده‌بندی شده پوشش گیاهی توسط شاخص پیشنهادی پنجم (پیکسل‌های سفید بیانگر رده پوشش گیاهی در برابر پیکسل‌های 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 بهنجارسازی شده باندهای تصویری

پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای حذف [۱]
رده پوشش گیاهی	مقادیر بهنجارسازی شده باندهای تصویری	اصفهان= ٪ ۸۸٫۵۰ تورونتو= ٪ ۹۰٫۶۰	اصفهان= ٪ ۹۵٫۰۰ تورونتو= ٪ ۹۳٫۰۰	اصفهان= ٪ ۸۵٫۹۰ تورونتو= ٪ ۸۶٫۵۱	اصفهان= ٪ ۷۶٫۱۰ تورونتو= ٪ ۷۹٫۹۰	اصفهان= ٪ ۲۵/۰۰ تورونتو= ٪ ۳۹/۰۰
	شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق	اصفهان= ٪ ۹۵٫۴۰ تورونتو= ٪ ۹۴٫۱۰	اصفهان= ٪ ۹۶٫۰۰ تورونتو= ٪ ۹۴٫۰۰	اصفهان= ٪ ۹۵٫۷۰ تورونتو= ٪ ۹۴٫۱۰	اصفهان= ٪ ۹۰٫۳۰ تورونتو= ٪ ۸۰/۷۰	اصفهان= ٪ ۰۹/۰۰ تورونتو= ٪ ۱۱/۰۰

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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 امیشن
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 ٪
رده ساختمان	شاخص‌های توسعه داده شده در این تحقیق	اصفهان- ۹۹٫۶۰ ٪ تورونتو- ۸۸٫۷۶ ٪	اصفهان- ۴۱٫۶۰ ٪ تورونتو- ۵۲٫۲۳ ٪	اصفهان- ۵۲٫۸۰ ٪ تورونتو- ۵۹٫۸۰ ٪	اصفهان- ۲۱٫۶۰ ٪ تورونتو- ۲۴٫۳۲ ٪	اصفهان- ۰۱/۰۰ ٪ تورونتو- ۱۱٫۰۰ ٪

۷) رده‌بندی

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 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.

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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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

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 (موارد 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 (موارد ۱، ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۷ و ۱۹ در شکل (۷)). نتایج نشان داد دقت روش تحلیل شی مبنا به 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.

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

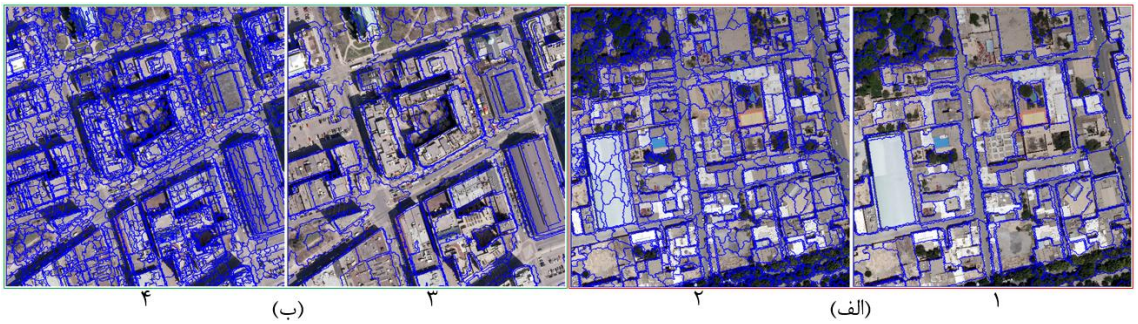
برای تحلیل داده گسسته لیدار در فضای تصویر، لازم است این داده به فضای پیوسته تبدیل شود. بررسی‌ها نشان داد لایه شیب برای پیوسته کردن این داده

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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، 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.



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

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 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.

