



استخراج اشکال متفاوت راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی

فاطمه عامری*^۱، محمدجواد ولدان زوج^۲، مهدی مختارزاده^۳، علی محمد مبارکی^۴

۱. دانشجوی دکتری سنجش از دور (RS)، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴. کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۹/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۶/۲۴

چکیده

مقاله حاضر به منظور بررسی قابلیت سیستم پیشنهادی استخراج نیمه‌خودکار راه از تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک‌های مکانی مختلف به منظور بهنگام کردن نقشه‌های متوسط و کوچک‌مقیاس پایگاه داده GIS سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای کشور تهیه گردیده است. هدف پژوهش حاضر حفظ و یا افزایش دقت و سرعت استخراج اطلاعات در مقایسه با عملیات زمینی و استفاده از GPS است. افزون بر این، میزان موفقیت این سیستم در استخراج اشکال مختلف راه اعم از راه مستقیم، ماریج، تقاطع و میدان مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های ورودی سامانه مورد نظر شامل تصاویر پانکروماتیک و Pansharpened ماهواره‌های Ikonos و IRS-1D (به ترتیب دارای قدرت تفکیک مکانی ۱، ۴ و ۵ متر) و تصاویر Pansharpened ماهواره Landsat-7 (دارای قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) است. در روش پیشنهادی، ضمن انجام خوشه‌بندی FCM در فضای طیفی و بهبود کیفیت راه‌های اکتشف‌شده به وسیله اپراتورهای مورفولوژی با حذف نویز و پوشش گپ‌ها، اقدام به کشف عارضه راه شده است. روش مذکور با انجام خوشه‌بندی در فضای تصویر، موقعیت نقاط اصلی شبکه راه‌ها را شناسایی کرده و در پایان با بهره‌گیری از الگوریتم MST در تئوری گراف و انتخاب تابع وزن مناسب (فاصله اقلیدسی) اقدام به اتصال این نقاط و تشکیل محور مرکزی راه در فرمت‌برداری برای ورود به GIS کرده است. رسیدن به میانگین دقت کلی بیش از ۹۸ درصد در طبقه‌بندی تصویر به دو کلاس راه و غیرراه و حصول میانگین خطای RMS حدود ۰/۶۸ پیکسل - از مقایسه محور راه استخراج‌شده با واقعیت زمینی آن - نشانگر موفقیت کلی سامانه معرفی شده برای استخراج نیمه‌خودکار راه به شمار می‌آید.

کلیدواژه‌ها: استخراج نیمه‌خودکار راه، خوشه‌بندی FCM، مورفولوژی، تئوری گراف، تصاویر با قدرت تفکیک‌های مکانی متفاوت.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری. تلفن: ۸۸۷۷۵۵۵

۱- مقدمه

درک بهتر ایجاد می‌گردند (Sowmya & Trinder, 2000).

استخراج خودکار راه از تصاویر در کاربردهای حمل‌ونقل نقش اساسی را ایفا می‌کند، چرا که موجب ایجاد، نگهداری و به‌روزرسانی پایگاه داده شبکه راه‌ها به‌منظور انجام فعالیت‌هایی چون مدیریت ترافیک، ناوبری خودکار وسایط نقلیه، حفظ امنیت و ارزیابی خطرها و بلایای طبیعی، تسهیل و فراهم آوردن زمینه مشارکت و همکاری برای تولید، تبادل و به اشتراک گذاری داده‌های مکانی در قالب زیرساخت داده مکانی^۱ (SDI) و جلوگیری از موازی‌کاری‌ها و دوباره‌کاری‌ها می‌گردد.

در عین حال برخی عوامل محدودکننده استخراج خودکار راه نیز وجود دارند که در این بین می‌توان به نوع پوشش زمینه تصویر و یا عوارض موجود در همسایگی راه، حد تفکیک مکانی تصویر عبور راه از مناطق شهری دارای ساختمان‌های زیاد، وجود عوارضی مانند وسایل نقلیه موجود در جاده‌ها، پل‌ها و سایه‌های حاصل از آنها و وجود پدیده‌هایی با درجات خاکستری مشابه با راه در تصویر مانند پارکینگ‌ها و باند فرودگاه‌ها اشاره کرد.

