

شناسایی و استخراج اتوماتیک راه از تصاویر چندطیفی با استفاده از تلفیق روشی شی گرا و سلسله مراتبی

سید عبا... کیانژاد تجنکی^{۱*}، حمید عبادی^۲، علی محمدزاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری و سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی

abdullah.kianejad@gmail.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ebadi@Kntu.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

almoh2@gmail.com

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۷، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۸)

چکیده

شناسایی و استخراج راه یکی از موضوعات مهم در زمینه فتوگرامتری و سنجش از دور و ماشین بینایی می باشد. تحقیقات بسیار زیادی در این خصوص بر مبنای تصاویر چندطیفی انجام شده که عمدتاً نتایج نسبتاً خوبی نیز به دست آمده است. در این مقاله، یک روش اتوماتیک و شی گرای سلسله مراتبی جهت شناسایی و استخراج عارضه راه در مناطق شهری پیشنهاد داده شده است. روش پیشنهادی این تحقیق مبتنی بر روش قطعه بندی شیفت میانگین^۱ و مدل رنگی HSI^۲ برای شناسایی عارضه راه است. ابتدا از تصویر چندطیفی قطعه بندی شده، شاخصهای طیفی NDVI^۳ و NDWI^۴ ایجاد شده، همچنین تصویر قطعه بندی شده فوق به فضای رنگی HSI انتقال یافت. در ادامه به کمک محصول رنگ و شاخصهای طیفی NDVI و NDWI و باند مادون قرمز نزدیک^۵ راههای اولیه شناسایی شدند. سپس با تکنیک برداری سازی مبتنی بر دیاگرام ورونی^۶ محور راهها استخراج شد. پس از استخراج محور راههای اولیه، بر اساس قواعد توپولوژیکی قطعات زائد متصل به راه حذف گردیدند. به منظور آزمون روش پیشنهادی، از تصویر ماهواره ای چندطیفی محدوده Moonah کشور استرالیا که توسط انجمن بین المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (ISPRS) ارائه شده، استفاده گردید. طبق نتایج ارزیابی، پارامترهای کامل بودن، صحت، کیفیت و F₁ Measure روش پیشنهادی به طور میانگین عبارتند از: ۰/۹۸، ۰/۸۵، ۰/۸۴ و ۰/۹۱ برآورد شده است. علاوه بر این، نتایج روش پیشنهادی با نتایج پنج روش از روشهای برجسته موجود در استخراج راه، مورد قیاس قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی نشان می دهد که روش پیشنهادی در شناسایی و استخراج راهها بر مبنای تصاویر چندطیفی ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، از قابلیت بسیار خوبی در مناطق شهری برخوردار است.

واژگان کلیدی: قطعه بندی شیفت میانگین، HSI، NDVI، NDWI، شناسایی و استخراج راه

* نویسنده رابط

^۱ Mean Shift

^۲ Hue, Saturation, Intensity

^۳ Normalized Difference Vegetation Index

^۴ Normalized Difference Water Index

^۵ Near InfraRed

^۶ Voronoi diagram

۱- مقدمه

امروزه برای انجام هر گونه برنامه‌ریزی و فعالیت اجرایی داشتن بانک اطلاعات مکانی و توصیفی بسیار مهم بوده و بروز نمودن بانک‌های اطلاعاتی مربوطه امری اجتناب‌ناپذیر است. یکی از مهمترین عوارض موجود در بانکهای اطلاعاتی عارضه راه می‌باشد که به طور عمده توسط متخصصین فتوگرامتری و سنجش از دور تولید می‌گردد. اگر چه استخراج راه توسط عوامل انسانی از دقت، صحت و قابلیت اطمینان بالایی برخوردار می‌باشد اما فرایند استخراج راه بسیار زمانبر بوده و هزینه بالایی را به دنبال خواهد داشت. راه‌ها در بسیاری از کاربردها از جمله حمل و نقل، سیستم‌های هدایت خودکار وسایل نقلیه، مدیریت ترافیک، واکنشها در مواقع وقوع بحران مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۳]. استخراج خودکار راه‌ها یک موضوع مهم و چالش برانگیز در سنجش از دور، فتوگرامتری، پردازش رقومی تصاویر و بینایی کامپیوتر می‌باشد [۳-۶].

محققین از چند دهه اخیر تا کنون در زمینه بهنگام‌سازی شبکه راه‌ها روشهای نیمه‌اتوماتیک و تمام‌اتوماتیک را بر مبنای داده‌های مختلف تصویری (پانکروماتیک، چندطیفی و ابرطیفی) و غیرتصویری (لایدار و رادار) پیشنهاد داده‌اند [۳، ۷، ۸] که تا حدودی نیز موفق بوده‌اند. به‌ترتیب، به دلیل وجود مشکلاتی از جمله سایه [۹]، وسایل نقلیه در امتداد راه‌ها [۱۰، ۱۱]، تشابه طیفی راه‌ها، مواد و مصالح متفاوت در ساخت راه [۱۲]، مشکلات مربوط به ردیابی صحیح در محل تقاطع راه‌ها [۱۱]، انسداد کامل بخشهایی از راه ناشی از حضور درختان با تاج پوشش گیاهی وسیع [۹] و وجود پارکینگهای روباز [۱۲] به صورت کریدوری و چند شاخه‌ای، فرایند اتوماتیک شناسایی و استخراج عارضه راه هنوز دچار چالشهای جدی بوده و کماکان بررسی و تحقیق در این خصوص مورد نیاز است.

در زمینه دسته‌بندی روشهای شناسایی و استخراج راه محققین، تقسیم‌بندیهای مختلفی را در این خصوص ارائه نمودند که از میان آنها، جامعترین روشهای دسته‌بندی روشهای شناسایی و استخراج راه را Mena در سال ۲۰۰۳ ارائه نمود [۳، ۵، ۱۳-۱۵]. دسته‌بندی‌های کلی انجام شده توسط Mena شامل، دسته‌بندی بر مبنای اهداف، دسته‌بندی بر مبنای روشهای استخراج سطح پایین و سطح متوسط راه، دسته‌بندی بر مبنای روشهای استخراج سطح

متوسط و سطح بالای راه و در نهایت دسته‌بندی روشهای استخراج راه بر مبنای داده‌های مورد استفاده می‌باشد [۳]. در سال ۲۰۰۲ امینی و همکاران یک روش شی‌مبنا جهت استخراج راه‌های اصلی ارائه نمودند [۱۶]. کار بر اساس دو مرحله موازی انجام شد. در مرحله اول یک تصویر که شامل عارضه راه بود قطعه‌بندی شد و قطعات خطوط مستقیم استخراج گردید. در مرحله دوم قدرت تفکیک تصویر کاهش یافت تا یک تصویر باینری تولید گردد. سپس اسکلت راه در تصویر باینری استخراج گردید. با ترکیب نتایج دو مرحله، مرزهای دوطرف راه استخراج گردیدند [۱۶].

در سال ۲۰۰۶ محمدزاده و همکاران ترکیبی از مورفولوژی ریاضی با مجموعه‌ای از قوانین فازی روشی را جهت استخراج خودکار راه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای ارائه نمودند [۱۷]. در روش پیشنهادی یک پیکسل (تا ماکزیمم ۳ پیکسل) را به عنوان مقادیر اولیه به الگوریتم پیشنهادی معرفی می‌شد. روش پیشنهادی نیازی به دانستن تعداد کلاس عوارض و نیز مقادیر میانگین آنها نداشت. از معایب روش پیشنهادی می‌توان به عدم موفقیت روش در نواحی که دارای سایه‌های وسیع بوده و نیز عرض راه کمتر از ۵ پیکسل باشد اشاره نمود [۱۸].

در سال ۲۰۰۷ مختارزاده و ولدان زوج، روشی جهت کشف راه با استفاده از الگوریتمهای شبکه‌های عصبی پیشنهاد دادند [۱۹]. با آموزش شبکه‌های عصبی و سپس تعمیم شبکه آموزش دیده بر روی تصویر در پنجره‌های مکانی با ابعاد مختلف اقدام به تمایز بین پیکسلهای راه و زمینه صورت گرفت.

در سال ۲۰۰۸ آقای مختارزاده و همکاران، روش شبکه عصبی به همراه خوشه‌بندی فازی را جهت استخراج راه پیشنهاد دادند. روش پیشنهادی در مناطقی که ویژگیهای طیفی و بافتی مشابه با عارضه راه داشتند دچار مشکل شده‌اند [۱۲].

در سال ۲۰۱۰ Dal Poz و همکاران، یک روش نیمه-اتوماتیک سه بعدی استخراج راه از یک تصویر به کمک برنامه‌نویسی پویا^۱ را پیشنهاد دادند که روش فوق به مدل رقومی زمین^۲ نیازمند بود. بر خلاف روشهای مرسوم برنامه‌نویسی پویا، این روش بر مبنای فرایند بهینه‌سازی

^۱ Dynamic Programming

^۲ D.T.M

روش زرین‌پنجه و همکاران، می‌توان به سرعت پایین محاسبات و زمانبر بودن آن اشاره نمود.

