

ارائه روشی مبتنی بر آنالیز قانون مبنای اشیاء تصویری به منظور تشخیص راه در مناطق شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و داده‌های لایدار

اصغر میلان لک^{۱*}، محمد جواد ولدان زوج^۲، مهدی مختارزاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
milan@ncc.org.ir

^۲ دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
valadanzouj@kntu.ac.ir

^۳ استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی
m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۳)

چکیده

تشخیص راه‌ها در مناطق شهری، از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و همواره به عنوان یکی از مباحث اصلی در تحقیقات گروه‌های سنجش از دور مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به تنوع خصوصیات طیفی و هندسی و همچنین شباهت طیفی و هندسی پیکسل‌های راه با سایر عوارض از جمله ساختمان‌ها، پارکینگ‌ها و پیاده‌روها و عدم پیوستگی عوارض راه به علت مجاورت با عوارض نظیر اتومبیل و درختان، شناسایی دقیق راه‌های شهری از طریق تصاویر ماهواره‌ای با مشکلاتی همراه است. از طرف دیگر داده‌های لایدار با فراهم کردن اطلاعات ارتفاعی، امکان تفکیک راه‌ها از سایر عوارض مشابه از نقطه نظر طیفی، را فراهم می‌سازند. بنابراین در تحقیقات مختلف در کنار تصاویر ماهواره‌ای به منظور تشخیص عوارض مختلف از جمله راه‌ها بکار رفته‌اند. در این مقاله از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده QuickBird با قدرت تفکیک بالا و داده‌های لایدار و نیز بکارگیری آنالیزهای شیء‌مبنا به منظور تشخیص راه در یک ناحیه شهری با تنوع گونه‌گون راه بهره‌گیری شده است. در روش پیشنهادی یک استراتژی قانون‌مبنا مبتنی بر تکنیک ماسک‌گذاری طراحی و مورد استفاده قرار گرفته و برای بهبود نتایج از یک استراتژی تکمیلی مبتنی بر طراحی ویژگی‌های مفهومی بهره‌گیری شده است. در نهایت دقت کلی شناسایی کلاس‌های مختلف ۸۹/۲٪ و ضریب کاپای آن ۰/۸۳۲ بدست آمده است که با توجه به شرایط مختلف و نیز اغتشاشات فراوان بین کلاسی، دقت حاصله رضایت بخش می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان‌دهنده قابلیت بالای روش‌های شیء‌مبنا در تشخیص همزمان گسترده‌ی وسیع و متنوعی از المان‌های راه در محیط‌های پیچیده شهری از طریق بکارگیری همزمان داده‌های تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا و داده‌های لایدار می‌باشد.

واژگان کلیدی: استخراج راه، آنالیزهای شیء‌مبنا، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، داده‌های لایدار.

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

راه‌ها یکی از مهمترین کلاس‌های عوارض توپوگرافی می‌باشند و علاقه زیادی برای کم کردن نقش عامل انسانی در چرخه به هنگام‌سازی آنها وجود دارد. نقش کلیدی راه در کاربردهای مختلف مانند برنامه‌ریزی شهری، ناوبری وسایل نقلیه، مدیریت ترافیک، مدیریت بحران و به روز بودن بانک اطلاعاتی، شبکه راه‌ها را در جایگاه ویژه‌ای مطرح نموده است. به همین علت استخراج اتوماتیک راه‌ها در اصلی‌ترین اولویت تحقیقات مطرح در حوزه فتوگرامتری و سنجش از دور قرار گرفته است. با ظهور تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، فناوری سنجش از دور قابلیت‌های فراوانی را در تهیه اطلاعات پوشش اراضی و نیز تشخیص و استخراج بسیاری از عوارض اعم از راه و ساختمان در مناطق شهری از خود نشان داده است.

با ورود سیستم‌های لایدار^۱ به حیطه تولید اطلاعات توپوگرافی، علم فتوگرامتری تحت تاثیر این سیستم‌ها قرار گرفته است و سیستم‌های فتوگرامتری در حال تغییر به سمتی هستند که بتوانند از اطلاعات این سیستم‌ها استفاده نمایند. به دلیل قابلیت بالای اطلاعات ساختاری داده‌های لایدار، این داده‌ها می‌توانند به عنوان مکمل سیستم‌های تصویربرداری عمل نمایند و نتایج استخراج اتوماتیک عوارض را بهبود بخشند. در عین حال که سیستم‌های لایدار، اطلاعات ساختاری فراوانی از عوارض سطح زمین را در اختیار کاربران قرار می‌دهند، از لحاظ اطلاعات بافتی و طیفی قابل مقایسه با سیستم‌های تصویربرداری رقومی نیستند و در اکثر موارد به عنوان یک سیستم مکمل عمل کرده‌اند.

در این تحقیق امکان استفاده از هر دو سیستم اخذ داده‌ی لایدار و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا به منظور تشخیص اتوماتیک راه‌ها در محیط‌های شهری مورد بررسی قرار گرفته است، که این امر با توجه به تنوع و پیچیدگی طیفی و حتی هندسی عوارض شهری، باعث بهبود نتایج نهایی گردیده است. با توجه به اینکه روش‌های طبقه‌بندی شیء‌مبنا، از توانایی بالاتری نسبت به روش‌های طبقه‌بندی سنتی پیکسل‌مبنا برخوردار می‌باشند، در این تحقیق و در مرحله طبقه‌بندی، از روش‌های شیء‌مبنا استفاده شده است. این روش‌ها برای طبقه‌بندی و

شناسایی نواحی همگنی از پیکسل‌ها، نه تنها از اطلاعات طیفی، بلکه از اطلاعات هندسی، شکلی، مکانی، بافتی و مفهومی نیز استفاده می‌کنند.

۲- مروری بر تحقیقات انجام یافته

در طول سه دهه گذشته، تحقیقات قابل توجهی در زمینه استخراج اتوماتیک راه‌ها از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای در حوزه‌های فتوگرامتری و سنجش از دور صورت گرفته است که منجر به ارائه استراتژی‌ها و الگوریتم‌های بسیار متفاوتی گردیده است [۳ و ۴]. از جمله این روش‌ها می‌توان به مواردی همچون روش‌های متکی بر ناحیه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر، فیلتر کردن تصویر، تحلیل زمان‌های مختلف، تحلیل مقیاس‌ها و قدرت تفکیک‌های مختلف، استفاده از مورفولوژی ریاضی، روش‌های برنامه‌نویسی پویا، روش‌های فازی و دانش پایه اشاره کرد. در تحقیق انجام یافته توسط مختارزاده و ولدان‌زوج (۲۰۰۷) روشی به منظور تشخیص راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا با استفاده از الگوریتم‌های شبکه‌های عصبی ارائه شده است. در این روش، شبکه‌های عصبی تنها از اطلاعات طیفی تصویر اما با الگوهای ورودی مختلف استفاده می‌نمایند. با آموزش شبکه‌های عصبی و سپس تعمیم شبکه آموزش دیده بر روی پنجره‌های مکانی با ابعاد مختلف، تمایز بین پیکسل‌های راه و زمینه صورت می‌گیرد [۵].

در تحقیق انجام یافته توسط Disha و Saroha (۲۰۱۲) دو روش نیمه اتوماتیک و اتوماتیک جهت استخراج راه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا در محیط‌های شهری و غیر شهری ارائه شده است. در این تحقیق، روش نیمه اتوماتیک شامل پیش پردازش تصویری با استفاده از یک فیلتر گوسین و کاهش داده‌ها از طریق قرار دادن آنها در یک تصویر است. همچنین، به منظور استخراج اتوماتیک پیکسل‌های راه، یک منطق فازی بر اساس اطلاعات آماری و هندسی و با استفاده از الگوریتم کلاسه‌بندی Fuzzy C-Means اجرا می‌شود [۶]. در مقاله ارائه شده توسط Bhirud و Mangala (۲۰۱۱) روشی برای استخراج راه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای، بر اساس ترکیب عملگر گرادیان و آرایش اسکلت‌بندی در نواحی روستایی بررسی شده است. در این تحقیق، عملگرهای فرعی،