همان‌طور که می‌دانیم راه در تصاویر با حدود تفکیک مکانی مختلف با اشکال مختلف ظاهر می‌شود. در تصاویر با حد تفکیک مکانی کمتر از ۲ متر، راه به صورت عارضه‌ای خطی ظاهر می‌شود، اما در تصاویر با حد تفکیک مکانی بیش از ۲ متر، راه به صورت عارضه‌ای نواری^۲ و یا سطحی ظاهر می‌شود و هدف از استخراج راه در این حالت، یافتن و استخراج محور مرکزی آن است.

بیش از دو دهه است که تحقیقاتی در مورد استخراج خودکار راه از تصاویر هوایی و فضایی در حال انجام است. در سال ۲۰۰۰، هلوویچ و ویه دمان روش

امروزه دستیابی به اطلاعات زمین‌مرجع برای بسیاری از متخصصان و تصمیم‌گیران در حوزه داده‌های مکانی، دارای اهمیت بسزایی است. امری مهم و حائز استخراج عوارض از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، نوعی فناوری مکمل برای دستیابی به این‌گونه از اطلاعات به شمار می‌آید، که تفسیر و آنالیز تصویر را ساده‌تر می‌سازد و به‌منظور بهنگام‌سازی پایگاه‌های داده - که از نیازهای سیاسی سازمان‌ها محسوب می‌گردد - به کار می‌رود. به‌منظور استخراج اطلاعات از تصاویر، اغلب از روش‌های دستی و غیر خودکار استفاده می‌شود - که زمان‌بر و پرهزینه‌اند. به‌منظور غلبه بر این محدودیت‌ها، استفاده از روش‌های خودکار برای استخراج اطلاعات و آنالیز محتویات تصویر مورد نیاز است.

استخراج خودکار اطلاعات سطح زمین با استفاده از فتوگرامتری و سنجش از دور، نیازمند فرموله کردن معلومات انسانی و داده‌های تصویر است، به گونه‌ای که تمام محتوای تصویر را در بر بگیرد. البته انجام این عمل کار چندان ساده‌ای نیست، چرا که عوارض موجود در روی تصویر دارای ساختار پیچیده‌ای هستند. علت این پیچیدگی این است که هر تصویر، ترکیبی است از عوارض مختلف مانند پوشش گیاهی، عوارض ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی، عوارض ساخت دست بشر مانند ساختمان‌ها و راه‌ها. همچنین مشکلاتی که در اثر تغییر روشنایی صحنه به‌وجود می‌آید مانند وجود سایه، ابر، کاستی‌های سنجنده و مانند اینها بر پیچیدگی کار می‌افزاید. لذا در انجام بررسی به‌منظور استخراج اطلاعات، بایستی دانش انسانی، داده‌های رقومی موجود و ارتباط بین آنها در نظر گرفته شوند.

با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که استخراج خودکار عوارض، فرآیندی است که در آن با ایجاد توصیفات روشن و بامعنی از عوارض و تلفیق آنها با تکنیک‌های مختلفی مانند پردازش رقومی تصاویر، شناسایی الگو، مدل‌سازی هندسی و پردازش معلومات، بخش عمده‌ای از پردازش‌ها و مدل‌های نمایشی برای

1. Spatial Data Infrastructure
2. Ribbon

و کاهش هزینه‌ها در ازای حفظ یا افزایش دقت استخراج اطلاعات در مقایسه با انجام عملیات میدانی و استفاده از GPS^۲، طراحی گردیده است.

سامانه اطلاعات جغرافیایی پایه وزارت راه و ترابری، سامانه‌های چندمقیاسی است که کاربران مختلف برحسب نیاز و نوع پردازش، از مقیاس مورد نیازشان استفاده خواهند کرد.