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

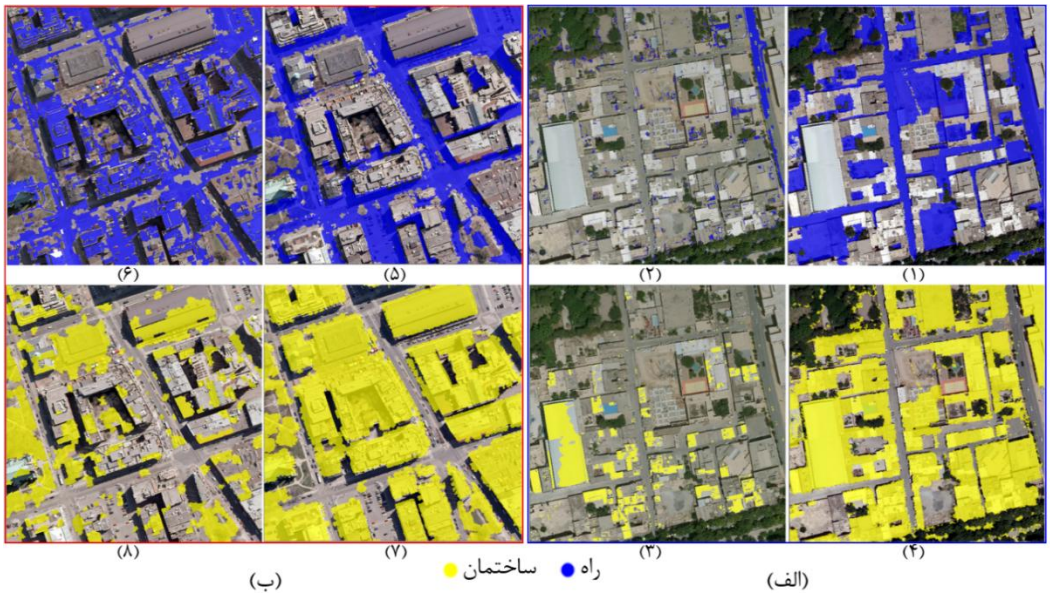
پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای حذف
رده راه	شاخص‌های طیفی	اصفهان= ۴۰٫۰۰ ٪ تورونتو= ۵۲٫۰۰ ٪	اصفهان= ۸۰٫۰۰ ٪ تورونتو= ۸۳٫۰۰ ٪	اصفهان= ۷۵٫۰۰ ٪ تورونتو= ۵۶٫۰۵ ٪	اصفهان= ۱۹٫۰۰ ٪ تورونتو= ۱۱٫۲۸ ٪	اصفهان= ۸۴٫۰۰ ٪ تورونتو= ۴۷٫۰۰ ٪
	شاخص ارتفاعی	اصفهان= ۹۸٫۰۰ ٪ تورونتو= ۹۲٫۰۰ ٪	اصفهان= ۹۳٫۰۰ ٪ تورونتو= ۸۸٫۰۰ ٪	اصفهان= ۹۷٫۲۰ ٪ تورونتو= ۸۵٫۱۰ ٪	اصفهان= ۹۳٫۲۲ ٪ تورونتو= ۸۹٫۷۰ ٪	اصفهان= ۰۲٫۰۰ ٪ تورونتو= ۰۹٫۰۰ ٪

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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

پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای حذف
رده ساختمان	شاخص‌های طیفی	اصفهان- ۹۹٫۰۰ ٪ تورونتو- ۸۸٫۷۶ ٪	اصفهان- ۴۱٫۶۰ ٪ تورونتو- ۵۲٫۲۳ ٪	اصفهان- ۵۲٫۸۰ ٪ تورونتو- ۵۹٫۸۰ ٪	اصفهان- ۲۱٫۴۰ ٪ تورونتو- ۲۴٫۳۲ ٪	اصفهان- ۰۱٫۰۰ ٪ تورونتو- ۱۱٫۰۰ ٪
	شاخص ارتفاعی	اصفهان- ۹۷٫۰۰ ٪ تورونتو- ۸۹٫۹۰ ٪	اصفهان- ۹۹٫۳۰ ٪ تورونتو- ۹۱٫۲۰ ٪	اصفهان- ۹۷٫۶۰ ٪ تورونتو- ۸۹٫۲۰ ٪	اصفهان- ۹۴٫۶۲ ٪ تورونتو- ۸۵٫۰۱ ٪	اصفهان- ۰۳٫۰۰ ٪ تورونتو- ۰۸٫۰۰ ٪



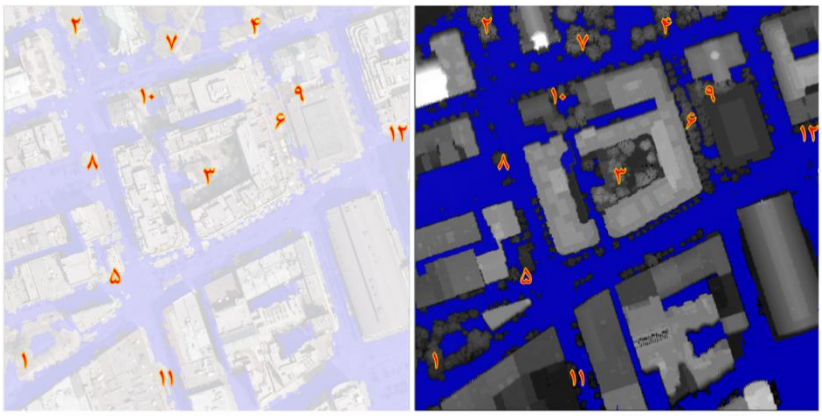
شکل ۱۰: نتایج رده‌بندی؛ (۱) و (۵): نتایج رده‌بندی رده راه بر اساس داده لیدار، (۲) و (۶): نتایج رده‌بندی رده راه بر اساس شاخص‌های توسعه داده شده، (۴) و (۷): نتایج رده بندی رده ساختمان بر اساس داده لیدار، (۳) و (۸): نتایج رده‌بندی رده ساختمان بر اساس شاخص‌های توسعه داده شده بر روی مجموعه نمونه داده تصویری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