^۱ LiDAR

فیلترسازی و حدآستانه‌گذاری به عنوان پیش پردازش بر روی تصویر اعمال می‌شوند و در انتها، یک رنگ‌بندی با استفاده از عملگر مورفولوژی اعمال می‌شود [۷]. در مقاله ارائه شده توسط Maurya و همکارانش (۲۰۱۱) استخراج راه‌ها از تصویر طی دو مرحله انجام می‌گیرد. نخست با استفاده از طبقه‌بندی بدون نظارت K-Means، پیکسل‌های تصویر به پیکسل‌های راه و غیر راه تقسیم می‌شوند. در این طبقه‌بندی ممکن است تعدادی از پیکسل‌ها، مانند ساختمان‌ها و پارکینگ‌ها که به کلاس راه تعلق ندارند، جزء این کلاس طبقه‌بندی گردند. برای حذف این نواحی از کلاس راه‌ها، در مرحله بعد از توابع مورفولوژی استفاده می‌شود [۸]. Tao و Hu (۲۰۰۴) از اطلاعات مکانی داده‌های لایدار جهت جداسازی نقاط زمینی از نقاط بالای سطح زمین با استفاده از لایه‌های تصویری تولید شده از این داده‌ها، استفاده کرده‌اند [۹]. در تحقیق صورت گرفته توسط Alharthy و Bethel (۲۰۰۳) از چهار ویژگی میانگین شدت موج بازگشتی، ارتفاع نرمال، چند بازگشتی بودن موج لایدار و اطلاعات ارتفاعی مدل رقومی سطح زمین برای تمایز بین ۱۰ کلاس زمینی استفاده شده است [۱۰] Rottensteiner (۲۰۰۱). امکان تشخیص ارتفاع و ابعاد تاج پوشش درختان را با استفاده از داده‌های لایدار مورد بررسی قرار داده و سپس با استفاده از وابستگی قطر ساقه با قطر تاج پوشش، قطر ساقه اصلی درختان را تخمین زده است [۱۱]. در تحقیق ارائه شده توسط Zhi و همکارانش (۲۰۱۲) از یک الگوریتم سلسله‌مراتبی برای استخراج راه‌ها بهره گرفته شده است. در این تحقیق از اطلاعات ارتفاعی، اطلاعات شدت روشنایی^۱، خصوصیات مورفولوژی و سایر عوارض محلی، به منظور استخراج شبکه‌ی راه‌ها از یک مدل رقومی سطح زمین^۲ استفاده شده است. همچنین، یک روش فیلترسازی مورفولوژی محلی برای یافتن مرزها و جزئیات غنی‌تر از پروفیل راه‌ها، به کار گرفته شده است [۱۲]. در مقاله ارائه شده توسط Zhao و You (۲۰۱۲) به منظور استخراج راه‌ها از داده‌های لایدار، در ابتدا ابر نقاط لایدار به دو قسمت نقاط زمینی و غیر زمینی طبقه‌بندی و سپس ساختمان‌ها و درختان با استفاده از کمینه‌سازی انرژی متمایز می‌شوند. در مرحله بعد، قالب‌های ساختاری برای

جستجوی راه‌ها در داده‌های شدت طراحی و اجرا می‌گردند. به منظور یافتن راه‌های شناسایی نشده از یک شبکه‌ی Markov استفاده می‌شود. ترکیب برازش محلی قالب و استنتاج کلی MRF باعث دقیق‌تر شدن و کامل بودن استخراج راه‌ها می‌شود [۱۳]. در تحقیق صورت گرفته توسط Peng (۲۰۱۱) از داده‌های شدت و داده‌های ارتفاعی لایدار برای استخراج راه‌ها در مناطق شهری استفاده شده است. در مرحله نخست از مدل TIN^۳ جهت فیلتر کردن و طبقه‌بندی داده‌های لایدار به دو سری نقاط روی زمین و نقاط غیر از نقاط زمینی استفاده می‌شود. سپس بر اساس داده‌های شدت، ابر نقاط لایدار که به عنوان نقاط روی زمین طبقه‌بندی شده‌اند، به دو مجموعه داده‌های راه و غیر راه طبقه‌بندی می‌شوند. سپس از مدل TIN جهت بهبود دقت استخراج نقاط راه از غیر راه استفاده خواهد شد [۱۴]. در تحقیق انجام یافته توسط Silva و همکارانش (۲۰۱۱)، روشی بر مبنای انتقال Radon و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به منظور استخراج راه از داده‌های لایدار به همراه تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا ارائه شده است که قادر است راه‌های موجود در تصاویر و داده‌های حاصل از لیزر اسکنر هوایی را به صورت اتوماتیک در مناطق روستایی استخراج کند [۱۵].

آنالیزهای شی‌مبنا که در این تحقیق نیز از آنها استفاده شده است، به منظور طبقه‌بندی پوشش‌اراضی شهری از روی تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا در تحقیقات مختلفی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰]. در هر آنالیز شی‌گرا، در مرحله نخست اشیاء توسط فرآیند قطعه‌بندی تصویر ایجاد می‌شوند [۱]. تاکنون روش‌های گوناگونی برای قطعه‌بندی تصویر معرفی شده‌اند که می‌توان آنها را در سه گروه جای داد: الگوریتم‌های point-based، الگوریتم‌های edge-based و الگوریتم‌های region-based. در دسته‌بندی دیگر، این روش‌ها به روش‌های آستانه‌گذاری (Suzuki & Toriwaki, 1991)، تشخیص لبه (Canny, 1986)، روش‌های رشد نواحی (Toennies, 2001 Pohle&) و نیز روش‌های خوشه‌بندی (Clarke et. al., 1995) دسته‌بندی شده‌اند [۲۲].

^۱ Intensity

^۲ Digital Surface Model (DSM)

^۳ Triangulated Irregular Network

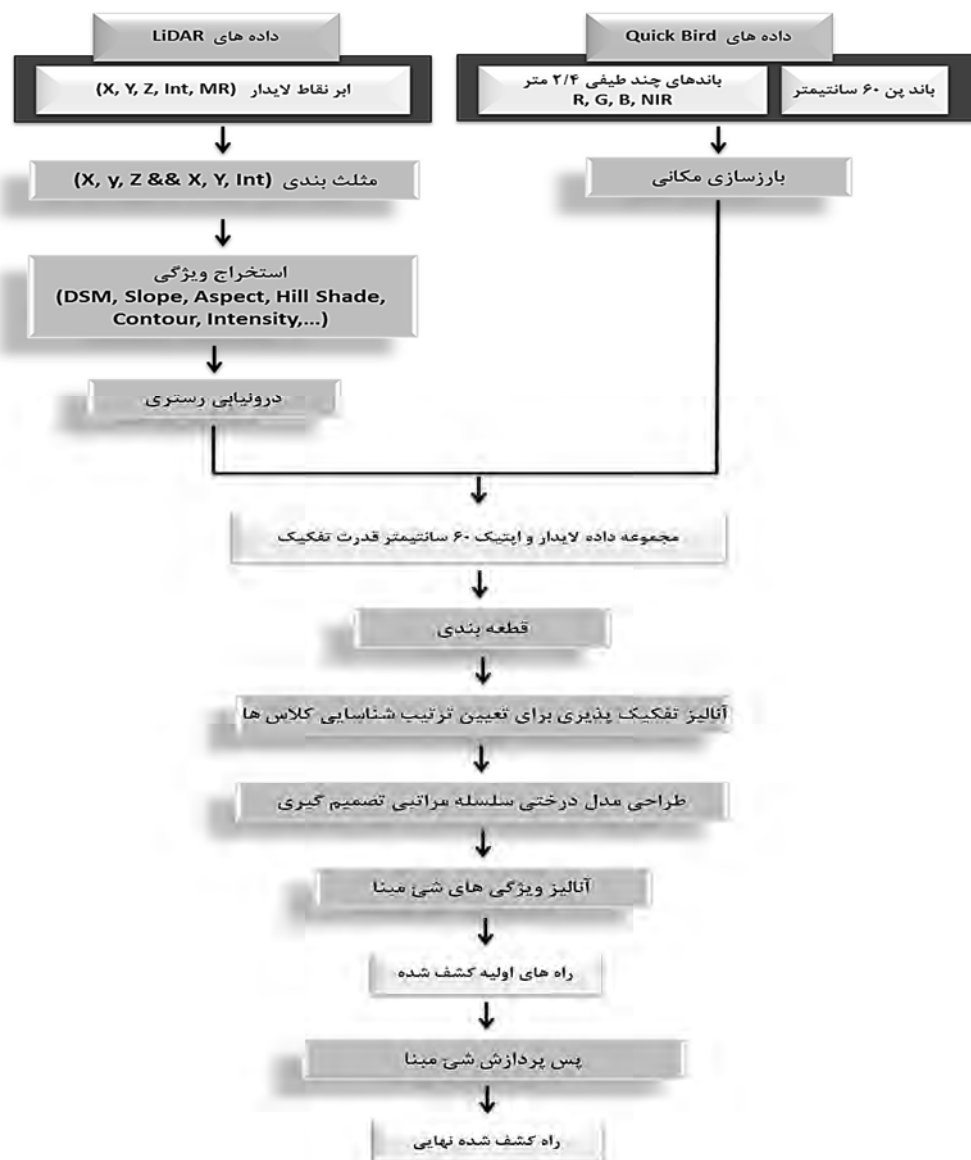
در زمینه استخراج راه‌ها، با استفاده از عکس‌ها و تصاویر سیاه و سفید^۱ و یا اطلاعات چند طیفی، بخصوص در مناطق شهری، ذکر این مورد ضروری است که به واسطه وجود پیچیدگی بیشتر، نتایج نهایی کار با ابهاماتی مواجه خواهد بود. برای مثال در صورتی که عارضه راه و ساختمان با مواد یکسانی پوشیده شده باشند، در یک عکس هوایی و یا تصویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، هر دو عارضه تصویر یکسانی دارند و تمایز آنها از یکدیگر به سختی امکان‌پذیر است. این مشکل درحالتی که پشت بام‌ها یا دیوارهای ساختمان‌های بلند، راه‌ها را بپوشانند و یا خیابان‌ها در سایه قرار گیرند، بیشتر خواهد بود و در نواحی شهری، نتایج هر دو روش اتوماتیک و نیمه اتوماتیک در شناسایی راه‌ها قابل اعتماد نخواهد بود. همچنین روش‌هایی که از تصاویر دو بعدی استفاده می‌کنند، در مقایسه با روش‌هایی که از اطلاعات سه بعدی استفاده می‌کنند، با ابهامات بیشتری روبرو خواهند بود. از سوی دیگر، داده‌های ارتفاعی لایدار برای جداسازی عوارض سه بعدی از یکدیگر، دارای قابلیت بالایی هستند. علاوه براین، با استفاده از این داده‌ها می‌توان عوارض سه بعدی را از عوارض دو بعدی جدا نمود، با این حال در مورد جداسازی عوارض دو بعدی از یکدیگر مشکلاتی وجود خواهد داشت. از سوی دیگر، داده‌های شدت لایدار دارای نویز زیادی می‌باشند و توان جداسازی کلاس راه‌ها را از عوارضی که توان سیگنال بازگشتی آنها همانند کلاس راه‌ها می‌باشند، نخواهند داشت. در نهایت، استفاده از داده‌های لایدار به تنهایی، تمام قابلیت‌های این داده‌ها را مورد استفاده قرار نخواهد داد. از طرف دیگر اکثر تحقیقات ذکر شده، روش پیشنهادی خود را بر روی یک منطقه بسیار محدود و با تنوع بسیار کم در المان‌های راه ارائه کرده‌اند. به نظر می‌رسد جهت تحقق این موضوع باید بتوان با یک استراتژی مناسب، تنوع وسیعی از راه‌ها اعم از بزرگراه‌ها، اتوبان‌ها، پل‌ها، خیابان‌های اصلی و فرعی و حتی کوچه‌ها را در حد قابل قبولی شناسایی نمود. در روش پیشنهادی سعی بر آن شده است تا با انتخاب یک منطقه وسیع با تنوع بالا بر این نقطه ضعف غلبه کرد. در روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، از یک استراتژی سلسله‌مراتبی، قانون مبنا مبتنی بر آنالیز اشیاء تصویری و