در پژوهش حاضر، تصاویر ماهواره‌های IKONOS، Landsat^۷ETM⁺ و IRS_{۱D} در قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف (۱، ۴، ۵ و ۱۵ متر) به‌منظور بهنگام ساختن نقشه‌های ساختمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰، ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

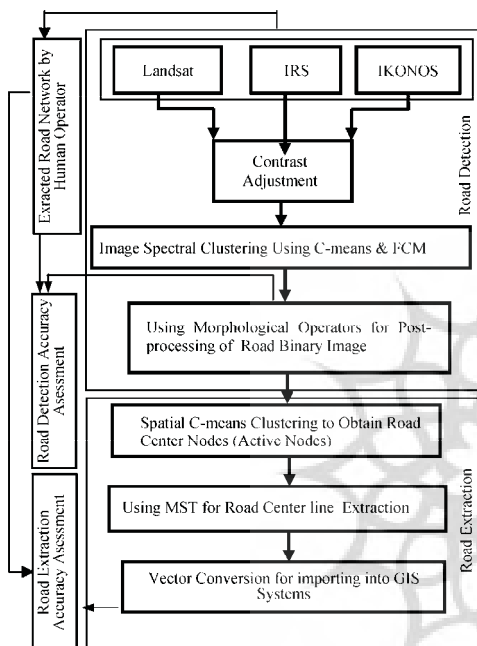
البته در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور بهنگام‌سازی عوارض جغرافیایی، میزان در دسترس بودن تصاویر و هزینه آن نیز بایستی مورد بررسی قرار گیرد. از آنجا که طرح به‌روزرسانی شبکه راه‌ها و تأسیسات جانبی سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای هر شش‌ماه یک‌بار انجام می‌گیرد، و با توجه به مشکلات موجود در خرید و دریافت تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، نمی‌توان برای تمامی مناطق کشور و تمامی انواع راه‌ها و عوارض حاشیه‌ای آن، از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد و در بسیاری از شرایط، ترکیب روش سنجش از دور با عملیات میدانی، استفاده از GPS و نقشه‌برداری زمینی مناسب‌ترین راه‌حل به شمار می‌آید. در مقاله حاضر به‌منظور پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی استخراج نیمه‌خودکار راه و استخراج محورهای مرکزی راه‌های موجود در تصاویر، ابتدا عملیات پیش‌پردازش شامل بهبود کنتراست به روش تعدیل خطی هیستوگرام بر روی تصاویر ورودی انجام گرفته است. در ادامه و پس از خوشه‌بندی تصویر به روش فازی FCM و استفاده از حد آستانه برای

استخراج ترکیبی از عوارض خطی و سطحی را از تصاویر تهیه‌شده به وسیله چندین سنسور ارائه کردند (Hellwich & Wiedemann, 2000). در سال ۲۰۰۲ بونه‌فون فرایند کاملی از بهنگام‌سازی عوارض خطی را با روشی کاملاً خودکار و همراه با ارزیابی کیفیت انجام داد. در همان سال منا مرور جامعی از روش‌های استخراج راه را ارائه کرده که در آن، این روش‌ها از جنبه‌های متفاوت طبقه‌بندی شده و مراجع گسترده‌ای برای آن ذکر گردیده است. نظریه استفاده از آنالیز هندسی و توپولوژیکی بر روی تصاویر باینری با قدرت تفکیک مکانی بالا به منظور برداری کردن خودکار شبکه راه‌ها را نیز همین فرد ارائه کرده است. محمدزاده نیز یک روش جدید قطعه‌بندی را به‌منظور استخراج راه از تصاویر با حد تفکیک بالا معرفی کرده است که تنها به تعداد کمی از پیکسل‌های راه به عنوان ورودی احتیاج دارد. سپس با استفاده از اپراتورهای مورفولوژیکی پیشرفته به استخراج محور مرکزی راه پرداخته است (Mohammadzadeh, 2006). مختارزاده نیز ساختار بهینه شبکه‌های عصبی و داده‌های ورودی را به‌منظور استخراج راه از تصویر چندطیفی ماهواره IKONOS تعیین کرده است. وی همچنین مقایسه‌ای بین نتایج به‌دست‌آمده از روش شبکه‌های عصبی و روش آماری Maximum-Likelihood در استخراج راه ارائه کرده است (Mokhtarzade & Valadan Zoej, 2007). ژانگ و کولونر (۲۰۰۶) نیز تأثیر استفاده از ATS^۱ را در تفکیک راه از پارکینگ در تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک بالا مورد ارزیابی قرار داده‌اند. علاوه بر آن، در این تحقیق از اطلاعات طیفی و بافت به طور جداگانه به‌منظور تشخیص راه و حذف پیکسل‌های غیرراه استفاده گردیده است.