در سال ۲۰۱۳ Miao و همکاران، روشی به صورت تلفیق اطلاعات طیفی و شکل عوارض قطعات کاندیدای راه از نقشه باینری پیشنهاد دادند. ابتدا با فیلتر کردن لبه‌ها و حد آستانه گذاری، مناطق کاندیدا را از پس‌زمینه استخراج کردند [۴]. جهت استخراج صحیح محور راه از قطعات راه، از روش رگرسیون انعطاف‌پذیر چندمتغیره اسپیلین^۲، استفاده کرده، سپس نرم سازی محور راه انجام شد [۴].

در سال ۲۰۱۴ Poullis یک روش تنسور-کات پیشنهاد داد که به صورت همزمان از چند استخراج کننده (سطوح، منحنی‌ها و محل‌های تقاطع) و طبقه‌بندی کننده بهره می‌برد تا عوارض شهری و به ویژه عارضه راه از تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای استخراج نماید [۹]. در این روش به کمک قابلیت‌های رمزگذاری تنسوری، استخراج کننده فیلتر جابجایی گابور^۳ و بهینه‌سازی سراسری برش گراف^۴ روشی نظارت نشده و بدون بهره‌گیری از حدود آستانه را مورد استفاده قرار داد. از معایب روش Poullis می‌توان به وجود مشکل در مواجهه با درختان و سایه درختان اشاره نمود. عدم موفقیت در محل تلاقی برخی از راه‌ها که با تغییرات درجات خاکستری همراه بوده از دیگر مشکلات روش فوق می‌باشد.

همچنین در سال ۲۰۱۴ Miao و همکاران، یک روش استخراج راه بر اساس رای‌گیری تانسوری، انحناء اصلی و روش ژئودزیکی را پیشنهاد دادند [۲۴]. در این تحقیق رای‌گیری تانسوری مرتبه اول برای ایجاد نقاط عوارض استفاده نمودند تا بر روی انحناء‌های اصلی، با استفاده از یک زیرفضای مقید، شیفت میانگین^۵ تصویر گردند. سپس به کمک روشی ژئودزیکی^۶ خط مرکزی به صورت اتصال نقاط تصویر شده، ایجاد گردد.

در سال ۲۰۱۵ نیکفر و همکاران، یک چارچوب شی-مبنا بر مبنای روش شی‌گرای چند قدرت تفکیک و یک سیستم منطق فازی نوع دوم را پیشنهاد دادند [۲۵]. محققین مربوطه از الگوریتم ژنتیک برای پیاده‌سازی سیستم فازی استفاده کردند. در روش پیشنهادی فوق یک الگوریتم شناسایی گپ جهت کاهش حذف قطعات راه مورد استفاده قرار دادند [۲۵].

در فضای شی بیشتر از فضای تصویر استوار بود. از معایب روش Dal Poz و همکاران، می‌توان به عدم موفقیت روش پیشنهادی در مواجهه با از دست دادن لبه راه‌ها در محل تقاطعها، سایتهای کوچک، وجود سایه درختان و جا-افتادگی بخشهای از راه توسط درختان و ساختمانهای مجاور راه و مشکل هندسه پرسپکتیو تصویر و تغییرات ناگهانی عرض راه اشاره نمود [۲۰].

در سال ۲۰۱۲ Chaudhuri و همکاران، یک روش نیمه‌اتوماتیک شناسایی راه بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از عملگرهای بهبودیافته جهت‌دار مورفولوژیکی و قطعه‌بندی را پیشنهاد دادند [۲۱]. روش پیشنهادی به صورت چندمرحله‌ای از اطلاعات طیفی و مکانی به طور همزمان بهره برده است. مراحل اصلی عبارتند از: بهبود عارضه راه، قطعه بندی راه، پر کردن فضاهای خالی^۱، فیلتر کردن مناطق کوچک، فیلتر کردن مناطق بر مبنای طول، حذف قطعات کوچک و اتصال قطعات راه به یکدیگر. یکی از مشکلات روش پیشنهادی عدم تشخیص راه‌هایی است که عرض کمتر از ۵ پیکسل داشته باشند.

در سال ۲۰۱۲ Dal Poz و همکاران، یک روش مدل-مبنای نیمه‌اتوماتیک سه بعدی جهت استخراج راه در مناطق روستایی (برون شهری) با استفاده از تصاویر هوایی و با حالت استرنوسکوپی در فضای شی پیشنهاد دادند [۲۲]. این روش، یک استراتژی بر مبنای الگوریتم برنامه‌نویسی پویا داشته و یک راهکار برای حل مساله استخراج راه در فضای شی را فراهم می‌کند. در این روش ردیابی محور معابر بر مبنای روابط ریاضی میان نقاط راه در فضای شی در حالت استرنوسکوپی و با بهره‌گیری از اطلاعات رادیومتریکی بر مبنای تابع انرژی کار می‌کند.

در سال ۲۰۱۳ زرین‌پنجه و همکاران، یک چارچوب توزیع بر مبنای کلونی مورچگان را جهت بهنگام‌سازی نقشه راه، از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا پیشنهاد دادند [۲۳]. روش پیشنهادی یک روش طبقه-بندی در سطح شی شامل پیش پردازش، بازبینی، استخراج و گروه‌بندی است. از مزایای روش زرین‌پنجه و همکاران می‌توان به قابلیت استفاده از روش پیشنهادی در مواجهه انواع مختلف داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و هوایی و وابستگی کم به نوع داده‌های ورودی اشاره نمود. از معایب

^۲ Multivariate Adaptive Regression Splines

^۳ Gabor-jet

^۴ Graph-cut

^۵ Mean Shift

^۶ Geodesic

^۱ Hole filling

استفاده از یک سیستم منطق فازی مورد استفاده قرار می‌دهد تا موارد عدم قطعیت را در مدلسازی راه، کنترل نمایند. برای اثربخشی و مناسب‌سازی از الگوریتم کلونی مورچگان برای بهینه‌سازی مشکلات شبکه استفاده نمودند [۲۶]. در قیاس با دو روش پیشنهادی دیگری که توسط معبودی و همکاران در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ ارائه نمودند مشکل انقطاع قطعات راه ناشی از وجود سایه، وجود وسایل نقلیه منفرد در سطح راه و نیز حضور درختان با تاج پوشش گیاهی وسیع، کماکان باقی است و می‌بایست راهکارهای مناسبی در جهت رفع مشکلات فوق توسط محققین فتوگرامتری و سنجش از دور، ارائه گردد. انگیزه اصلی انجام تحقیق حاضر بر اساس به کارگیری تصاویر چندطیفی در استخراج راه و ارائه روش شی‌گرای سلسله مراتبی نوین و در عین حال ساده اما کارا در شناسایی راه مد نظر است که کمترین نیاز به تنظیم پارامترهای ورودی را داشته و بر مبنای دانش اولیه بسیار محدود و بدون توجه به نوع منطقه مطالعاتی را داشته باشد. همچنین روش پیشنهادی از نظر مدل دارای کمینه پیچیدگی باشد.

این تحقیق شامل مراحل زیر می‌باشد: بخش اول شامل مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده (استخراج راه مبتنی بر داده‌های چندطیفی) توسط محققین مختلف می‌باشد. بخش دوم شامل مراحل مختلف روش پیشنهادی است. بخش سوم شامل پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج است و نهایتاً بخش چهارم شامل نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد برای کارهای تحقیقاتی آتی ارائه خواهد شد.

۲- روش و الگوریتم پیشنهادی

شکل ۱ روندنمای روش پیشنهادی جهت شناسایی و استخراج راه را نشان می‌دهد. نوآوری تحقیق حاضر، کاهش اثرات سایه و اشیای بسیار روشن در تصویر که مانع شناسایی صحیح عارضه راه می‌گردد و نیز افزایش سطح پیوستگی راه‌ها می‌باشد.

در سال ۲۰۱۵ Miao و همکاران، یک روش نیمه-اتوماتیک شی‌گرا را جهت بهبود جداسازی عوارض خطی را با استفاده از فیلتر شی‌مبنای فرانگی^۱ و فیلتر شی‌مبنای^۲ OSF پیشنهاد نمودند [۱۵] که با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۳ قطعات راه را شناسایی می‌نمود. همچنین Miao و همکاران، در سال ۲۰۱۶ یک رویکرد تلفیق اطلاعات پیشنهاد دادند. این رویکرد دو نقشه راه باینری با استفاده از روش خوشه‌بندی بیشینه توقع^۴ و فیلتری خطی است. سپس محور هر دو نقشه راه با استفاده از روش RANSAC بهبودیافته، استخراج می‌شود. در نهایت تلفیق نتایج حاصل از دو روش شناسایی و به کارگیری قوانین منظم‌سازی برای تولید محورهای نهایی راه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند [۵].