بر مبنای یک مجموعه داده متشکل از داده‌های تصویری سنجنده QuickBird و برخی ویژگی‌های اصلی استخراجی از داده‌های لایدار در یک فضای پردازشی رسترمبنا استفاده شده است.

۳- روش پیشنهادی

امروزه اکثر تحقیقات صورت گرفته در حوزه لایدار در نواحی شهری براساس آنالیزهای رسترمبنا انجام پذیرفته است که علت این امر را می‌توان توانایی و قابلیت‌های بیشتر روش‌های رسترمبنا نسبت به روش‌های بردار مبنا دانست. روش‌های طبقه‌بندی شیء مبنا، مشتمل بر دو گام اصلی طبقه‌بندی و طبقه‌بندی می‌باشند. در مرحله قطعه‌بندی، با در نظر گرفتن معیارهای شباهت، مجموعه‌ای از پیکسل‌های همجوار در قالب یک شیء تصویری ایجاد می‌شود. سپس اقدام به تولید فضای ویژگی در هر یک از اشیاء تصویری نموده و با روش‌های مختلف و معمول طبقه‌بندی، اقدام به طبقه‌بندی اشیاء تصویری می‌نمایند. بر این اساس، گام‌های اصلی روش پیشنهادی (شکل ۱) را به اختصار می‌توان چنین بیان نمود: گام اول، مرحله پیش‌پردازش و آماده‌سازی داده‌ها شامل استخراج ویژگی-های اولیه از داده‌های مثلث‌بندی شده لایدار و سپس تبدیل آنها به فضای تصویر و نیز بارزسازی مکانی داده‌های چندطیفی سنجنده تصویربرداری می‌باشد. در مرحله بعد، قطعه‌بندی داده‌ها و ایجاد اشیاء تصویری تحت یک مدل سلسله‌مراتبی انجام می‌شود. سپس یک مدل تصمیم‌گیری تشخیص راه سلسله‌مراتبی طراحی خواهد شد. در مرحله بعد، پیاده‌سازی روش قانون مبنای شیء‌گرا انجام می‌پذیرد. سپس با استفاده از برخی ویژگی‌های پس پردازشی اقدام به بهبود نتایج اولیه می‌گردد. در انتها به ارزیابی و تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته خواهد شد.

^۱ Panchromatic



شکل ۱- گام های مختلف روش پیشنهادی

۳-۱- پیش پردازش داده های مورد استفاده

پیش پردازش و آماده سازی داده ها شامل آماده سازی داده های لایدار جهت فیلتر کردن و بهبود داده های موجود و نیز بارزسازی مکانی داده های تصویر ماهواره ای می باشد که در ادامه توضیحات لازم در مورد آنها ارائه خواهد شد.

۳-۱-۱- آماده سازی داده های لایدار

در آماده سازی داده های لایدار به طور کلی سه مرحله فیلتر کردن، مثلث بندی و درونمایی و استخراج اطلاعات از فضای بردار به فضای تصویری در نظر گرفته شده است که در ادامه مورد بررسی قرار داده می شوند.

فیلتر کردن: این مرحله شامل تبدیل فرمت اطلاعات

لایدار از فرمت های اولیه و فیلتر کردن داده های ابر نقاط جهت حذف نویز می باشد. در این تحقیق، به منظور حذف نویز از داده های ابر نقاط از فیلتر Octree بهره گیری شده است. از این فیلتر، برای به حداقل رساندن فضای ذخیره سازی داده های شبکه ای سه بعدی، استفاده می شود. این مفهوم مشابه اصطلاح Quadtree بکار رفته در پردازش تصاویر می باشد.

در این روش ابتدا بر روی تمام فضای سه بعدی، مکعبی برازش داده می شود. سپس مکعب تولید شده به هشت مکعب کوچکتر تقسیم می گردد و این تقسیم بندی تا حداقل حد آستانه ای تعریف شده ادامه می یابد (شکل ۲). سپس تمامی نقاط درون کوچکترین مکعب حذف شده و تنها یک

۳-۲- قطعه‌بندی تصویر

جهت اجرای قطعه‌بندی تصویر، پارامترهای مقیاس، وزن ناهمگنی طیفی (W_{color}) و شکلی (W_{shape}) و وزن نرمی (W_{smooth}) و فشردگی ($W_{compact}$) و نیز وزن باندهای طیفی می‌بایست تعیین شوند. همچنین سایر پارامترها یعنی Δh_{color} و Δh_{shape} و $\Delta h_{compact}$ و Δh_{smooth} براساس میزان ناهمگنی طیفی و ناهمگنی شکلی که تابعی از محیط و مساحت شیء مورد نظر است، برای هر شیء محاسبه می‌شود (روابط ۱ الی ۷).

$$f = w_{color} \cdot \Delta h_{color} + w_{shape} \cdot \Delta h_{shape} \quad (۱)$$

$$w_{color} + w_{shape} = 1 \quad (۲)$$

$$w_{compact} + w_{smooth} = 1 \quad (۳)$$

$$\Delta h_{shape} = w_{compact} \cdot \Delta h_{compact} + w_{smooth} \cdot \Delta h_{smooth} \quad (۴)$$

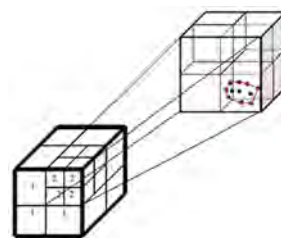
$$\Delta h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} \sigma_{c,merge} - (n_{obj1} \sigma_{c,obj1} + n_{obj2} \sigma_{c,obj2})) \quad (۵)$$

$$\Delta h_{smooth} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{b_{merge}} - (n_{obj-1} \cdot \frac{l_{obj-1}}{b_{obj-1}} + n_{obj-2} \cdot \frac{l_{obj-2}}{b_{obj-2}}) \quad (۶)$$

$$\Delta h_{compact} = n_{merge} \cdot \frac{l_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - (n_{obj-1} \cdot \frac{l_{obj-1}}{\sqrt{n_{obj-1}}} + n_{obj-2} \cdot \frac{l_{obj-2}}{\sqrt{n_{obj-2}}}) \quad (۷)$$

در اینجا نکته مهم، انتخاب وزن این پارامترها است. یک رابطه خطی از کلیه این پارامترها برای هر شیء، تشکیل‌دهنده پارامتری به نام فاکتور مقیاس (f) است. چنانچه مقدار فاکتور مقیاس حاصل از ادغام دو شیء همجوار از عدد مقیاس معرفی شده بیشتر نباشد، دو شیء مجاز به ادغام می‌شوند. تاکنون روش مناسب و بهینه‌ای جهت انتخاب این پارامترها ارائه نشده است و در اغلب تحقیقات، مقادیر این پارامترها بر اساس سعی و خطا و نیز قوانین تجربی انتخاب می‌شوند. در نواحی شهری که تنوع ناهمگنی طیفی بالایی در اشیاء یک کلاس وجود دارد، می‌بایست وزن کمتری را برای ناهمگنی طیفی در نظر گرفت. در غیر اینصورت اشیاء، شکل

نقطه در مرکز ثقل این نقاط، جایگزین آنها می‌گردد [۲۳]. به این ترتیب حجم داده‌ها با توجه به ابعاد مکعب‌ها کاهش می‌یابد. اگر در مکعبی تنها یک نقطه منفرد قرار گرفته باشد، آن نقطه نويز محسوب شده و از ابر نقاط حذف می‌گردد. براساس قدرت تفکیک مکانی داده‌های لایدار (۰/۵ متر)، از یک حد آستانه یک متری جهت شناسایی نقاط نويز بهره‌گیری شده است.



شکل ۲- نحوه‌ی عملکرد فیلتر Octree

مثلت‌بندی: پس از فیلتر کردن ابر نقاط لایدار، این داده‌ها در یک فرآیند مثلث‌بندی شرکت داده می‌شوند. داده‌های لایدار در دو ساختار x, y, z و $x, y, intensity$ تحت مثلث‌بندی قرار می‌گیرند. در این تحقیق از مثلث‌بندی دلونی [۲۴] استفاده شده است. از نتیجه مثلث‌بندی بر روی اطلاعات ارتفاعی چند ویژگی شامل مدل رقومی سطح زمین (DSM)، شیب، ویژگی Hill shade و منحنی میزان (Contour) و از نتیجه مثلث‌بندی بر روی داده‌های شدت موج بازگشتی، ویژگی شدت درون‌یابی شده استخراج گردید.