سامانه پیشنهادشده در این مقاله تحت عنوان «سیستم پیشنهادی استخراج نیمه‌خودکار راه» با هدف تأمین نیاز اساسی سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای به داشتن منابع بهنگام از راه‌های کشور و افزایش سرعت و سهولت بهنگام‌سازی پایگاه داده GIS

1. Angular Texture Signature
2. Global Positioning system

MST میسر گردیده است. به منظور درک بهتر جایگاه مراحل مختلف پیاده‌سازی سامانه پیشنهاد شده استخراج نیمه‌خودکار راه از تصاویر ماهواره‌ای، فلوجارت این سیستم در شکل ۱ معرفی شده است. در ادامه مراحل مختلف فلوجارت معرفی می‌گردد.



شکل ۱. فلوجارت سامانه پیشنهادی استخراج نیمه‌خودکار راه از تصاویر ماهواره‌ای

۱-۲- داده‌های ورودی

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق، استخراج راه از تصاویر ماهواره‌ای با حدود تفکیک مختلف مکانی است، نواحی از تصاویر چندطیفی^۲ (MS) و Pansharpened ماهواره IKONOS دارای حد تفکیک مکانی به ترتیب ۴ و ۱ متر، تصویر سیاه و سفید^۳ (Pan) ماهواره IRS-۱D با حد تفکیک مکانی ۵ متر و تصاویر

1. Minimum Spanning Tree
2. Multi-Spectral
3. Panchromatic

غیرفازی‌سازی، تصویر باینری کلاس راه به دست می‌آید. سپس به منظور حذف نویزها و پیکسل‌های غیرمرتبط با کلاس راه و افزایش دقت خوشه‌بندی تصویر باینری حاصل، از تلفیقی از توابع مورفولوژی مانند Erosion، Closing، Opening، Delation و مانند اینها استفاده می‌گردد. در ادامه با تعریف شبکه‌ای منظم از پیکسل‌ها با فواصل معین و انجام خوشه‌بندی k-means در فضای مکانی، نقاط مستقر بر روی محور مرکزی راه به دست می‌آیند. در انتها نیز تئوری گراف و الگوریتم^۱ MST به منظور اتصال این نقاط و استخراج محور مرکزی راه به کار گرفته می‌شود. ارزیابی دقت طبقه‌بندی و محور راه استخراج شده نیز مرحله پایانی تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهد.

مقاله حاضر شامل چهاربخش است. پس از بیان مقدمه در بخش نخست، مراحل پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی در بخش دوم ارائه می‌شود. در بخش سوم، نتایج عملی حاصل از پیاده‌سازی سامانه نیمه‌خودکار استخراج راه بر روی تصاویر ماهواره‌ای در چندین حد تفکیک مکانی مختلف تشریح می‌گردد. در بخش آخر نیز جمع‌بندی روش پیشنهادی و نتایج حاصل بررسی می‌گردد.