همچنین معبودی و همکاران، در سال ۲۰۱۶ یک رویکرد چند مرحله‌ای بر مبنای اطلاعات بافتی، ساختاری و طیفی و نیز اطلاعات مفهومی اشیاء را برای استخراج راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا را پیشنهاد دادند [۶]. در این تحقیق یک اندکس خطی برای جداسازی قطعات راه از سایر عوارض بر مبنای کشیدگی قطعات تصویری عارضه راه پیشنهاد دادند. همچنین الگوریتم رای‌دهی تانسوری برای اتصال قطعات جا افتاده راه‌ها بهره بردند. در این تحقیق نیز برخی از قطعات راه ناشی از وجود وسایل نقلیه، سایه، وجود درختان با تاج پوشش گیاهی وسیع، مانع شناسایی برخی از قطعات راه بوده است. در برخی موارد نیز الگوریتم رای‌دهی تانسوری سبب اتصال راه‌های مجاور که کاملاً مجزا بوده‌اند، گردید.

در سال ۲۰۱۷ معبودی و همکاران، یک روش شی-گرای تحلیل تصویری^۵ یا OBIA به صورت قطعه‌بندی چندقدرت تفکیکه با کمک الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچگان برای شناسایی و استخراج راه پیشنهاد دادند. در این تحقیق یک تعریف همسایگی جدید در فضای شی جهت کاهش گپ میان قطعات راه پیشنهاد داده شد.

علاوه بر این، معبودی و همکاران در سال ۲۰۱۸، یک روش استخراج راه بر مبنای تحلیل شی‌گرای تصویری پیشنهاد دادند که توصیفگرهای مکانی، طیفی و بافتی را با

^۱ Frangi

^۲ Object-based Shape Filter

^۳ Support Vector Machine

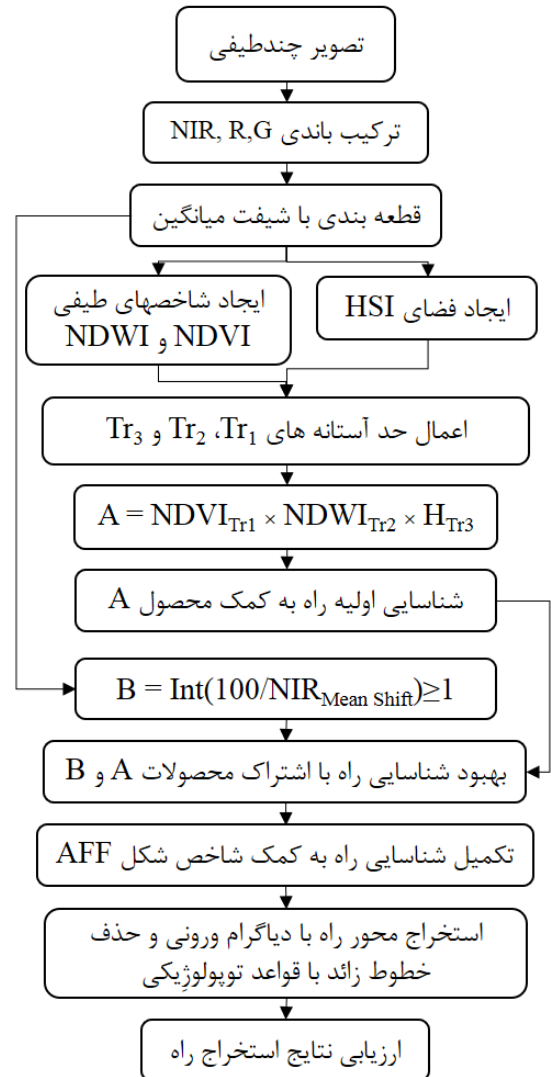
^۴ Expectation Maximization Clustering

^۵ Object-Based Image Analysis

مقادیر حدود آستانه فوق، ارائه خواهد شد. در مرحله سوم به کمک سه محصول فوق، شناسایی اولیه راه‌ها انجام می‌شود (اشتراک سه محصول باینری). محصول تلفیقی به دست آمده، فاقد عوارض پوشش گیاهی، پهنه‌های آب بوده اما ممکن است برخی عوارض همراه نیز اعم از ساختمانها و محدوده‌های غیر ساختمانی نیز، وجود داشته باشند. در نتیجه باید در مراحل آتی مورد پالایش قرار گیرند. به منظور پالایش نتایج اولیه و تکمیل شناسایی راهها، شاخص شکل و معیارهای مساحت و طول نیز مورد استفاده قرار خواهد گرفت. آخرین مرحله از روش سلسله مراتبی، استخراج محور راهها به کمک دیاگرام ورونی و حذف چند مرحله‌ای خطوط زائد می‌باشد.

۲-۱-۱- روش قطعه‌بندی شیفت میانگین

روش قطعه‌بندی شیفت میانگین در سال ۱۹۷۵ ابتدا توسط Hostetler و Fukunaga پیشنهاد داده شد [۲۷] و بعدا توسط Comaniciu و Meer جهت خوشه‌بندی و قطعه‌بندی تصویر مورد استفاده قرار گرفت [۲۸]. الگوریتم شیفت میانگین یک روش غیر پارامتریک بر مبنای تراکم، جهت آنالیز فضاهای پیچیده چند ماکزیمم برای توصیف خوشه‌های هم شکل است. این رویکرد نتایج فوق‌العاده‌ای را در خوشه‌بندی و توصیف اشیاء در تصاویر رنگی را ایجاد می‌نماید [۲۸]. الگوریتم فوق بر مبنای جستجوی حالت تراکم و خوشه‌بندی است. فضای ویژگی^۲ به طور تجربی به صورت تابع توزیع احتمال ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته می‌شود و نواحی فشرده مربوط به ماکزیمم‌های محلی است که با روشی تکراری ماکزیمم‌های محلی را پیدا می‌کند. این روش بر مبنای یک تابع کرنل به صورت $K(x)$ یا دامنه همسایگی جهت برآورد میانگین کار می‌کند و نشان می‌دهد چه تعداد نقاط x در برآورد میانگین مشارکت دارند. رابطه (۱) میانگین نمونه را با در نظر گرفتن نقاط x و کرنل K را نشان می‌دهد. اختلاف میان میانگین از x ، شیفت میانگین نامیده می‌شود. نحوه عملکرد این الگوریتم به صورت تکراری است و یک نقطه مانند x را با میانگین $m(x)$ مطابق با رابطه (۱) جابجا می‌کند. همچنین، در رابطه (۱) برای مجموعه‌ای از نقاط به تعداد n ، که x_i موقعیت هر نقطه در مجموعه نقاط و اندیس^۱، از ۱ الی n خواهد بود. علاوه بر این، در رابطه (۱)،



شکل ۱- روند نامی روش پیشنهادی جهت شناسایی و استخراج راه

۲-۱- روند سلسله مراتبی جهت شناسایی و استخراج راه

روند سلسله مراتبی در این تحقیق بر اساس شناسایی محدوده‌هایی در بردارنده عارضه راه بر اساس اطلاعات طیفی و هندسی است. در مرحله اول، ابتدا قطعه‌بندی با روش شیفت میانگین بر روی تصویر چندطیفی با باندهای NIR، R و G انجام خواهد شد. سپس در مرحله دوم، شاخصهای طیفی NDVI و NDWI و محصول رنگ H^1 مبتنی بر تصویر قطعه‌بندی شده فوق تولید گردیدند. بر اساس حدود آستانه Tr_1 ، Tr_2 و Tr_3 ، به ترتیب برای شاخصهای طیفی NDVI و NDWI و محصولات رنگ، سه تصویر باینری ایجاد می‌نماید. در قسمت‌های بعد

^۲ Feature space

^۱ Hue

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{V_1}\right), V_1 \neq 0, H \in [0, 360^\circ] \quad (4)$$

۲-۱-۳- شاخصهای طیفی NDVI و NDWI

یکی از راهکارهای شناسایی و استخراج عوارض استفاده از شاخص‌های طیفی است [۳۰, ۳۱]. شاخص‌های طیفی مبتنی بر خصوصیات طیفی اشیاء و عوارض بوده که از ترکیبات باندی میان تصاویر چندطیفی و یا ابرطیفی حاصل می‌شود [۳۲]. شاخصهای طیفی NDVI و NDWI دو نمونه از مشهورترین شاخصهای طیفی در سنجش از دور و فتوگرامتری می‌باشند [۳۳]. شاخص NDVI جهت شناسایی پوشش گیاهی در تصاویر چندطیفی است که در سالهای ۱۹۷۳ و ۱۹۷۴ توسط Rouse و همکاران پیشنهاد داده شد [۳۴] که طبق رابطه (۵) قابل محاسبه است. پارامترهای ρ_{NIR} و ρ_R به ترتیب مقدار انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می‌باشد. حد آستانه مورد استفاده برای شاخص NDVI، در بسیاری از تحقیقات انجام شده در گذشته حداقل حد آستانه مابین ۰/۱۴ الی ۰/۲۰ مورد استفاده قرار گرفتند [۳۴-۳۶] که نشان دهنده عوارض پوشش گیاهی از نوع درخت، چمنزار و سایر گونه‌های گیاهی است. لذا به منظور افزایش صحت مرحله شناسایی راه‌ها و متمایز ساختن آنها از انواع پوشش‌های گیاهی موجود در تصاویر چندطیفی، از حد آستانه (TR₂) ۰/۱۰ استفاده گردید.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (5)$$