درونیابی داده‌های تصویری: پس از انجام دو مرحله فیلتر کردن و مثلث‌بندی، داده‌های حاصل در یک فرآیند به محیط تصویری با قدرت تفکیک ۰/۶ متر (برابر با قدرت تفکیک مکانی داده‌های ماهواره‌ای) درونیابی شدند. برای انجام درونیابی از روش درونیابی Bilinear استفاده شده است.

۳-۱-۳- بارزسازی مکانی داده‌های ماهواره‌ای

برای استفاده از قابلیت مکانی تصویر باند سیاه و سفید و قابلیت طیفی تصاویر چند طیفی به صورت همزمان بر روی یک تصویر، از ادغام تصاویر^۱ بهره گرفته شده است. برای این منظور از روش Gram-Schmidt Spectral Sharpening استفاده شده است [۲۵]. خروجی این مرحله، یک تصویر با چهار باند و قدرت تفکیک ۰/۶ متر می‌باشد.

^۱ Pan Sharpening

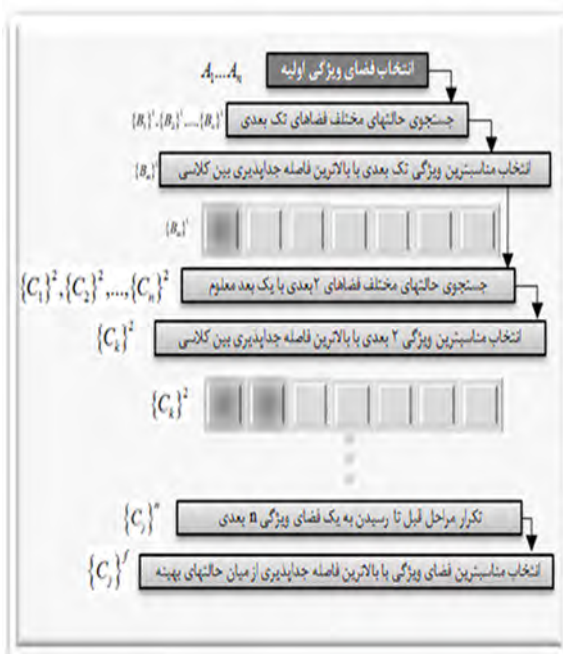
هندسی نامتوازی پیدا کرده و بسیاری از ویژگی‌های شکلی و هندسی آنها از بین می‌رود. در مورد انتخاب وزن مناسب برای پارامترهای نرمی و فشردگی، انتخاب وزن بالاتر برای پارامتر فشردگی، باعث ایجاد فرم‌های فشرده از اشیاء مختلف اعم از راه و خانه و غیره می‌شود که این امر شناسایی اشیاء خطی را از اشیاء غیرخطی بسیار دشوار می‌سازد.

۳-۳- طراحی مدل سلسله‌مراتبی

در مدل سلسله‌مراتبی، هدف طراحی یک دستورالعمل جهت شناسایی انواع راه‌ها می‌باشد. در مناطق شهری، راه‌ها از نقطه نظر طیفی و همچنین پهنا دارای تنوع و گستردگی زیادی می‌باشند. از نقطه نظر طیفی بخش زیادی از پوشش راه‌ها با پوشش سقف عوارض ساختمانی یکسان می‌باشد. از طرف دیگر بسیاری از ساختمان‌ها و فضاهای باز اعم از پارکینگ‌ها و پیاده‌روها از نقطه نظر هندسی دارای شکل خطی مشابه با راه‌ها می‌باشند. از نقطه نظر ارتفاعی نیز بخش قابل توجهی از راه‌ها در محیط‌های شهری ممکن است دارای پل‌های هوایی و اتوبان‌های دو طبقه باشند که نسبت به سطح زمین اطراف خود دارای ارتفاع زیادی هستند و باعث ایجاد اغتشاش شدیدی در فضای ویژگی اطلاعات استخراجی از لایدار می‌شوند. با این شرایط، اهمیت یک مدل طبقه‌بندی مناسب که در انتها بتواند این تنوعات گوناگون راه را شناسایی کند، بیشتر نمایان می‌شود.

بهترین استراتژی به منظور شناسایی راه‌ها، بهره‌گیری از یک مدل گام به گام مبتنی بر استراتژی ماسک‌گذاری و مشابه به یک درخت تصمیم‌گیری می‌باشد. این مدل دارای گره‌های تصمیم‌گیری می‌باشد که در هر گره، بخشی از نواحی راه و غیر راه شناسایی می‌شوند. کلاس‌های اصلی عوارض موجود در تصویر، به جزء راه، شامل نواحی پوشش گیاهی، نواحی ساختمانی و نواحی مربوط به فضاهای باز شامل پیاده‌روها، پارکینگ‌ها و فضاهای بلااستفاده می‌باشد. این مدل زمانی می‌تواند بهترین نتیجه ممکن را حاصل کند که ترتیب کلاس‌های غیر راه که مرحله به مرحله شناسایی می‌شوند، به درستی انتخاب شود. در حقیقت کلاس‌هایی با بالاترین قابلیت تفکیک‌پذیری نسبت به کلاس راه می‌بایست در اولویت قرار گیرند. این کار باعث افزایش قابلیت تفکیک‌پذیری سایر کلاس‌ها از کلاس راه در گام‌های بعدی خواهد شد.

به جهت شناسایی ترتیب اشاره شده، از دو آنالیز تفکیک‌پذیری بهره‌گیری شده است. در آنالیز نخست از روش SFS و بر مبنای معیار تفکیک‌پذیری فاصله اقلیدسی نرمال (شکل ۳) و در آنالیز دوم از الگوریتم ژنتیک با همین معیار تفکیک‌پذیری استفاده شده است. در هر دو آنالیز یک فضای ویژگی شامل ویژگی‌های معمول طیفی و هندسی شیء مبنای تحت بهینه‌سازی قرار گرفت. از ماتریس تفکیک‌پذیری این روش برای طراحی مدل سلسله‌مراتبی و از فضای ویژگی بهینه جهت طراحی فضای ویژگی کلاس‌های مختلف در پیاده‌سازی مدل سلسله‌مراتبی بهره‌گیری شده است. در نتیجه حاصل از هر یک از این دو آنالیز، یک ماتریس تفکیک‌پذیری ناشی از میانگین فواصل ویژگی‌های بهینه میان کلاس راه و سایر کلاس‌ها حاصل می‌شود.



شکل ۳- مراحل آنالیز میزان تفکیک‌پذیری و انتخاب ویژگی روش SFS

بر این اساس مدل ارائه شده شامل چهار گره می‌باشد. در گره نخست، منطقه مورد مطالعه به دو کلاس گیاه و غیرگیاه تفکیک می‌شود. پس از این مرحله، سایر مراحل پردازشی روش پیشنهادی بر روی اشیاء غیر گیاهی انجام می‌شود. در گره دوم، منطقه غیر گیاهی به دو ناحیه مرتفع (High Region) و مسطح (Low Region) تفکیک می‌شود. عوارضی نظیر ساختمان‌ها، پل‌ها و اتوبان‌های دو طبقه جزء نواحی مرتفع و عوارضی از قبیل پیاده‌روها، معابر، پارکینگ‌ها، راه‌ها و سایر نواحی مربوط به فضای باز جزء نواحی مسطح قرار می‌گیرند. پس از این گره، نواحی

کلاس راه با یکدیگر ادغام شده و شبکه نهایی راهها تشکیل می‌شود (شکل ۴).

مسطح به دو کلاس راه مسطح و فضای باز تفکیک خواهند شد و در نهایت در گره چهارم، نواحی مرتفع به دو کلاس ساختمان و راه مرتفع تفکیک خواهند شد. در انتها نیز دو



شکل ۴- مدل سلسله‌مراتبی طراحی شده

شناسایی این کلاس بهره‌گیری از شاخص‌های پوشش گیاهی نظیر NDVI^۱ و SR^۲ (روابط ۸ و ۹) می‌باشد. شرح فضای ویژگی در کلاس‌های مختلف در جدول (۱) نمایش داده شده است.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (8)$$

$$SR = \frac{NIR}{Red} \quad (9)$$

۳-۴- پیاده‌سازی مدل سلسله‌مراتبی

در این بخش به تشریح فضای ویژگی در هر گره مدل طراحی شده پرداخته خواهد شد.

گره اول: بر طبق مدل پیشنهادی، در این گره هدف جداسازی منطقه مورد مطالعه به دو کلاس گیاه و غیر گیاه می‌باشد. با توجه به خصوصیت ویژه‌ی گیاه در دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک، بهترین گزینه جهت

جدول ۱- قوانین ویژگی‌های کلاس‌های مختلف

ویژگی/کلاس	سطح	NDVI	SR	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅
Vegetation	۲ سطح	۰.۷۰	۰.۷۰															
High Region	۴ سطح			۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰									۰.۷۰	
Low Region				۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰												
Low Road	۵ سطح								۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰					۰.۷۰
High Road	۶ سطح													۰.۷۰	۰.۷۰	۰.۷۰		

می‌باشد. ویژگی‌های مورد استفاده در این گره شامل روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ می‌باشد.