۲- مراحل پیاده‌سازی سامانه استخراج نیمه‌خودکار راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف مکان

به طور کلی مراحل پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی را به دو بخش می‌توان تقسیم کرد: مرحله کشف راه و مرحله برداری‌سازی. مرحله کشف راه به استخراج پیکسل‌های متعلق به کلاس راه در بین کلاس‌های عوارض موجود در تصویر می‌پردازد، و برای این منظور در سیستم پیشنهادی از تکنیک‌های خوشه‌بندی نظارت‌نشده و توابع مورفولوژی استفاده شده است. هدف از مرحله برداری‌سازی نیز به دست آوردن محور راه استخراج شده در مرحله کشف راه به عنوان عارضه‌ای خطی است که در این تحقیق با استفاده از تئوری گراف و الگوریتم

در الگوریتم c-Means ابتدا تعداد کلاس‌ها (c) با مشاهده تصویر و تخمین تعداد کلاس‌های موجود در آن، به‌وسیله کاربر به الگوریتم معرفی می‌شود و پس از آن با روش سعی و خطا بهبود می‌یابد.

پس از معرفی تعداد کلاس‌ها، مراکز اولیه خوشه‌ها به صورت تصادفی از بین کل درجات خاکستری موجود در تصویر انتخاب می‌گردد. مراکز خوشه‌ها پس از پایان آخرین مرحله تکرار به مناسب‌ترین مقدار خود می‌رسد و الگوریتم پایان می‌یابد. در مرحله بعد، مقادیر مراکز به‌دست‌آمده برای کلاس‌ها به عنوان ورودی روش FCM، وارد الگوریتم مذکور می‌شود و با تعیین پارامتر فازی m به‌وسیله کاربر، الگوریتم به اجرا درمی‌آید. لازم به ذکر است که استفاده از خوشه‌بندی c-means و تخمین اولیه مراکز خوشه‌ها از طریق آن و معرفی آن به الگوریتم FCM و عدم تعیین تصادفی مراکز خوشه‌ها مانع افزایش فرآیند تکرار و تعیین سریع‌تر و دقیق‌تر مراکز خوشه‌ها به‌وسیله الگوریتم FCM می‌گردد.

با انتخاب حد آستانه به‌وسیله کاربر، تصویر غیرفازی شده و باینری نهایی به‌دست می‌آید و کلاس مربوط به راه از بین کلاس‌های موجود به‌وسیله کاربر انتخاب می‌گردد. پس از انتخاب کلاس راه از بین کلاس‌های موجود - که تصویری باینری است - از آنجا که تمامی پیکسل‌های موجود در این کلاس نشانگر راه نیستند، از پس‌پردازش‌هایی بر روی تصویر باینری حاصل استفاده می‌گردد.

در پژوهش حاضر به‌منظور انجام پس‌پردازش و افزایش دقت کلاس راه به‌دست‌آمده، از اپراتورهای مورفولوژیکی استفاده شده است. در تصاویر مورد بررسی، متناسب با شکل راه و همچنین شکل نویزها و عوارض دیگری که جزء کلاس راه نیستند ولی در کلاس راه واقع شده‌اند، از یک یا تعدادی از اپراتورهای مورفولوژیکی Opening، Thicken و Majority، Clean، Bridge، Closing استفاده گردیده است. این اپراتورها موجب حذف نویزها

Pansharpened ماهواره Landsat-7 ETM+ با حد تفکیک مکانی ۱۵ متر شامل راه‌هایی با اشکال هندسی مختلف به عنوان تصویر ورودی به الگوریتم، انتخاب گردیده‌اند. علاوه بر داده‌های ورودی ذکرشده از هیچ داده ورودی و یا اطلاعات جانبی دیگری در سیستم پیشنهادی استفاده نشده است.

در تصاویر مورد استفاده در این تحقیق، در صورت نیاز از روش تعدیل خطی هیستوگرام^۱ برای انجام پیش‌پردازش استفاده شده است. در این روش درجات خاکستری با استفاده از یک تابع تبدیل خطی از دامنه مشاهداتی (که قاعداً تمامی دامنه دینامیکی را نمی‌پوشاند)، به دامنه کاملی دینامیکی تبدیل می‌گردند. این تبدیل باعث تفاوت بیشتر درجات خاکستری و در نتیجه افزایش کنتراست می‌گردد. مسلماً تغییر درجات خاکستری که در نتیجه بهبود کنتراست تصویر به‌وجود می‌آید، بر نتیجه خوشه‌بندی تصویر نیز تأثیر می‌گذارد.