همچنین شاخص NDWI به منظور شناسایی پهنه‌های آب در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد شد [۳۷] که طبق رابطه (۶) محاسبه می‌گردد. پارامترهای ρ_{NIR} و ρ_G در رابطه (۶)، انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک و باند سبز می‌باشند. همچنین جهت متمایز ساختن راه‌های تیره (که از مصالح آسفالت ساخته شده) از پهنه‌های آب به دلیل وجود تشابه طیفی، حد آستانه (TR₃) ۰/۵۰ برای شاخص طیفی NDWI در نظر گرفته شد.

$$NDWI = \frac{\rho_G - \rho_{NIR}}{\rho_G + \rho_{NIR}} \quad (6)$$

h شعاع کرنل، g کرنل گوسی و بردار شیفیت میانگین m متناظر با مقدار محاسبه شده در همسایگی مرکز کرنل (یا همان موقعیت نقطه x) می‌باشد.

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \quad (1)$$

۲-۱-۲- مدل رنگی HSI

مدل رنگی HSI تصاویر رنگی مبتنی بر باندهای طیفی معمول یعنی باندهای RGB را بر اساس روابط (۲)، (۳) و (۴) از فضای RGB به فضای HSI منتقل می‌نماید. در ترکیب رنگی HSI مولفه‌های رنگ^۱ و اشباع^۲ در ارتباط با مبحث رنگ و روشنایی در ارتباط با مولفه شدت^۳ می‌باشد [۲۹]. در این تحقیق از ترکیب باندی مادون قرمز نزدیک، قرمز و سبز به جای ترکیب باندی معمول RGB استفاده گردید تا تمایز بین پوشش گیاهی و سایر عوارض موجود در تصویر به خوبی حاصل شود. پس از انتخاب ترکیب باندی فوق و سپس اعمال روش قطعه‌بندی شیفیت میانگین، انتقال از فضای طیفی RGB (البته باندهای مورد استفاده NIR, R, G بوده‌اند) به فضای HSI انجام شد. به منظور کاهش اثر نویز فلفل نمکی مدل رنگی HSI بر روی تصویر قطعه‌بندی شده با روش شیفیت میانگین مورد استفاده قرار گرفت. جهت شناسایی اولیه عوارض راه (و سایر عوارض مشابه در همسایگی راه) مقدار حد آستانه TR₁ حداقل ۲۹۰ درجه برای پارامتر رنگ^۴ H در نظر گرفته شد و مقادیر برابر و یا بیشتر از آن به صورت محتمل عارضه راه (و یا عوارض شبیه به آن از نظر طیفی) و مقادیر کمتر از آن به کلاس عارضه غیر راه اختصاص داده شد.

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ -\frac{\sqrt{6}}{6} & -\frac{\sqrt{6}}{6} & \frac{\sqrt{6}}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{2}{\sqrt{6}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (3)$$

۱ Hue
۲ Saturation
۳ Intensity
۴ Hue

قطعات راه از قطعات ساختمانی و سایر ساختارهای همراه راه، تصویر باینری (محدوده‌های سطحی شناسایی شده) به صورت نقشه پلیگون مبنا تبدیل شد. سپس شاخص شکل AFF و معیار مساحت و طول سطح راهها مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، مرحله شناسایی راه تکمیل گردید. در صورتی که ساختمانهای منفصل از شبکه راهها (با اطلاعات طیفی مشابه راه)، که مساحت و کشیدگی زیادی نداشته باشند، به کمک شاخص شکل AFF، معیار مساحت و طول از عارضه راه به خوبی متمایز خواهند شد. متاسفانه بخشهای کوچکی از راههای شناسایی شده نیز به دلیل انسداد کامل راه توسط درختان و یا سایه، از شبکه راهها حذف خواهند شد. علت حذف این قطعات کوچک راه (با مساحت و طول کم)، وجود سایه‌ها و درختانی است که به طور متوالی سطح عارضه راه را در فواصل نزدیک قطع و یا مسدود نموده‌اند. لذا همزمان با حذف ساختمانهای تیره و منفرد (طول و مساحت کم)، این نوع از قطعات راهها نیز حذف خواهند شد. در صورتی که اطلاعات ارتفاعی (حاصل از تصاویر استرئو و یا سنجنده لیدار) وجود داشته باشد، این مشکل بروز نخواهد کرد. مجددا تاکید می‌گردد روش پیشنهادی حاضر بر مبنای یک تصویر چندطیفی بوده و فاقد اطلاعات ارتفاعی است.

$$AFF = \frac{Area}{(Perimeter)^2} \quad (9)$$

۲-۳- استخراج محور راه و پالایش خطوط زائد

بر مبنای قواعد توپولوژیکی

پس از پالایش راههای استخراج شده به صورت پلیگون مبنا، از روش دیاگرام ورونی محورهای راه استخراج شد. در خصوص دیاگرام ورونی و ایجاد پلیگونهای تیسین^۳ محققین بررسی‌های متعددی انجام داده‌اند [۳۹، ۴۰]. شکل ۲ به صورت شماتیک، مرحله برداری‌سازی محور راههای شناسایی و پالایش شده را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه یک قطعه راه شبیه‌سازی شده به صورت پلیگون، در قسمت ۲-الف ملاحظه می‌گردد که از تعداد رئوس محدودی برخوردار است. مرحله اول برداری‌سازی محور راه در روش دیاگرام ورونی، شامل متراکم سازی رئوس

همچنین همانند مدل رنگی HSI، شاخصهای طیفی NDVI و NDWI نیز، بر مبنای تصویر قطعه‌بندی شده با روش شیفت میانگین، تولید گردیده‌اند.

۲-۲- شناسایی اولیه و تکمیلی راه

پس از تولید شاخصهای طیفی NDVI و NDWI و محصول رنگ، و سپس اعمال حدود آستانه Tr_1 ، Tr_2 و Tr_3 بر روی سه محصول فوق، سه تصویر باینری ایجاد می‌گردد. در روش پیشنهادی، مرحله اول شناسایی بر اساس اشتراک سه تصویر باینری فوق، مطابق رابطه (۷)، انجام می‌شود. در خلال شناسایی اولیه، علاوه بر راهها، عوارض دیگری نیز مورد شناسایی قرار می‌گیرند. به منظور بهبود نتایج شناسایی، پالایش نتایج مرحله اول ضروری خواهد بود.

$$Pre_Road = H_{Tr_1} \times NDVI_{Tr_2} \times NDWI_{Tr_3} \quad (7)$$

در مرحله بعد، جهت پالایش راههای شناسایی شده اولیه و حذف قطعات غیر راه که در رابطه (۷) حذف نشده‌اند، از رابطه (۸) استفاده شد. در رابطه (۸)، منظور از $NIR_{MeanShift}$ باند مادون قرمز نزدیک از تصویر قطعه‌بندی شده می‌باشد (مطابق شکل ۱). پیشنهاد رابطه (۸)، به خاطر وجود ساختارهای تیره رنگ عارضه راه است که معمولا از آسفالت ساخته شده و راهها معمولا از درجات خاکستری نسبتا پایینی برخوردارند. حد آستانه رابطه (۸)، حداقل یک و یا بیشتر می‌باشد.