گره دوم: در این گره قطعه‌بندی بر روی اشیاء غیرگیاهی سطح ۴۰ انجام می‌شود. در این گره، هدف شناسایی و تفکیک المان‌های مرتفع از المان‌های مسطح

^۱ Normalized Difference Vegetation Index

^۲ Simple Ratio

$$f_5 = \frac{m}{n} \quad n : \text{number of neighbors for object} \\ m : \text{number of High Region Neighbor} \quad (14)$$

گره سوم: در این گره ابتدا قطعه‌بندی سطح ۶۰ بر روی اشیاء کلاس Low Region اجرایی‌شود. در این گره، هدف تفکیک کلاس Low Region به دو کلاس Low Road و Non-Low Road می‌باشد. کلاس Non-Low Road، شامل پیاده‌روها، فضاهای حاشیه‌ای اتوبان‌ها، فضای‌های مربوط به پارکینگ‌ها و برخی پوشش‌های خاکی می‌باشد. ویژگی‌های مورد استفاده در این گره شامل میانگین شدت موج بازگشتی، لایه منحنی میزان و شیب می‌باشد (روابط ۱۵-۱۷).

$$f_6 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Int}_i}{n} \quad (15)$$

n : number of Pixels for each objects

$$f_7 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Count}_i}{n} \quad (16)$$

n : number of Pixels for each objects

$$f_8 = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Slope}_i}{n} \quad (17)$$

n : number of Pixels for each objects

با توجه به اینکه نواحی راه با فاصله در کنار نواحی ساختمانی قرار می‌گیرند و در این حد فاصل معمولاً فضاهای بازی همانند پیاده‌روها وجود دارد، لذا جهت بهره‌گیری از این خصوصیت از ویژگی زیر استفاده می‌شود (رابطه ۱۸).

$$f_9 = \text{Rel.Border to Low Region Objects} \\ = \frac{\sum L_i}{\text{Object Perimeter}} \quad (18)$$

L_i : Common Border to low Region Object i

ویژگی بعدی که در این گره مورد استفاده قرار گرفته است، بر اساس نسبت فاصله مرکز ثقل شیء مورد نظر در کلاس Low Region به طول شیء مورد نظر طراحی شده است. در این ویژگی، هدف طبقه‌بندی و شناسایی اشیاء بر اساس اشیاء طبقه‌بندی شده می‌باشد. (رابطه ۱۹).

$$f_{10} = \frac{\text{Distance to The Nearest High Region Object}}{\text{Length of Object}} \quad (19)$$

گره چهارم: در این گره هدف شناسایی و تفکیک اشیاء کلاس High Road از سایر عوارض ارتفاعی کلاس

$$f_1 = \text{Mean Diff to neighbor} = \frac{\sum_{i=1}^n (DSM_o - DSM_i)}{n} \quad (10)$$

$$f_2 = \text{Mean Diff to Darker neighbor} \\ = \frac{\sum_{i=1}^m (DSM_o - DSM_i)}{m} \quad (11)$$

$$\text{for } i \text{ that } DSM_o \text{ is greater than } DSM_i, f_3 = f_1 \times f_2 \quad (12)$$

در منطقه مورد مطالعه، به علت وجود عوارض ساختمانی با ابعاد و مشخصات طیفی متنوع، بدیهی است که نمی‌توان در یک سطح قطعه‌بندی، همه ساختمان‌ها را در قالب یک شیء قرار داد. بنابراین در اینگونه موارد می‌بایست پایین‌ترین سطح مقیاس ممکن را برای این عوارض انتخاب نمود. بر طبق ویژگی‌های مورد استفاده که عموماً اختلاف مقادیر ویژگی DSM یک شیء را با همسایگانش مورد بررسی قرار می‌دهد، برخی از اشیاء ساختمانی که به علت ابعاد بزرگ در مقیاس مورد نظر قطعه‌بندی، در قالب چند شیء قرار گرفته‌اند، رفتار متفاوتی را نسبت به سایر اشیاء ساختمانی از خود به نمایش می‌گذارند. جهت رفع این مشکل از یک استراتژی پس‌پردازشی با استفاده از یک ویژگی مفهومی بهره‌گیری شده است. در این ویژگی، پس از طبقه‌بندی اولیه این دو کلاس بر روی اشیاء کلاس Low Region، درصد محیطی از هر شیء که در همسایگی با اشیاء طبقه‌بندی شده در کلاس High Region قرار دارد، به صورت عددی در بازه [۰ و ۱] محاسبه می‌گردد (رابطه ۱۳). در حقیقت این ویژگی به دنبال آشنایی در کلاس Low Region می‌باشد که در احاطه اشیاء کلاس High Region قرار دارند.

$$f_4 = \text{LowRegionObjectRel.Border to HighRegionObject} \\ = \frac{\sum L_i}{\text{Object Perimeter}} L_i \quad (13)$$

L_i : Common Border to high Region Object

در ویژگی دوم جهت بهبود نتایج برای هر شیء در کلاس Low Region، از نسبت تعداد اشیاء همسایه طبقه‌بندی شده در کلاس High Region بر روی تعداد کل اشیاء همسایه شیء مورد نظر، به صورت عددی در بازه [۰ و ۱] استفاده می‌شود (رابطه ۱۴). در حقیقت این ویژگی به دنبال آشنایی در کلاس Low Region می‌باشد که در احاطه آماری اشیاء کلاس High Region قرار دارند.

$$f_{14} = f_1 | \text{MeanDSM} - \text{MeanDSM of NeighborsObjects}| \quad (23)$$

در این ویژگی سعی شده است تا با الهام از ایده‌های ویژگی‌های شاخصی، از ضرب دو ویژگی، ویژگی‌ای با قابلیت تفکیک‌پذیری مناسب‌تر ایجاد شود. همانگونه که در ویژگی ارائه شده و نتیجه طبقه‌بندی ملاحظه می‌گردد، نواحی به اشتباه طبقه‌بندی شده در مرحله اول با استفاده از این ویژگی به درستی طبقه‌بندی شده‌اند.

گره سوم: در این بخش نیز از یک ویژگی ترکیبی بر اساس ویژگی تراکم (Compactness) بهره‌گیری شده است. این ویژگی به نوعی میزان فشردگی هندسی یک شیء را نمایش می‌دهد و از ضرب طول (m) و عرض (n) شیء تقسیم بر تعداد پیکسل‌های شیء (N) حاصل می‌شود (رابطه ۲۴).

$$\text{Compactness} = \frac{m \times n}{N} \quad (24)$$

مقدار این ویژگی، عددی در بازه [۰ و ۱] خواهد بود. در صورتی که شیء مورد نظر به شکل یک مربع یا مستطیل باشد، مقدار این ویژگی ۱ خواهد بود. در ویژگی شاخصی طراحی شده از ترکیب ویژگی Compactness و میانگین فاصله شیء مورد نظر با اشیاء کلاس High Region بهره‌گیری شده است (رابطه ۲۵).

$$f_{15} = \frac{\text{Compactness}}{\text{Mean of Distance to High Region Objects}} \quad (25)$$

نواحی راه مسطح به علت شکل خطی‌تر، دارای مقدار Compactness کمتری می‌باشند. علاوه بر این نیز این نواحی در بین سایر المان‌های کلاس Low Region دارای فاصله کمتری نسبت به المان‌های High Region می‌باشند. بر همین اساس اشیاء کلاس Low Road در ویژگی ۱۳ دارای مقادیر کمتری می‌باشند و اثر دو ویژگی یاد شده به صورت فزاینده در ویژگی ۱۳ اثر گذار خواهد بود.

گره چهارم: در نتیجه بهبود نتایج در دو گره دوم و سوم، نتایج گره چهارم نیز بدیهی است که بهبود می‌یابد. چرا که اغتشاش ما بین دو کلاس High Region و Low Region کاهش می‌یابد.

۴- نتایج عملی و ارزیابی

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل دو مجموعه داده سنجنده QuickBird شامل تصویر چند طیفی با چهار باند قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک، با قدرت تفکیک مکانی ۲/۴ متر (شکل ۵، بالا راست)، و

High Region می‌باشد. با توجه به خصوصیت خطی اشیاء کلاس راه، ویژگی‌زیر که متمایز کننده خصوصیات خطی اشیاء است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (رابطه ۲۰).

$$f_{11} = \frac{\text{Length}}{\text{Width}} \quad (20)$$

ویژگی دیگری که در این گره استفاده می‌شود، ویژگی Asymmetry یا عدم تقارن تشریح کننده یک شیء در قیاس با یک پلیگون منتظم می‌باشد. در این حالت، یک بیضی به شیء محاط می‌گردد و ویژگی مورد نظر برابر است با نسبت قطر کوچک به قطر بزرگ این بیضی (رابطه ۲۱).

$$f_{12} = 1 - \frac{n}{m} \quad (21)$$

از رابطه فوق، مشاهده خواهد شد که هر چه شیء مورد نظر به صورت یک شیء چهار گوشه و منتظم‌تر باشد، مقدار این ویژگی به سمت صفر میل می‌کند. ویژگی سوم مورد استفاده در این گره، نسبت طول به عرض برای خط اصلی شیء مورد نظر می‌باشد [۲۶].

$$f_{13} = \frac{\text{Length}}{\text{Width}} \text{ for the main Line} \quad (22)$$

۳-۵- بهبود نتایج

به علت پیچیدگی نواحی شهری و تراکم عوارض مختلف، ضروری است که پس از طبقه‌بندی اولیه عوارض و با استفاده از نتایج این مرحله، روش پس پردازشی جهت بهبود نتایج اجرا شود. در روش پیشنهادی، با استفاده از برخی ویژگی‌های آماری، مکانی و مفهومی مبتنی بر نتایج طبقه‌بندی اولیه عوارض، سعی در بهبود نتایج شده است. این نتایج پس پردازشی به جز گره نخست در سه گره بعدی به شرح زیر می‌باشد.