۲-۲- مرحله کشف راه

با توجه به فلوجارت ارائه‌شده در شکل ۱، در این مرحله تکنیک‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده c-means و FCM به‌منظور کشف راه مورد استفاده قرار گرفته است. در مرحله خوشه‌بندی تصویر که از جمله تکنیک‌های مورد نیاز در فرآیند طبقه‌بندی نظارت‌نشده به‌شمار می‌آید، عوارض مشابه در قالب گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌گردند. این روش‌ها عمدتاً به منظور انجام برآوردی اولیه از منطقه و میزان تفکیک‌پذیری کلاس‌ها و عوارض به کار می‌روند. برای آشنایی بیشتر با این الگوریتم‌ها و مراحل پیاده‌سازی آنها ن.ک. (۱۹۸۴) Richards & Xiuping (۲۰۰۶) و Bezdek et al.

در سامانه پیشنهادی، پس از اعمال پیش‌پردازش، ابتدا طبقه‌بندی به روش نظارت‌نشده c-means بر روی تصویر انجام گرفته و سپس خروجی این الگوریتم - که همان مقادیر درجات خاکستری مراکز خوشه‌هاست - به عنوان ورودی، به الگوریتم FCM معرفی گردیده است.

1. Linear Histogram Stretching

شده است. در ادامه به تشریح هر یک از این دو مرحله با ذکر جزئیات هر روش پرداخته شده است.

۲-۴-۱- کشف نقاط کلیدی راه

در بخش ۲-۲ الگوریتم C-Means و FCM در فضای طیفی به کار گرفته شدند. ورودی این الگوریتم‌ها مقادیر درجات خاکستری مراکز خوشه‌ها هستند که در الگوریتم C-Means به طور تصادفی انتخاب شده‌اند و در الگوریتم FCM، مراکز خوشه‌های بهینه هستند که از الگوریتم C-Means به دست آمده‌اند. در این مرحله، خوشه‌بندی C-Means در فضای تصویر (مکانی) و با معرفی شبکه‌ای از نقاط با فواصل منظم (که موقعیت مکانی آنها به‌جای مقادیر درجات خاکستری‌شان دارای اهمیت است) به عنوان مراکز اولیه خوشه‌ها انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که در این مرحله تنها پیکسل‌های راه موجود در تصویر باینری، در الگوریتم C-Means شرکت می‌کنند. با انجام این مرحله، مکان تعدادی از نقاط تغییر می‌یابد و بر روی محور مرکزی راه قرار می‌گیرند که اصطلاحاً به آنها نقاط اصلی اطلاق گردیده است، در حالی که باقی آنها تغییر مکان نمی‌یابند که اصطلاحاً به آنها «نقاط مرده»^۲ می‌گویند. حاصل این بخش از سیستم پیشنهادی، مجموعه‌ای از نقاط واقع بر محور مرکزی عارضه راه است که به منظور حصول محور مرکزی راه بایستی به یکدیگر متصل گردند.

۲-۴-۲- استفاده از MST برای ایجاد اتصال بین

نقاط اصلی راه

پس از به دست آمدن نقاط مستقر بر روی محور مرکزی راه (نقاط اصلی)، نوبت به اتصال این نقاط و استخراج محور مرکزی راه با استفاده از مفاهیم گراف و MST و با پیاده‌سازی الگوریتم Kruskal می‌رسد. در این بخش

و پیکسل‌های غیرراه از تصویر باینری کلاس راه، پر کردن گپ‌های موجود در راه، و افزایش دقت طبقه‌بندی می‌گردد. به منظور آشنایی با توابع مورفولوژیکی ن.ک. (Gonzalez et al. (2007).