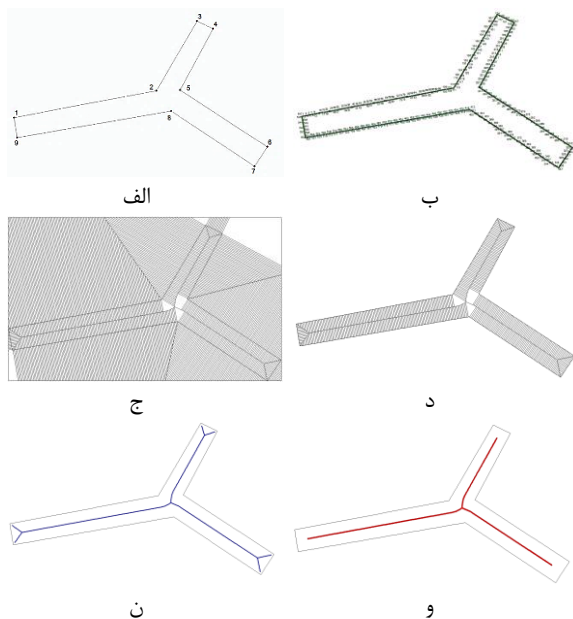
$$Detected_Road = Int(100 / NIR_{MeanShift}) \quad (8)$$

پس از شناسایی راهها، تعداد بشماری از ساختمان‌های تیره (شبیه راه البته به لحاظ طیفی) و معمولا هم به صورت گسسته و پراکنده در اطراف عارضه راه وجود خواهند داشت. به منظور حذف این نوع از عوارض به دلیل عدم برخورداری از مدل ارتفاعی سطح زمین^۱ از شاخص شکل AFF^2 مطابق رابطه (۹) استفاده شد [۳۸]. همچنین به دلیل وجود ساختارهای باریک و طولانی در راههای شناسایی شده و جهت جلوگیری از بروز اشتباه در انتخاب راههای فرعی، حد آستانه طولی و مساحت به ترتیب ۳۰ متر و ۲۰۰ متر مربع مد نظر قرار گرفت. جهت پالایش

^۳ Thiessen

^۱ D.S.M

^۲ Areal Form Factor



شکل ۲- استخراج محور راه شبیه سازی شده بر اساس قواعد توپولوژیکی و حذف خطوط زائد تنها در دو مرحله

۳- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

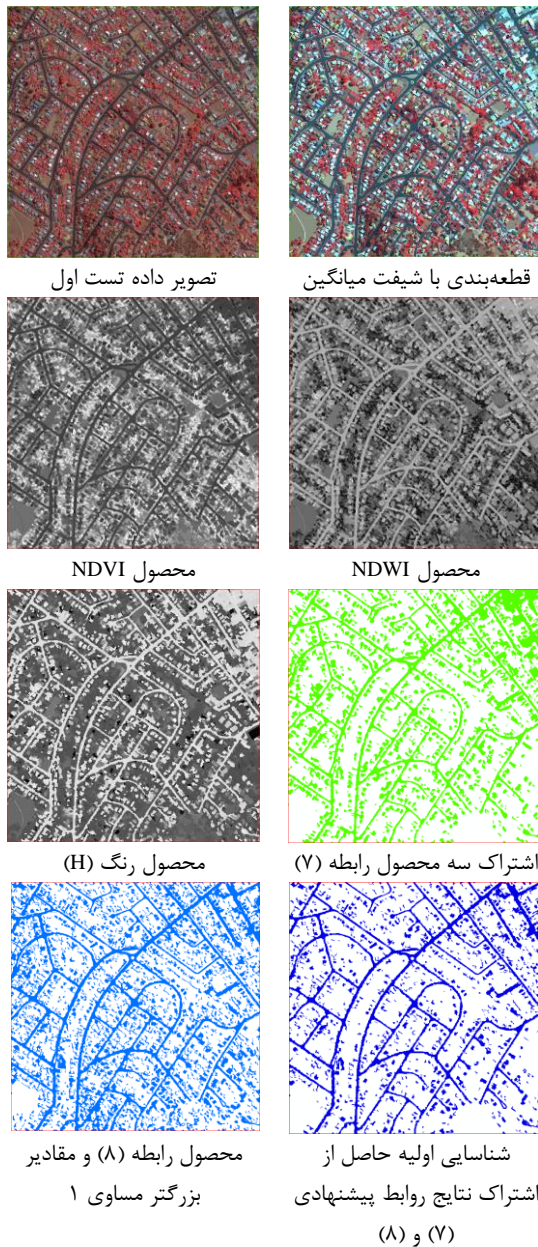
به منظور آزمون روش پیشنهادی این تحقیق، از تصویر ماهواره‌ای چندطیفی Moonah کشور استرالیا استفاده گردید. تصویر خام مورد استفاده توسط مجمع بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور ISPRS ارائه گردیده که شامل یک تصویر پانکروماتیک زمین مرجع شده سنجنده Ikonos با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر و نیز تصویر چندطیفی با قدرت تفکیک ۴ متر همان سنجنده می‌باشد. تصویر مورد نظر در زون ۵۵ سیستم تصویر UTM در نیمکره جنوبی زمین و در جنوب شرقی استرالیا واقع است. به منظور افزایش دقت مکانی، عمل تلفیق^۲ باندهای پانکروماتیک و تصویر چندطیفی (با روش گرام اشمیت^۳)، انجام شد. در نتیجه، تصویر چندطیفی تولیدی با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر حاصل گردید. به منظور مقایسه روش پیشنهادی با کارهای انجام شده توسط سایر محققین، سه محدوده تست که Miao و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی ارائه نمودند، استفاده گردید [۱۵].

همچنین جهت ارزیابی کارهای انجام شده سه معیار از معروفترین پارامترهای ارزیابی کمی، یعنی کامل بودن، صحت و کیفیت مطابق رابطه (۱۰) مورد استفاده قرار

مابین رئوس اصلی راه می‌باشد. متراکم سازی رئوس میانی مرزهای راه برای داده شبیه سازی شده ۲ متر در نظر گرفته شد. این در حالی است که تراکم نقاط می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. کاهش فواصل نقاط سبب افزایش محاسبات و کاهش سرعت مرحله استخراج خواهد شد. در مرحله دوم بر اساس مجموعه متراکم نقاط میانی مرز راهها، با کمک دیاگرام ورونی، پلیگونیهای تیسن ایجاد شده (شکل ۲-ج) که پس از حذف محدوده‌های خارج از بستر راه، مجموعه پلیگونیهای تیسن مطابق شکل ۲-د، به وجود می‌آید. از طریق تبدیل پلیگونیهای باقیمانده به خطوط، امکان حذف خطوط اضافی فراهم می‌گردد. بر پایه قواعد توپولوژیکی خطوطی که با مرز اولیه راهها، در تماس باشد انتخاب و از بین محوره‌های کاملا محاط در داخل راه حذف می‌گردد (شکل ۲-ن). سپس خطوط باقیمانده یکپارچه سازی می‌شود. سپس در مرحله بعد، خطوطی که در همسایگی نزدیک نسبت به مرز راه اولیه واقع هستند انتخاب و در صورتی که طول آنها کمتر از ۳۰ متر باشد حذف می‌گردند (شکل ۲-و). در صورتی که راههای مورد بررسی از پیچیدگی زیادی برخوردار باشند فرایند جستجوی خطوط شناور و مطابقت با حد آستانه طولی ۳۰ متر، در روندی تکراری ادامه می‌یابد. پس از ایجاد محور راهها، تعداد زیادی از خطوط زائد به صورت متصل به شبکه راهها و یا به صورت شناور وجود خواهند داشت. لذا به منظور نگاهداشت شبکه راهها که از پیوستگی مناسبی برخوردار باشد از قواعد توپولوژیکی بهره گرفته شد. ابتدا خطوط زائد^۱ با طولهای کمتر از حد آستانه تعریف شده (حدود ۳۰ متر برای راههای کوچک) شناسایی شده و حذف می‌گردد. در صورتی که طول خطوط شناور از حد آستانه تعریف شده کمتر باشد حذف و در غیر اینصورت با خطوط موجود اتصال داده شده و پس از یکپارچه سازی مجدداً مرحله جستجوی خطوط زائد و شناور با چند بار تکرار ادامه می‌یابد. در محدوده‌های بسیار وسیع و پیچیده حداقل سه بار تکرار مورد نیاز خواهد بود.

^۲ Fusion
^۳ GramSchmidt

^۱ Dangle error



شکل ۳- شناسایی اولیه راه‌ها- داده تست اول Moonah استرالیا

نتایج حاصل از روش پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های ۵ الی ۷ نمایش داده شده است. رنگ‌های سبز، قرمز و زرد به ترتیب بیان کننده پارامترهای TP، FP و FN می‌باشند. در جدول ۱، نتایج روش پیشنهادی در سه داده تست، به صورت کمی آورده شد. طبق جدول ۱ در داده تست اول، مجموع طول راه‌های صحیح به میزان ۱۲۳۱۲ متر، مجموع طول محور محدوده‌هایی که به اشتباه راه تلقی شده‌اند ۱۰۸۲ متر و مجموع طول بخش‌هایی از راه که به دلیل انسداد یا عدم شناسایی، استخراج نشده‌اند ۹۹ متر می‌باشد. لذا پارامترهای کمی کامل بودن، صحت و کیفیت و F₁measure برای داده تست اول به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۲،

گرفت [۴۱]. علاوه بر این، جهت بررسی همزمان پارامترهای صحت و کامل بودن، از پارامتر ارزیابی F₁Measure نیز مطابق رابطه (۱۱) استفاده گردید [۴۲]. در روابط (۱۰) و (۱۱)، پارامتر TP^۱ مجموع طول‌هایی که به طور صحیح منطبق بر محور راه‌های داده مرجع (قرار گیری محور استخراج شده تقریباً در نیمه داخلی پهنای هر گذر نسبت به محور مرکزی هر راه) می‌باشد. پارامتر FP^۲ مجموع طول‌هایی است که حاصل از استخراج اشتباه محورهایی هستند که عوارض مربوطه در کلاس راه قرار ندارند. پارامتر FN^۳ مجموع طول محورهای راهی است که توسط روش پیشنهادی استخراج نشده‌اند.

$$Correctness = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\%$$

$$Completeness = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (10)$$

$$Quality = \frac{TP}{TP + FP + FN} \times 100\% \quad (11)$$

$$F_1Measure = 2 \times \frac{Correctness \times Completeness}{Correctness + Completeness} = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN}$$

مبنای ارزیابی و قیاس روشها، شبکه راه‌های مرجعی به که توسط Miao و همکاران در سال ۲۰۱۵ ارائه گردیده است [۱۵].