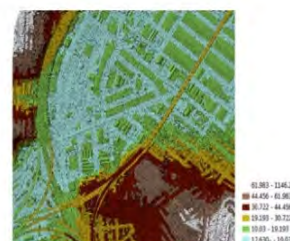
گره دوم: در این گره به جهت کاهش اشیاء مرتفع محصور در اشیاء هم ارتفاع خود، قبل از اجرای طبقه‌بندی با ویژگی‌های ارائه شده، می‌بایست به نحوی نتایج نامناسب قطعه‌بندی بهبود یابند. در این روش اشیائی که قدر مطلق اختلاف مقدار ویژگی DSM آنها با میانگین این ویژگی در همسایگانشان کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد، با استفاده از الگوریتم merge region ادغام می‌شوند. پس از بهبود نسبی نتیجه قطعه‌بندی، از یک ویژگی که ترکیبی از چند ویژگی مختلف می‌باشد، بهره‌گیری شده است (رابطه ۲۳).

بالا چپ: تصویر باند سیاه و سفید، پایین: ابر نقاط ارتفاعی داده‌های لایدار

۴-۱- قطعه‌بندی تصویر

بر اساس مباحث مطرح شده در قسمت قطعه‌بندی تصویر، جهت طبقه‌بندی پوشش‌اراضی، چهار سطح با مشخصات ارائه شده در جدول (۲) در طول فرایند پیاده‌سازی روش پیشنهادی ایجاد شده‌اند. آخرین ستون این جدول به کلاس‌هایی که در سطح مورد نظر، تنها اشیاء آن کلاس تحت قطعه‌بندی قرار می‌گیرند، اختصاص یافته است. در حقیقت در هر سطح، قطعه‌بندی بر روی اشیاء کلاسی که در سطح بعد مورد تحلیل قرار می‌گیرد، انجام می‌یابد. بدین ترتیب از هرگونه اغتشاش و ترکیب اشیاء دو کلاس مختلف در سطوح بعدی جلوگیری می‌شود.

تصویر تک باند سیاه و سفید با قدرت تفکیک مکانی ۰/۶ متر (شکل ۵، بالا چپ) و همچنین داده‌های ابر نقاط لایدار (شکل ۵، پایین) با تراکم نقاط ۹ نقطه در متر مربع، در بخشی از شهر سانفرانسیسکو آمریکا می‌باشد. مجموعه داده لایدار علاوه بر مختصات سه بعدی نقاط، حاوی داده‌هایی نظیر شدت موج بازگشتی و بازگشت‌های چندگانه می‌باشد.



شکل ۵- داده‌های منطقه مورد مطالعه، بالا راست: تصویر چند طیفی

جدول ۲- مشخصات سطوح مختلف قطعه‌بندی

Class Filter	Scale			وزن‌های لایه‌های طیفی						Level
		Compactness	Shape	NIR	Blue	Green	Red	Intensity	DSM	
-	۲۰	۰/۱	۰/۹	۱	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	سطح ۲۰
Non-Vegetation	۴۰	۰/۱	۰/۹	۱	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	سطح ۴۰
Low Region	۶۰	۰/۱	۰/۹	۱	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	سطح ۶۰
High Region	۷۰	۰/۱	۰/۹	۱	۱	۱	۱	۰/۵	۰/۵	سطح ۷۰

۴-۲- طراحی مدل سلسله‌مراتبی

همانطور که از جدول فوق قابل مشاهده است از سه کلاس پوشش گیاهی، ساختمان و فضای باز، کلاس گیاهی دارای بالاترین معیار تفکیک پذیری با کلاس راه بوده و دو کلاس ساختمان و فضای باز به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم می‌باشند. براساس این نتایج و نیز توضیحات فوق‌الذکر، یک مدل بر پایه استراتژی ماسک‌گذاری جهت شناسایی راه ارائه می‌شود. مدل سلسله‌مراتبی در حقیقت طراحی یک سیستم قانونمند است و کلاس‌ها را به ترتیبی طبقه‌بندی می‌نماید که کمترین میزان اغتشاش و یا بالاترین امکان تفکیک‌پذیری در نتایج طبقه‌بندی ایجاد شود. در این مدل، استراتژی اصلی در مرتب کردن کلاس‌ها براساس میزان سهولت در

همانگونه که اشاره شد، جهت طراحی مدل سلسله‌مراتبی از دو روش آنالیز تفکیک‌پذیری SFS و الگوریتم ژنتیک با معیار تفکیک‌پذیری فاصله اقلیدسی استفاده گردید. در جدول (۳) نتایج این دو روش ارائه شده است.

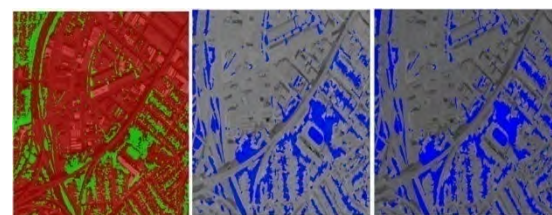
جدول ۳- آنالیز تفکیک پذیری کلاس‌های مختلف با کلاس راه

	Vegetation	Building	Open Space
SFS	۹/۴۳۵	۸/۳۱۵	۷/۸۵۶
GA	۱۰/۰۸۵	۹/۲۹۸	۵/۶۵

استخراج کلاس‌ها می‌باشد. همچنین از ویژگی‌های بهینه که یکی از خروجی‌های این مرحله می‌باشد، در مرحله بعدی و جهت اجرای طبقه‌بندی قانون مبنا استفاده می‌شود.

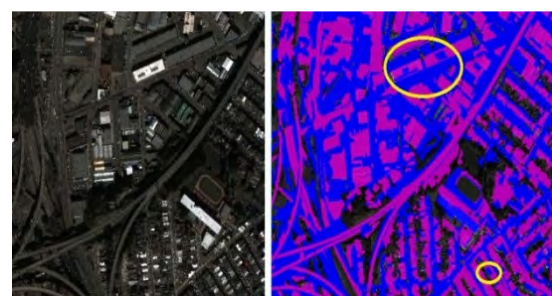
۳-۴- پیاده‌سازی مدل سلسله‌مراتبی

در این بخش نتایج هر یک از گره‌ها ارائه خواهد شد.
گره اول: در این گره هدف جداسازی منطقه مورد مطالعه به دو کلاس گیاه و غیر گیاه با استفاده از شاخص‌های گیاهی NDVI و SR می‌باشد که نتایج آن در شکل (۶) نشان داده شده است.

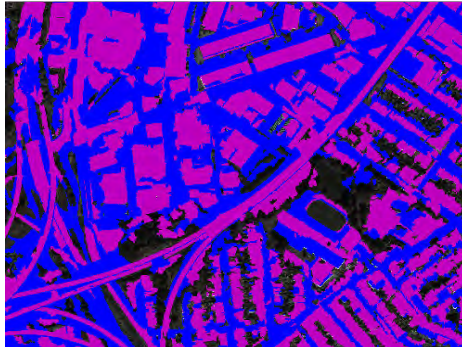


شکل ۶- نتیجه روش پیشنهادی در گره اول (تصویر میانی): نتایج حاصل از اعمال NDVI، تصویر راست: نتایج حاصل از اعمال SR، تصویر چپ: نتیجه طبقه‌بندی (رنگ سبز: پوشش گیاهی، رنگ قرمز: پوشش غیر گیاهی)

گره دوم: در این گره هدف شناسایی و تفکیک المان‌های مرتفع از المان‌های مسطح می‌باشد که نتایج اولیه بر اساس ویژگی‌های روابط ۱۰ الی ۱۲ در شکل (۷) و نتایج بهبود یافته بر اساس دو ویژگی مفهومی روابط ۱۳ و ۱۴ در شکل (۸) نمایش داده شده است.

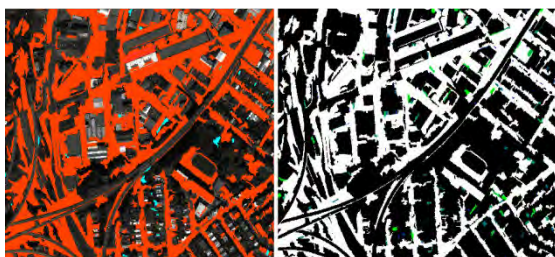


شکل ۷- نتیجه اولیه طبقه‌بندی برای دو کلاس High Region و Low Region (رنگ آبی: نواحی مسطح، رنگ بنفش: نواحی مرتفع)



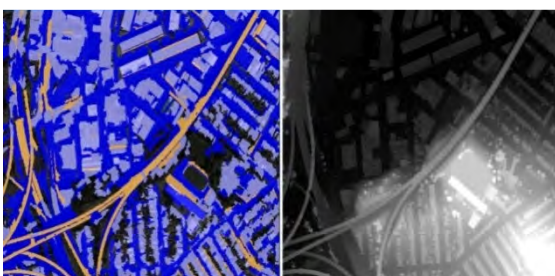
شکل ۸- نتیجه بهبود اولیه تفکیک دو کلاس High Region و Low Region (رنگ آبی: نواحی مسطح، رنگ بنفش: نواحی مرتفع)

گره سوم: در این گره هدف تفکیک کلاس Low Region به دو کلاس Low Road و Non-Low Road می‌باشد که بر اساس ویژگی‌های روابط ۱۵ الی ۱۹، اشیاء کلاس Low Road پس از ادغام اشیاء همجوار و حذف اشیاء با مساحت غیر قابل توجهیه برای این کلاس، در شکل (۹) نمایش داده شده است.