۲-۳- ارزیابی دقت مرحله کشف راه

به منظور به دست آوردن دقت مرحله کشف راه، ماتریس وقوع توأم^۱ و پارامترهای آن شامل دقت کلی، ضریب کاپا، دقت کاربر و تولیدکننده و خطاهای موجود در طبقه‌بندی محاسبه گردیدند. (Richards & Xiuping, 2006). این پارامترها برای تمامی تصاویر مورد استفاده محاسبه شدند و دقت طبقه‌بندی را در دو مرحله به دست می‌دهند. مرحله نخست، برآورد دقت و خطا پس از طبقه‌بندی و پیش از اعمال اپراتورهای پس‌پردازش است که پارامترهای آن با OA، Kappa، UA، PA، C، O که به ترتیب نشان‌دهنده دقت کلی، ضریب کاپا، دقت کاربر، دقت تولیدکننده، خطای Commission و خطای Omission هستند، نشان داده شده است. مرحله دوم نیز برآورد دقت و خطا پس از اعمال پس‌پردازش‌های طبقه‌بندی (استفاده از اپراتورهای مورفولوژیکی) بر روی تصویر باینری است، که پارامترهای آن با OA_{post}، Kappa_{post}، UA_{post}، PA_{post}، C_{e post}، O_{e post} نشان داده می‌شوند. با مقایسه مقادیر متناظر این پارامترها پیش و پس از اعمال اپراتورهای مورفولوژیکی، می‌توان به نقش پس‌پردازش‌های طبقه‌بندی در بهبود نتایج آن پی برد.

۲-۴- مرحله برداری سازی محور مرکزی راه

در پژوهش حاضر به منظور استخراج شبکه برداری راه، مراحل کار در دو بخش اصلی شامل مرحله کشف نقاط اصلی راه و ایجاد اتصال بین نقاط اصلی راه به انجام می‌رسد. به منظور کشف نقاط اصلی راه از روش خوشه‌بندی در فضای تصویر و برای ایجاد اتصالات بین نقاط اصلی کشف‌شده، از الگوریتم‌های گراف استفاده

1. Co-occurrence matrix
2. Dead Node

فاصله به‌عنوان معیار وزن استفاده شده است. بنابراین، مرتب‌سازی یال‌ها براساس طول یال‌ها صورت می‌گیرد.

- مرحله دوم: کم‌وزن‌ترین یال موجود را به عنوان یال اولیه الگوریتم انتخاب می‌کنیم (چنانچه بیش از یک یال دارای کمترین وزن باشد، یکی از آنها را به عنوان یال اول به‌طور تصادفی انتخاب می‌کنیم).
- مرحله سوم: در این مرحله یال دارای کمترین وزن بعدی که قبلاً به‌وسیله الگوریتم انتخاب نشده است و از طرفی یک سیکل را نیز تشکیل نمی‌دهد، به‌عنوان یال بعدی انتخاب می‌گردد.¹

- مرحله چهارم: مرحله سوم را تا جایی ادامه می‌دهیم که درخت حاصل شامل تمامی گره‌ها باشد. (چنانچه N گره در گراف موجود باشد، درخت حاصل دارای N-1 یال خواهد بود).

به این شکل MST مورد نظر به‌دست می‌آید. الگوریتم MST یکی از مفاهیم اساسی گراف‌هاست که کاربردهای گوناگونی دارد. از مهم‌ترین کاربردهای MST، طراحی شبکه‌های گوناگون مانند خطوط تلفن، خطوط الکترونیکی و هیدرولیکی، کابل‌های تلویزیونی، شبکه‌های کامپیوتری و جاده‌ها را می‌توان نام برد.

در تحقیق حاضر به منظور پیاده‌سازی الگوریتم Kruskal ابتدا لازم است فاصله اقلیدسی تمامی نقاط اصلی (گره‌های گراف) از یکدیگر به‌دست آید و به عنوان یال‌های گراف به الگوریتم معرفی گردد. با پیاده‌سازی الگوریتم، گره‌هایی که از یکدیگر کمترین فاصله را دارند و از طرف دیگر سیکل تشکیل نمی‌دهند به یکدیگر متصل می‌شوند و یال‌های گراف را تشکیل می‌دهند. خروجی این الگوریتم محور مرکزی راه استخراج‌شده است که می‌تواند به صورت فایل برداری به‌منظور تهیه نقشه وارد سیستم‌های GIS گردد (Doucette et al., 2001).