نتایج حاصل از پردازش مرحله شناسایی راه در شکل ۳، ارائه گردید. در شکل ۳، تصویر خام با ترکیب باندی NIR، R و G به همراه تصویر قطعه‌بندی شده و نیز محصولات رنگ و شاخص‌های طیفی NDVI و NDWI مبتنی بر تصویر قطعه‌بندی اولیه قابل مشاهده است. در ادامه، به کمک شاخص شکل AFF و نیز معیار نگاهداشت بر اساس حدود آستانه مساحت و طول راه‌ها، مرحله شناسایی راه تکمیل می‌گردد. شکل ۴، نتایج نهایی شناسایی راه را نشان می‌دهد. در ادامه بر اساس تکنیک برداری‌سازی دیگرام ورونی و به صورت حداقل سه بار تکرار و حذف خطوط زائد، محور راه‌ها استخراج گردید.

^۱ True Positive

^۲ False Positive

^۳ False Negative



تصویر با داده واقعیت زمینی / تصویر با راه‌های استخراج شده
شکل ۵- داده تست اول از Moonah استرالیا



تصویر با داده واقعیت زمینی / تصویر با راه‌های استخراج شده
شکل ۶- داده تست دوم از Moonah استرالیا



تصویر با داده واقعیت زمینی / تصویر با راه‌های استخراج شده
شکل ۷- داده تست سوم از Moonah استرالیا

مقایسه نتایج روش پیشنهادی با نتایج روشهای موجود از جمله Geodesic, MARS, SVM و Principal Curve که توسط Miao و همکاران [۱۵] به انضمام کار تحقیقاتی معبودی و همکاران [۲۶]، طبق جداول شماره ۲، ۳ و ۴ انجام شده است. همانطور که در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است بالاترین مقدار پارامتر کامل بودن در داده تست اول، مربوط به روش پیشنهادی است و نسبت به روش SVM نیز ۵ درصد بهبود را نشان می‌دهد. از نظر صحت روش معبودی و همکاران و نیز روش SVM به ترتیب به میزان دو و یک درصد از روش پیشنهادی صحت بالاتری را دارا می‌باشند. از نظر کیفیت نیز روش پیشنهادی در داده تست اول، به ترتیب دارای ۴ و ۷ درصد بهبود نسبت به روشهای SVM و روش معبودی و همکاران را نشان می‌دهد. همچنین از نظر پارامتر F_1 measure نیز بهبود ۲ درصد و ۴

۹۱٪ و ۹۵٪ می‌باشد. علاوه بر این، مطابق با جدول ۱، برای داده تست دوم نیز پارامترهای TP، FP و FN به ترتیب ۱۰۶۶۷، ۲۷۰۵ و ۱۲۷ متر و پارامترهای کمی کامل بودن، صحت و کیفیت و F_1 measure نیز به ترتیب برابر ۹۹٪، ۷۹٪، ۷۹٪ و ۸۷٪ می‌باشند.



شکل ۴- راه‌های شناسایی شده - داده تست اول از Moonah

همچنین به طریق مشابه در جدول ۱، در داده تست سوم نیز پارامترهای TP، FP و FN به ترتیب ۹۳۵۳، ۱۶۹۵ و ۲۶۷ متر و پارامترهای کمی کامل بودن، صحت و کیفیت و F_1 measure نیز به ترتیب برابر ۹۷٪، ۸۴٪، ۸۲٪ و ۹۰٪ می‌باشند.

شایان ذکر است که دلیل افزایش صحت روش پیشنهادی در داده تست اول نسبت به دو داده دیگر، عدم وجود مشکلاتی از جمله وجود پارکینگ‌های روباز و مناطق صنعتی و کارخانجات بوده است. در ادامه، روش پیشنهادی با روشهای موجود، مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

جدول ۱- مقایسه نتایج در سه مجموعه داده تست Moonah استرالیا

پارامترهای ارزیابی	تست اول	تست دوم	تست سوم
TP به متر	۱۲۳۱۲	۹۳۵۳	۱۰۶۶۷
FP به متر	۱۰۸۲	۱۶۹۵	۲۷۰۵
FN به متر	۹۹	۲۶۷	۱۲۷
کامل بودن	%۹۹	%۹۹	%۹۷
صحت	%۹۱	%۷۹	%۸۴
کیفیت	%۹۱	%۷۹	%۸۲
F_1 Measure	%۹۵	%۸۷	%۹۰

شکل ۸ دو نمونه از عدم موفقیت روش پیشنهادی را به همراه خطای FP با رنگ سرخ، نشان می‌دهد. همچنین در قسمت شمال شرقی شکل ۸ (ب)، مجموعه درختان انبوه با تاج پوشش وسیع دیده می‌شود که روش پیشنهادی به دلیل محو شدن عارضه راه دچار خطای FN شده که با رنگ زرد نمایش داده شده است.



شکل ۸- ضعف روش پیشنهادی در حذف پارکینگها و کریدورهای محدوده‌های صنعتی و مناطق مشابه (FP با رنگ سرخ نمایش داده شده)

همچنین با بررسی داده تست سوم مطابق با جدول ۴، روش پیشنهادی از لحاظ پارامترهای کامل بودن و صحت از مقادیر نسبتا قابل قبولی برخوردار می‌باشد. در این مجموعه داده تست، روشهای Geodesic و Principal Curve بیشترین مقدار پارامتر کامل بودن را دارا می‌باشند. همچنین روش MARS و روش معبودی و همکاران، از بالاترین صحت در مقایسه با سایر روشها برخوردارند. اما از نظر پارامترهای کیفیت و F₁measure روش پیشنهادی و روش معبودی و همکاران، از مقادیر تقریبا یکسانی برخوردار بوده اما نسبت به سایر روشها برتری قابل توجهی دارند. البته شایان ذکر است که روش پیشنهادی در قیاس با روش معبودی و همکاران، بهبود ۷ درصدی در پارامتر کامل بودن برخوردار بوده و متقابلا روش معبودی و همکاران، از نظر پارامتر صحت، به میزان ۷ درصد نسبت به روش پیشنهادی صحت بالاتری را دارا می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه روش پیشنهادی با برخی از روشهای موجود - داده تست سوم

داده تست سوم				
روشها	کامل بودن	صحت	کیفیت	F ₁ measure
MARS[4]	%۵۶	%۹۱	%۵۴	%۶۹
Geodesic[43]	%۹۹	%۵۸	%۵۷	%۷۳
SVM[15]	%۸۶	%۸۳	%۷۳	%۸۴
Principal Curve[15]	%۹۹	%۶۲	%۶۲	%۷۶
Maboudi, et al; 2018	%۹۰	%۹۱	%۸۲	%۹۰
روش پیشنهادی	%۹۷	%۸۴	%۸۲	%۹۰

درصد نسبت به روشهای SVM و روش معبودی و همکاران، مشاهده گردید.