۱۵) ارزیابی دقت رده‌بندی

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 می‌باشد؛ 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 رده‌بندی در داده تورونتو گردید، چرا که مبنای ارزیابی در این تحقیق، داده تصویری برداشت شده از منطقه بود. برای ارزیابی دقت نتایج رده‌بندی 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 داده‌های تصویری و ارتفاعی را نشان می‌دهد. تصاویر رده‌بندی شده هر سه سطح نیز، در شکل (۱۲) و(۱۳)، به ترتیب برای داده اصفهان و تورونتو نشان داده شده است.

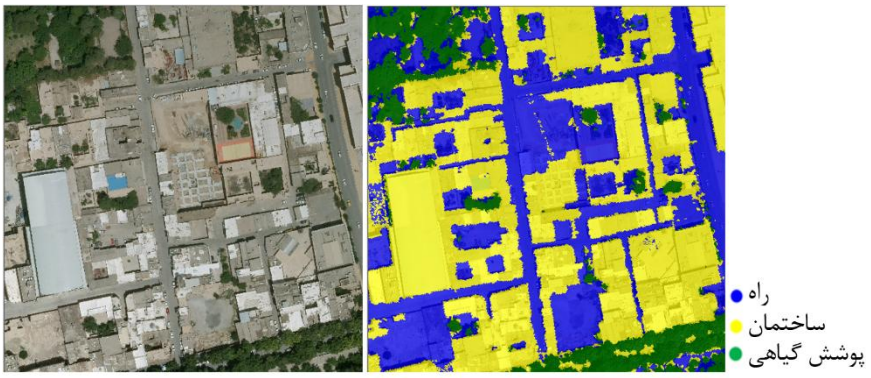
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]



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

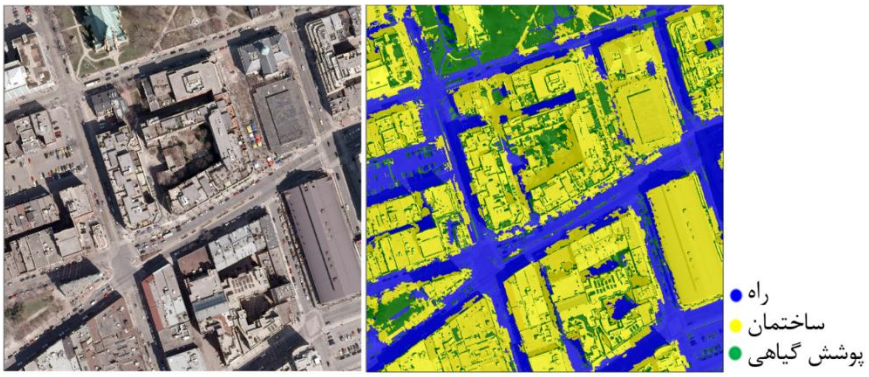
پارامترهای ارزیابی دقت رده‌بندی بر اساس:		دقت تولید کننده	دقت کاربر	دقت کلی	ضریب کاپا	خطای حذف
رده‌بندی نهایی	رده پوشش گیاهی	اصفهان- ٪ ۹۹٫۹۰ تورونتو- ٪ ۹۸٫۷۴	اصفهان- ٪ ۹۹٫۰۰ تورونتو- ٪ ۹۴٫۰۰	اصفهان- ٪ ۹۹٫۴۸ تورونتو- ٪ ۹۷٫۶۰	اصفهان- ٪ ۹۶٫۳۰ تورونتو- ٪ ۷۶٫۹۰	اصفهان- ٪ ۰۷٫۰۰ تورونتو- ٪ ۱۱٫۰۰
	رده راه	اصفهان-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



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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]



(الف) (ب)

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

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 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)).

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

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

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 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

از قیدهای هندسی و منطقی به‌عنوان 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 نیمه‌خودکار 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 تائید 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 می نماید 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

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

در تصـــویربرداری از منـــاطق مختلـــف و در شـــرایط تصویربرداری متفاوت، حد آسـتانه‌هـای تصـمیم‌گیـری براساس پارامترهای تصویر تغییر پیدا مـی‌کنـد؛ توسـعه روشی برای تعیین حد آستانه بـه‌صـورت اتوماتیـک بـر اساس روش‌های بهینه‌سازی، برای پژوهش‌هـای آینـده پیشنهاد می‌شود.

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.*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]

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

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.7 No.4, Winter 2020

Research Paper

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.*

Correspondence Address: ***Geodesy Group, Department of Geomatics, College of Geodesy and Geomatics Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.***
Tel:. *+984133392515*
Email: m.azad93@ms.tabrizu.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.29252/jgit.7.4.115]