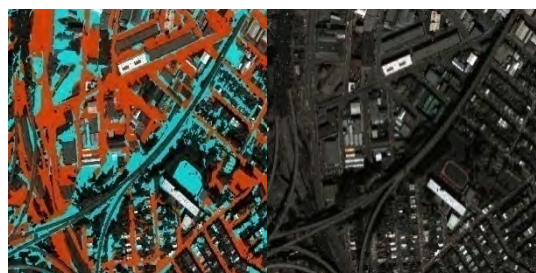
شکل ۹- نتیجه اولیه راه مسطح به همراه حذف اشیاء راه کم مساحت (رنگ آجری: راه‌های مسطح، رنگ آبی کم رنگ: راه‌های غیر مسطح)

گره ۴: در این گره هدف شناسایی و تفکیک اشیاء کلاس High Road از سایر المان‌های ارتفاعی کلاس High Region می‌باشد. در شکل (۱۰) نتیجه اولیه این گره بر اساس ویژگی‌های روابط ۲۰ الی ۲۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰- نتیجه اولیه گره ۴ (رنگ آبی تیره: نواحی مسطح، رنگ آبی کم رنگ: راه‌های مسطح، رنگ کرم: راه‌های مرتفع)

گره سوم: نتایج بهبود یافته این گره بر اساس ویژگی‌های تعریف شده با روابط (۲۴) و (۲۵) در شکل (۱۴) نمایش داده شده است.



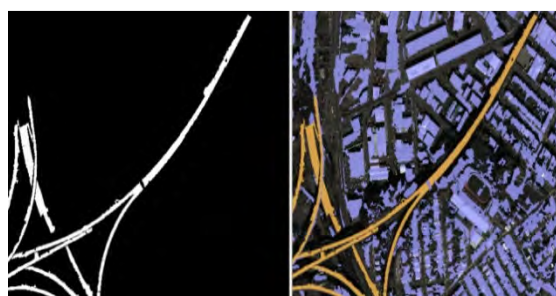
شکل ۱۴- نتیجه تفکیک دو کلاس Low Road و Non-Low Road (رنگ آجری: راه‌های مسطح، رنگ آبی کم رنگ: راه‌های غیر مسطح)

گره چهارم: در نتیجه بهبود نتایج در دو گره دوم و سوم، بدیهی است که نتایج گره چهارم نیز بهبود می‌یابد، زیرا که اغتشاش ما بین دو کلاس High Region و Low Region کاهش می‌یابد. شکل (۱۵)، تصویر راست) نتیجه طبقه‌بندی کلاس High Road را نمایش می‌دهد.



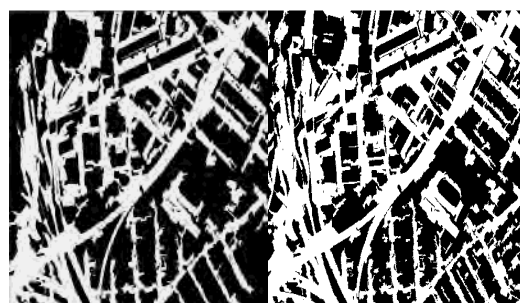
شکل ۱۵- نتیجه اولیه تفکیک کلاس High Region (رنگ آجری: راه‌های مرتفع، رنگ آبی کم رنگ: راه‌های مسطح)

نتایج حاصل از ادغام اشیاء کلاس High Road و حذف اشیاء کوچک غیر منطقی از این کلاس، در شکل (۱۶) نمایش داده شده است. در شکل (۱۷) نتیجه نهایی و ادغام دو کلاس High Road و Low Road نمایش داده شده است.



شکل ۱۶- نتیجه نهایی تفکیک کلاس High Region (رنگ آجری: راه‌های مرتفع، رنگ آبی کم رنگ: راه‌های مسطح)

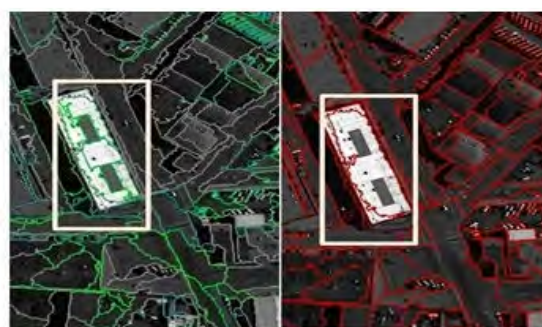
شکل (۱۱) نتیجه اولیه ادغام دو کلاس High Road و Low Road را قبل و بعد از حذف اشیاء کوچک نمایش می‌دهد.



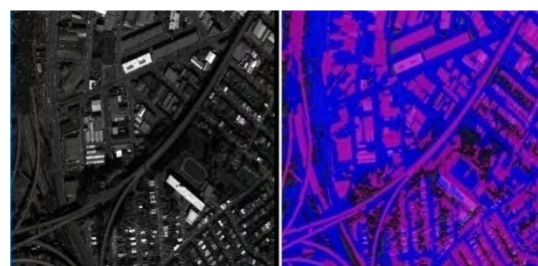
شکل ۱۱- نتیجه اولیه ادغام دو کلاس High Road و Low Road قبل و بعد از حذف اشیاء کوچک

۴-۴- بهبود نتایج

در این بخش نتایج بهبود داده شده از گره دوم به بعد و بر اساس ویژگی‌ها و مفاهیم بیان شده، ارائه می‌گردد. **گره دوم:** همانگونه که بیان گردید برای بهبود نتایج در این گره از الگوریتم merge region جهت ادغام عوارضی که در همسایگی هم قرار دارند، استفاده شده است. شکل (۱۲) نمونه‌ای از نتایج این مرحله را نمایش می‌دهد. همچنین نتیجه اعمال ویژگی رابطه (۲۳) در شکل (۱۳) نمایش داده شده است.



شکل ۱۲- نتیجه ادغام اشیاء هم ارتفاع همسایه (تصویر چپ: قبل از ادغام، تصویر راست: پس از ادغام)



شکل ۱۳- نتایج بهبود یافته طبقه‌بندی در گره اول به همراه ویژگی شاخصی ۱۴ (رنگ آبی: نواحی مسطح، رنگ بنفش: نواحی مرتفع)



شکل ۱۷- نتیجه نهایی ادغام دو کلاس High Road و Low Road

دارند. در سایر مناطق نیز راه‌ها دارای شکستگی‌ها و منافذ ریز می‌باشند. مهمترین دلیل این امر وجود وسایل نقلیه در حاشیه و یا وسط خیابان و بویژه وجود پوشش‌های گیاهی نظیر درختان و چمن در حاشیه راه‌ها می‌باشد.

۴-۵- ارزیابی نتایج

به منظور تفسیر و ارزیابی نتایج از تفسیر بصری نتایج در سطح پیکسلی و با معرفی نمونه‌ها (پیکسل‌های تصویری نمونه) بهره‌گیری شده است. در جدول (۴) نتایج ماتریس خطای حاصل از ارزیابی دقت نتایج حاصله نمایش داده شده است.

همانگونه که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود، در قسمت سمت چپ تصویر، نواحی نامنظمی از راه‌های تفکیک شده وجود دارد. در تصویر واقعی نیز در این قسمت نواحی وسیعی از راه‌ها به صورت متراکم در کنار یکدیگر وجود

جدول ۴- ماتریس خطای نتایج شناسایی کلاس‌های مختلف

User Class \ Sample	Vegetation	High Road	Non-High Road	Low Road	Non-Low Road	Sum
Confusion Matrix	0	0	0	0	0	0
Vegetation	142	2	26	2	8	180
High Road	0	260	0	0	0	260
Non-High Road	0	12	1009	3	6	1030
Low Road	0	3	20	352	4	379
Non-Low Road	1	8	96	23	31	159
unclassified	0	2	0	0	2	4
Sum	143	287	1151	380	51	
Producer	0.993	0.906	0.877	0.926	0.607	
User	0.7888	1	0.98	0.928	0.2	
KIA Per Class	0.992	0.892	0.909	0.909	0.574	
Totals						
Overall Accuracy	0.892					
KIA	0.832					

مشکل شناسایی در نواحی مرزی اشیاء موجود در این کلاس می‌باشد. در برخی نواحی مرزی به دلیل خطای نتایج قطعه-بندی، اشیاء این کلاس راه با نواحی مرزی آن شامل پیاده‌روها، ساختمان‌های اطراف و پل‌های هوایی، به اشتباه ادغام شده‌اند. با این وجود، دقت حاصل شده، رضایت‌بخش به نظر می‌رسد. در کلاس Low Road، نتایج مناسب‌تری حاصل شده است. مهمترین دلیل این امر را می‌توان ناشی از مرحله پس پردازش نتایج دانست. تفکیک مناسب دو کلاس High Region و Low Region، امکان شناسایی کلاس Low Road و نیز نواحی ساختمانی که تحت پوشش کلاس Non-High Road قرار دارند، را به بهترین نحو فراهم کرده است.

مهمترین اغتشاش اشیاء این کلاس را می‌توان با کلاس Non-Low Road بیان کرد. برخی نواحی راه به دلیل قرار گرفتن در سایه درختان مجاور راه و نیز سایه ساختمان‌های

تعداد نمونه‌های کنترلی جهت ارزیابی نتایج بر مبنای درصد سطح پوشش کلاس‌های مختلف در نتایج نهایی تعیین شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، دقت کلی شناسایی کلاس‌های مختلف ۸۹/۲٪ و نیز ضریب کاپای آن ۰/۸۳۲ می‌باشد. با توجه به شرایط ذکر شده و نیز اغتشاشات فراوان بین کلاسی، دقت حاصله رضایت بخش می‌باشد. در ادامه به شرح و تفسیر جزئی‌تر کلاس‌های مختلف پرداخته خواهد شد.