جدول ۲- مقایسه روش پیشنهادی با برخی از روشهای موجود - داده تست اول

داده تست اول				
روشها	کامل بودن	صحت	کیفیت	F ₁ measure
MARS[4]	%۸۷	%۷۲	%۶۵	%۷۹
Geodesic[43]	%۸۶	%۸۵	%۷۵	%۸۵
SVM[15]	%۹۴	%۹۲	%۸۷	%۹۳
Principal Curve[15]	%۹۳	%۸۳	%۷۹	%۸۸
Maboudi, et al; 2018	%۸۹	%۹۳	%۸۴	%۹۱
روش پیشنهادی	%۹۹	%۹۱	%۹۱	%۹۵

مطابق با جدول ۳ در داده تست دوم، روش پیشنهادی از نظر کامل بودن، بهبود قابل توجهی در حدود ۵ و ۱۰ درصد را نسبت به روش SVM و روش معبودی و همکاران، به دست آورده اما متاسفانه پارامتر صحت پایینی (حدود ۷۹٪) داشته که غالب روشها نسبت به روش پیشنهادی بهتر عمل نموده‌اند. یکی از دلایل اصلی کاهش صحت در داده تست دوم وجود پارکینگهای روباز و نیز کریدورهای ارتباطی داخل محدوده کارخانجات می‌باشد که عموما از نظر طیفی بسیار شبیه به عارضه راه هستند. لذا باید اذعان نمود روش پیشنهادی، توانایی شناسایی و حذف پارکینگهای روباز و مسیرهای کریدوری مابین محدوده‌های صنعتی و کارخانجات را ندارد. اما در خصوص پارامتر کیفیت و F₁measure به دلیل کم بودن خطای FN روش پیشنهادی در داده تست دوم، کاهش چشمگیری مشاهده نشد و اختلاف با سایر روشها در حدود یک یا دو درصد می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه روش پیشنهادی با برخی از روشهای موجود - داده تست دوم

داده تست دوم				
روشها	کامل بودن	صحت	کیفیت	F ₁ measure
MARS[4]	%۸۴	%۷۵	%۶۶	%۷۹
Geodesic[43]	%۸۸	%۹۱	%۸۰	%۸۹
SVM[15]	%۸۲	%۹۷	%۸۱	%۸۹
Principal Curve[15]	%۸۲	%۹۵	%۷۹	%۸۸
Maboudi, et al; 2018	%۸۶	%۹۵	%۸۲	%۹۰
روش پیشنهادی	%۹۹	%۷۹	%۷۹	%۸۷

چندطیفی) و نیز حد آستانه گذاری مولفه رنگ در فضای رنگی HSI، عوارض راه و نیز عوارض همسایگی آنها که بسیار شبیه راه هستند، شناسایی شدند. به منظور جداسازی عوارض واقع در همسایگی راه، که معمولا روشنتر از عوارض کلاس راه هستند از باند مادون قرمز نزدیک از تصویر قطعه‌بندی شده استفاده شد.

پس از شناسایی اولیه، به کمک شاخص شکل AFF و نیز حد آستانه طول و مساحت، شناسایی عارضه راه تکمیل گردید. سپس استخراج محور راه به کمک روش دیاگرام ورونی انجام شد و در ادامه، طی یک فرایند تکراری مبتنی بر قواعد توپولوژیکی خطوط زائد (محورهای اشتباه) تا حد ممکن شناسایی و حذف شدند. در نهایت، ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی با سایر روشهای موجود بر اساس داده‌های تست پیشنهادی Miao و همکاران در سال ۲۰۱۵ و معبودی و همکاران در سال ۲۰۱۸ انجام پذیرفت [۱۵، ۲۶]. نتایج حاصله و قیاس صورت پذیرفته با برخی از روشهای معروف موجود در زمینه استخراج راه مبتنی بر تصاویر چندطیفی، حکایت از قابلیت بالای روش پیشنهادی در شناسایی و استخراج راه در مناطق شهری دارد. از مزایای این تحقیق می‌توان به مدل ساده روش پیشنهادی در مرحله شناسایی اشاره نمود که تنها بر اساس دانش عمومی در خصوص وجود پوشش گیاهی و پهنه‌های آب استوار گردیده و استخراج محور راه نیز بر مبنای حداقل طول ۳۰ متر و مساحت سطح بستر راه حداقل ۲۰۰ متر مربع می‌باشد. از جمله مشکلات روش پیشنهادی نیز می‌توان به وجود تشابه طیفی میان عارضه راه با برخی از ساختمانها، محدوده اراضی تیره رنگ، پارکینگ‌های روباز در مناطق شهری و نیز مسیرهای کریدوری در مناطق صنعتی، کارخانجات اشاره نمود. البته در خصوص ساختمانهایی که از نظر طیفی شبیه عارضه راه هستند، با کمک معیار AFF تعداد قابل توجهی از ساختمانهای مربوطه حذف می‌شوند اما در صورتی که ساختمانهای مربوطه در همسایگی بسیار نزدیک راه بوده و یا از کشیدگی زیادی برخوردار باشند، روش پیشنهادی حاضر، قادر به حذف کامل آنها نخواهد بود و جهت حذف کامل این نوع خطا، وجود اطلاعات ارتفاعی ضروری است. مشکل دیگر روش پیشنهادی در مواجهه با انسداد کامل راه توسط درختان با تاج پوشش گیاهی وسیع می‌باشد.

همچنین برای بررسی بیشتر، نتایج سه مجموعه داده تست میانگین‌گیری شد. جدول ۵ بر اساس متوسط نتایج جداول ۲، ۳ و ۴ به دست آمده است. طبق جدول ۵، روش پیشنهادی به طور متوسط در پارامتر کامل بودن به میزان ۷ درصد نسبت به روشهای Geodesic و Principal Curve بهبود داشته و سایر روشها از مقادیر متوسط کمتری برخوردار بودند. از نظر صحت روش پیشنهادی پس از روشهای معبودی و همکاران و روش SVM در جایگاه سوم قرار گرفته است و روشهای فوق به طور متوسط به ترتیب ۸ و ۶ درصد صحت بالاتری نسبت به روش پیشنهادی داشته‌اند. از نظر پارامتر کیفیت، روش پیشنهادی و روش معبودی تقریبا به یکدیگر نزدیک بوده و روش پیشنهادی به طور متوسط تقریبا یک درصد بهبود داشته است. همچنین از لحاظ پارامتر F_1 Measure، نیز روش پیشنهادی با روش معبودی و همکاران و روش SVM، تقریبا مقادیر متوسط مشابهی داشته و بهبود روش پیشنهادی به ترتیب حدود یک درصد بوده است.

جدول ۵- مقایسه روش پیشنهادی با برخی از روشهای موجود - بر اساس میانگین نتایج سه مجموعه داده تست

متوسط نتایج سه مجموعه داده تست				
روشها	کامل بودن	صحت	کیفیت	F_1 measure
MARS[4]	%۷۶	%۷۹	%۶۲	%۷۶
Geodesic[43]	%۹۱	%۷۸	%۷۱	%۸۲
SVM[15]	%۸۷	%۹۱	%۸۰	%۸۹
Principal Curve[15]	%۹۱	%۸۰	%۷۳	%۸۴
Maboudi, et al; 2018	%۸۸	%۹۳	%۸۳	%۹۰
روش پیشنهادی	%۹۸	%۸۵	%۸۴	%۹۱

۴- نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق، یک روش شی‌گرای سلسله مراتبی جهت شناسایی و استخراج راه پیشنهاد داده شد. ابتدا تصویر چندطیفی با باندهای NIR، R و G، توسط روش قطعه‌بندی شیفت میانگین قطعه‌بندی شد. سپس شاخصهای طیفی NDVI و NDWI بر اساس تصویر قطعه‌بندی شده، تولید گردیدند. همچنین تصویر قطعه‌بندی شده به فضای HSI انتقال داده شد. در ادامه با حد آستانه گذاری بر مبنای دانش اولیه محدود در خصوص عوارض پوشش گیاهی و نیز پهنه‌های آب (صرف نظر از وجود یا عدم وجود پوشش گیاهی یا پهنه آب در تصاویر

چندطیفی با قدرت تفکیکی مکانی بالا، از داده‌های سنجنده لایدار به طور همزمان بهره برد.

سپاسگزاری

محققین از انجمن بین المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (ISPRS) بابت ارائه تصویر ماهواره‌ای سنجنده Ikonos قدردانی می‌نمایند.

برای کارهای تحقیقاتی آتی پیشنهاد می‌گردد از ترکیبات بانندی مختلف در ایجاد تمایز عوارض مختلف در فضای رنگی RGB (البته با باندهای مختلف) بهره گرفته شود تا بتوان مرحله شناسایی راه را تسهیل نمود و متعاقبا از ترکیب رنگی بهینه در حل مشکلات وجود سایه، انسداد راه ناشی از حضور وسایل نقلیه، درختان و ... استفاده نمود. علاوه بر این، به منظور بهبود نتایج شناسایی و استخراج راه به ویژه در مناطق پیچیده شهری، علاوه بر تصاویر

مراجع

- [1] A. Boyko and T. Funkhouser, "Extracting roads from dense point clouds in large scale urban environment," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 66, no. 6, Supplement, pp. S2-S12, 2011/12/01/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.09.009>.
- [2] A. A. Matkan, "Road Extraction from Lidar Data Using Support Vector Machine Classification," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. v. 80, no. no. 5, pp. pp. 409-422-2014 v.80 no.5, 2014-05-01 2014, doi: 10.14358/PERS.80.5.409.
- [3] J. B. Mena, "State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification," Pattern Recognition Letters, vol. 24, no. 16, pp. 3037-3058, 2003/12/01/ 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(03\)00164-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(03)00164-8).
- [4] Z. Miao, W. Shi, H. Zhang, and X. Wang, "Road Centerline Extraction From High-Resolution Imagery Based on Shape Features and Multivariate Adaptive Regression Splines," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 10, no. 3, pp. 583-587, 2013, doi: 10.1109/LGRS.2012.2214761.
- [5] Z. Miao, W. Shi, A. Samat, G. Lisini, and P. Gamba, "Information Fusion for Urban Road Extraction From VHR Optical Satellite Images," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 9, no. 5, pp. 1817-1829, 2016, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2498663.
- [6] M. Maboudi, J. Amini, M. Hahn, and M. Saati, "Road Network Extraction from VHR Satellite Images Using Context Aware Object Feature Integration and Tensor Voting," Remote Sensing, vol. 8, no. 8, 2016, doi: 10.3390/rs8080637.
- [7] L. Quackenbush, A Review of Techniques for Extracting Linear Features from Imagery. 2004.
- [8] L. Quackenbush, I. Im, and Y. Zuo, Road extraction: A review of LiDAR-focused studies. 2013, p. 155.
- [9] C. Poullis, "Tensor-Cuts: A simultaneous multi-type feature extractor and classifier and its application to road extraction from satellite images," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 95, pp. 93-108, 2014/09/01/ 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.006>.
- [10] S. Das, Mirmalinee, T. T., Varghese, Koshy, "Use of Salient Features for the Design of a Multistage Framework to Extract Roads From High-Resolution Multispectral Satellite Images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, pp. 3906-3931, 2011.
- [11] X. Hu, Y. Li, J. Shan, J. Zhang, and Y. Zhang, "Road Centerline Extraction in Complex Urban Scenes From LiDAR Data Based on Multiple Features," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 52, no. 11, pp. 7448-7456, 2014, doi: 10.1109/TGRS.2014.2312793.
- [12] M. Mokhtarzade, "Integration of Textural and Spectral Information in Neural Networks for Automatic Road Extraction from High Resolution Satellite Images," Ph.D., Department of Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, 2008.
- [13] F. Ameri, M. J. V. Zoj, and M. Mokhtarzade, "Multi-Criteria, Graph-Based Road Centerline Vectorization Using Ordered Weighted Averaging Operators," Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 82, no. 2, pp. 107-120, 2016/02/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.14358/PERS.82.2.107>.
- [14] M. Maboudi, J. Amini, M. Hahn, and M. Saati, "Object-based road extraction from satellite images using ant colony optimization AU -," International Journal of Remote Sensing, vol. 38, no. 1, pp. 179-198, 2017/01/02 2017, doi: 10.1080/01431161.2016.1264026.
- [15] Z. Miao, W. Shi, P. Gamba, and Z. Li, "An Object-Based Method for Road Network Extraction in VHR Satellite Images," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 8, no. 10, pp. 4853-4862, 2015, doi: 10.1109/JSTARS.2015.2443552.

- [16] J. Amini, C. Lucas, M. Saradjian, A. Azizi, and S. Sadeghian, "Fuzzy Logic System for Road Identification Using Ikonos Images," *The Photogrammetric Record*, vol. 17, no. 99, pp. 493-503, 2002/04/01 2002, doi: 10.1111/0031-868X.00201.
- [17] A. Mohammadzadeh, A. Tavakoli, and M. J. Valadan Zoej, "Road extraction based on fuzzy logic and mathematical morphology from pan-sharpened ikonos images," *The Photogrammetric Record*, vol. 21, no. 113, pp. 44-60, 2006/03/01 2006, doi: 10.1111/j.1477-9730.2006.00353.x.
- [18] A. Mohammadzadeh, A. Tavakoli, and M. J. Valadan Zoej, "Road extraction based on fuzzy logic and mathematical morphology from pan-sharpened ikonos images," *The Photogrammetric Record*, vol. 21, no. 113, pp. 44-60, 2006/03/01 2006, doi: 10.1111/j.1477-9730.2006.00353.x.
- [19] M. Mokhtarzade, Valadan Zoej, Mohammad Javad, "Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks," *Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 9, pp. 32-40, 2007.
- [20] A. P. D. Poz, R. A. B. Gallis, and J. F. C. d. Silva, "Three-Dimensional Semiautomatic Road Extraction From a High-Resolution Aerial Image by Dynamic-Programming Optimization in the Object Space," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 796-800, 2010, doi: 10.1109/LGRS.2010.2047838.
- [21] D. Chaudhuri, N. K. Kushwaha, and A. Samal, "Semi-Automated Road Detection From High Resolution Satellite Images by Directional Morphological Enhancement and Segmentation Techniques," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 5, no. 5, pp. 1538-1544, 2012, doi: 10.1109/JSTARS.2012.2199085.
- [22] A. P. D. Poz, R. A. B. Gallis, J. F. C. d. Silva, and É. F. O. Martins, "Object-Space Road Extraction in Rural Areas Using Stereoscopic Aerial Images," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 9, no. 4, pp. 654-658, 2012, doi: 10.1109/LGRS.2011.2177438.
- [23] N. Zarrinpanjeh, F. Samadzadegan, and T. Schenk, "A new ant based distributed framework for urban road map updating from high resolution satellite imagery," *Computers & Geosciences*, vol. 54, pp. 337-350, 2013/04/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.12.006>.
- [24] Z. Miao, B. Wang, W. Shi, and H. Wu, "A Method for Accurate Road Centerline Extraction From a Classified Image," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, no. 12, pp. 4762-4771, 2014, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2309613.
- [25] M. Nikfar, J. M. Zoej, M. Mokhtarzade, and A. M. Shoorehdeli, "Designing a New Framework Using Type-2 FLS and Cooperative-Competitive Genetic Algorithms for Road Detection from IKONOS Satellite Imagery," *Remote Sensing*, vol. 7, no. 7, 2015, doi: 10.3390/rs70708271.
- [26] M. Maboudi, J. Amini, S. Malihi, and M. Hahn, "Integrating fuzzy object based image analysis and ant colony optimization for road extraction from remotely sensed images," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 138, pp. 151-163, 2018/04/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.11.014>.
- [27] K. Fukunaga and L. Hostetler, "The estimation of the gradient of a density function, with applications in pattern recognition," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 21, no. 1, pp. 32-40, 1975, doi: 10.1109/TIT.1975.1055330.
- [28] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean shift: a robust approach toward feature space analysis," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 5, pp. 603-619, 2002, doi: 10.1109/34.1000236.
- [29] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. Pearson/Prentice Hall, 2010.
- [30] S. H. Samsudin, H. Z. M. Shafri, and A. Hamedianfar, "Development of spectral indices for roofing material condition status detection using field spectroscopy and WorldView-3 data," *Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 10, no. 2, pp. 1-18, 18, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/1.JRS.10.025021>.
- [31] Y. Zha, J. Gao, and S. Ni, "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 24, no. 3, pp. 583-594, 2003/01/01 2003, doi: 10.1080/01431160304987.
- [32] H. Zhai, H. Zhang, L. Zhang, and P. Li, "Cloud/shadow detection based on spectral indices for multi/hyperspectral optical remote sensing imagery," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 144, pp. 235-253, 2018/10/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.006>.
- [33] H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033, 2006/07/20 2006, doi: 10.1080/01431160600589179.
- [34] B. Abdou, D. Morin, F. Bonn, and A. Huete, *A review of vegetation indices*. 1996, pp. 95-120.

- [35] R. Suzuki, H. Kobayashi, N. Delbart, J. Asanuma, and T. Hiyama, "NDVI responses to the forest canopy and floor from spring to summer observed by airborne spectrometer in eastern Siberia," *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, no. 12, pp. 3615-3624, 2011/12/15/ 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.022>.
- [36] M. P. Lenney, C. E. Woodcock, J. B. Collins, and H. Hamdi, "The status of agricultural lands in Egypt: The use of multitemporal NDVI features derived from landsat TM," *Remote Sensing of Environment*, vol. 56, no. 1, pp. 8-20, 1996/04/01/ 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00152-2](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00152-2).
- [37] S. K. McFEETERS, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," *International Journal of Remote Sensing*, pp. 1425-1432, 1996.
- [38] D. Demetriou, L. See, and J. Stillwell, *A Parcel Shape Index for Use in Land Consolidation Planning*. 2012.
- [39] A. Okabe, B. Boots, and K. Sugihara, "Nearest neighbourhood operations with generalized Voronoi diagrams: a review," *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 43-71, 1994/01/01 1994, doi: 10.1080/02693799408901986.
- [40] M. L. Gavrilova, *Generalized Voronoi Diagram: A Geometry-Based Approach to Computational Intelligence*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2010, p. 312.
- [41] C. H. Wiedemann, C.; Mayer, H.; Jamet, O., "EMPIRICAL EVALUATION OF AUTOMATICALLY EXTRACTED ROAD AXES," 1998, USA,, 1998, pp. 172-187 .
- [42] John Makhoul , Francis Kubala , Richard Schwartz , and R. Weischedel, "Performance Measures For Information Extraction," in *In Proceedings of DARPA Broadcast News Workshop*, 1999, pp. 249--252 .
- [43] Z. Miao and W. Shi, "Road centreline extraction from classified images by using the geodesic method," *Remote Sensing Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 367-376, 2014/04/03 2014, doi: 10.1080/2150704X.2014.907935.