در کلاس High Road، دقت‌های ۹۰/۶٪، ۱۰۰٪ و ۰/۸۹۲ به ترتیب برای دقت‌های تولیدکننده، کاربر و ضریب کاپا حاصل شده‌اند. مهمترین مشکل این کلاس در دقت تولیدکننده و اغتشاش برخی نمونه‌های این کلاس با کلاس‌هایی نظیر Non-High Road و Low Road می‌باشد. با توجه به تمرکز نواحی این کلاس راه در بخش‌های خاصی از تصویر، عمده

حاشیه راه تیره‌تر بوده و از لحاظ ویژگی میانگین مقادیر شدت موج بازگشتی دارای مقادیر کمتری می‌باشند. بر همین اساس به اشتباه در کلاس Non-Low Road طبقه‌بندی شده‌اند. دلیل دیگر این امر را می‌توان ادغام اشتباه برخی از اشیاء این کلاس با نواحی ساختمانی مجاور دانست که ناشی از خطای مرحله‌قطعه‌بندی تصویر است، که بر روی مقادیر ویژگی شیب تاثیر گذار بوده است.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور تشخیص راه در منطقه‌ای با تنوع وسیعی از راه‌ها، روشی مبتنی بر بکارگیری همزمان تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و نیز ابر نقاط لایدار ارائه شد. در حقیقت، این تحقیق به دنبال شناسایی اولیه المان‌های کلاس راه به عنوان ورودی برخی روش‌های مربوط به استخراج راه می‌باشد.

یکی از مهمترین مباحث مطرح شده در این تحقیق را می‌توان معرفی برخی استراتژی‌های پس‌پردازشی موجود و استفاده از پیاده‌سازی گام به گام و هدفمند نمودن آنها به منظور بهبود نتایج دانست. همچنین طراحی یک مدل سلسله‌مراتبی گام به گام مبتنی بر تحلیل و بهینه‌سازی فضای ویژگی با بکارگیری آنالیزهای تفکیک‌پذیری دو روش بهینه‌سازی ارائه شد. بدون شک این طراحی مناسب بر دقت نهایی تاثیر فراوانی گذاشته است.

مراجع

شاید این سوال مطرح شود که چرا مرحله پس پردازش در قالب روش اصلی گنجانده نشده است. نخستین دلیل این امر را می‌توان این نکته دانست که اساس مرحله بهبود نتایج بر مبنای استفاده از نتیجه طبقه‌بندی اولیه اشیاء و استفاده از آنالیزهای آماری، مفهومی و حتی مکانی می‌باشد. دلیل دوم این است که طبقه‌بندی کلاس‌ها در مدل سلسله‌مراتبی پیشنهادی کاملاً وابسته به کلاس‌های دیگر می‌باشد و امکان تفکیک دقیق و مرحله به مرحله کلاس‌ها به طور کامل وجود نداشته و وجود یک مرحله پس پردازش به منظور بهبود نتایج ضروری می‌باشد. روش‌های شیء‌مبنا با در نظر گرفتن ساختار سلسله‌مراتبی نواحی شهری، قابلیت‌های مناسبی را در تولید اطلاعات پوشش اراضی و یا شناسایی کلاس‌های مختلف در این نواحی دارا می‌باشند. در حال حاضر و به دلیل توسعه اندک روش‌های بردارمبنا، تولید اطلاعات از داده‌های لایدار در این حوزه از قابلیت مناسبی برخوردار نمی‌باشد. در این تحقیق از یک استراتژی قانون‌مبنا در یک فرآیند مشابه با روش‌های تولید اطلاعات از تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، به منظور تولید اطلاعات رستر مبنای لایدار بهره‌گیری شد. جهت تولید اطلاعات پیوسته تصویری از داده‌های ابرنقاط و گسسته لایدار، بهترین راه حل، درونیایی یک فضای پیوسته از داده‌های لایدار با مثلث‌بندی نقاط می‌باشد. البته استفاده از دیگر روش‌هایی که بتوانند تلفیق داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های لایدار را در فضای ذاتی اطلاعات لایدار، یعنی فضای برداری انجام دهند، نیز می‌تواند مناسب باشد.

- [1] Benz Ursula C., Hofmann P, Willhauck G, Lingenfelder I, Heynen M, "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58 (2004) 239– 258.
- [2] Lackner, M., Conway, T.M., 2008. Determining land-use information from land cover through an object-oriented classification of IKONOS imagery. Canadian Journal of Remote Sensing 34 (2), 77_92.
- [3] Mena, J.B., 2003, State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification. Pattern Recognition Letters, V24, pp. 3037-3058.
- [4] Baltsavias, E.P., 2004, Objection extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, V58, pp.129-151.
- [5] Mokhtarzade, M. and M.J. Valadan Zoej, 2007, Road detection from high resolution satellite images using artificial neural networks, International journal of applied earth observation and geoinformation, 9 (1), 32-40
- [6] Disha Tiwari, G.P.Saroha, 2012, Road Network Extraction from Satellite Images By Active Contour (Snake) Model And Fuzzy C-Means, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 2, Issue 5, May 2012.

- [7] Bhirud S.G., T. R. Mangala, 2011, A New Automatic Road Extraction Technique using Gradient Operation and Skeletal Ray Formation, Mukesh Patel's School of Technology, Management and Engineering, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), Volume 29– No.1, September 2011.
- [8] Maurya R., Singh S., Gupta P.R, 2011, Road extraction using K-Means clustering and morphological operations, International journal of advanced engineering sciences and technologies Vol No. 5, Issue No. 2, 290 - 295
- [9] Hu, X.and Tao, C. And Hu, Y. (2004), "Automatic road extraction from dense urban area by integrated processing of high resolution imagery and Lidar data" .Geospatial Information and Communication &Technology lab. Department of earth &space science &engineering, York University, Canada.
- [10] Alharthy, A. & Bethel, J. (2003). Automated road extraction from lidar data. In ASPRS Annual Conference Proceedings, (pp. 1–8).Unpaginated CDROM.
- [11] Rottensteiner, F. [2001] Semi-automatic extraction of buildings based on hybrid adjustment using 3D surface models and management of building data in a TIS. PhD. thesis TU Wien.
- [12] ZhiW., et. al, 2012, Hierarchical algorithm in DTM generation and automatic extraction of road from LIDAR data, College of Computer Science and Technology, Jilin University, Qianjin, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B3, 2012, XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia
- [13] YouS., Zhao J., 2012, Road Network Extraction from Airborne LiDAR Data using Scene Context, University of Southern California, Los Angeles, CA 90089, IEEE, ISSN 2160-7508, E-ISBN 978-1-4673-1610-1.
- [14] Peng J.,2011, A method for main road extraction from airborne LiDAR data in urban area" Electronics, Communications and Control (ICECC), 2011 International Conference onDate of Conference: 9-11 Sept. 2011,Page(s): 2425 - 2428
- [15] Silva C. 2011, Automatic Road Extraction on Aerial Photo and Laser Scanner Data, Federal University of Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo / MG, Brazil, International Conference on Environmental and Computer Science, IPCBEE vol.19(2011), IACSIT Press, Singapore
- [16] Mathieu Renaud,Claire Freeman, JagannathAryal . Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery. Landscape and Urban Planning 81 (2007) 179–192(2007)
- [17] Cleve, C. Kelly M., Kearns ,F, R., Moritz, M.,Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and object-based classifications using high-resolution aerial photography. Computers, Environment and Urban Systems 32 317–326 (2008) October
- [18] Gusella, L., Adams, B., J., Bitelli, G., Huyck, C.K., Eeri, M., Mogno, A., 2005.Object oriented image understanding and post-earthquake damage assessment for the.2003 Bam, Iran, Earthquake.Earthquake Spectra 21 (S1), S225_S238.
- [19] Zhou Weiqi Zhou a, GanlinHuang , Austin Troy , M.L. Cadenasso. Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study. Remote Sensing of Environment 113 (2009) 1769–1777
- [20] Inglada Jordi.2007. Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images by SVM classification of geometric image features. ISPRS Journal ofPhotogrammetry& Remote Sensing 62 (2007) 236–248
- [21] Chen, Y., Shi, P., Fung, T., Wang, J., Li, Y., 2007.Object-oriented classification for urban land cover mapping with ASTER imagery. International Journal of Remote Sensing 28 (29), 4645_4651.
- [22] M. Forouzanfar, N. Forghani, and M. Teshnehlav, Parameter optimization of improved fuzzy c-means clustering algorithm for brain MR image segmentation, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 2010, 160–168.
- [23] Wang, M., Tseng, Y. H.. Automatic segmentation of LiDAR data into coplanar point clusters using an octree based split-and-merge algorithm [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2010, 76(4): 407-420.
- [24] Qiang Du, Desheng Wang, Constrained Boundary Recovery for Three DimensionalDelaunay Triangulations, Int. J. Numer. Meth.Engng, 2004
- [25] Aiazzi, B, Baronti S, Selva, M, Alparone, L. Enhanced Gram-Schmidt Spectral Sharpening Based on Multivariate Regression of MS and Pan Data. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006.IGARSS 2006.IEEE International Conference on. 3806 – 3809. 0-7803-9510-7
- [26] Definiens developer software user guide (2003).