لازم است تا با این روش بیشتر آشنا شویم (Horowitz et al., 2007).

فرض کنید G گراف غیرجهت‌دار و متصل باشد، ST زیرگرافی از G به صورت درخت است که یک درخت بوده و شامل تمامی گره‌های G را در بر می‌گیرد. MST نیز یک ST است که در آن تمامی یال‌ها دارای وزن هستند و مجموع وزن‌های مرتبط با یال‌های موجود، دارای کمترین مقدارند. به‌منظور یافتن MST، دو الگوریتم متداول به نام‌های الگوریتم Kruskal و الگوریتم Prime وجود دارند که از لحاظ متدولوژی متفاوت‌اند ولی نتیجه مشترکی خواهند داشت. الگوریتم Kruskal از اتصال یال‌ها و الگوریتم Prime از اتصال گره‌ها به‌منظور یافتن MST استفاده می‌کند. الگوریتم Kruskal که برای نخستین بار در سال ۱۹۶۵ به‌وسیله جوزف کروسکال در انجمن ریاضی‌دانان آمریکا ارائه شد، زیرمجموعه‌ای است از یال‌ها که درختی را تشکیل می‌دهند و تمامی گره‌ها را شامل می‌شوند. یکی از بارزترین ویژگی‌های درخت حاصل، کمینه بودن مجموع وزن‌های تمامی یال‌های موجود در درخت است. انتخاب پارامتر وزن با توجه به کاربردهای مختلف صورت می‌گیرد. پارامترهایی نظیر فاصله، زمان، شیب و بسیاری پارامترهای دیگر می‌توانند در این الگوریتم به عنوان وزن انتخاب گردند. در سامانه پیشنهادی در تحقیق، پارامتر فاصله به عنوان پارامتر وزن انتخاب شده است. فاصله نیز دارای انواع مختلفی مانند فاصله اقلیدسی، فاصله مانهاتان، معیار همبستگی پیرسون¹ و مانند اینهاست، که در این تحقیق از الگوریتم Kruskal و فاصله اقلیدسی به عنوان پارامتر وزن استفاده شده است.

الگوریتم Kruskal به ترتیب زیر عمل می‌کند (Hellwich & Wiedemann, 2000).

- مرحله یکم: ابتدا تمامی یال‌ها را به ترتیب وزن آنها از کمترین تا بیشترین وزن مرتب می‌کنیم. یادآوری می‌شود که در تحقیق حاضر از پارامتر

1. Pearson Correlation

۲-۵- ارزیابی دقت مرحله برداری سازی محور مرکزی راه

پس از استخراج محور مرکزی راه، بایستی به منظور تعیین میزان فاصله محور راه استخراج شده با آنچه کاربر به عنوان داده مرجع زمینی به صورت دستی استخراج کرده است مقایسه‌ای صورت پذیرد و میزان عدم تطابق آن دو محور مرکزی به دست آید. به این منظور محورهای راه استخراج شده به صورت خودکار و دستی، وارد نرم‌افزار PCI Geomatica می‌شود و پس از تبدیل به فرمت برداری، فاصله آنها برحسب پیکسل در دو راستای x و y اندازه‌گیری می‌گردد. به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری فاصله دو محور در تمام طول راه، این فاصله تنها در نقاط اصلی که بر روی محور مرکزی راه استخراج شده‌اند، اندازه‌گیری می‌شود. پس از به دست آمدن فاصله دو محور راه، خطای RMS راه استخراج شده با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. این خطا که برحسب پیکسل بیان می‌شود، با داشتن حد تفکیک مکانی تصویر، قابل تبدیل به فاصله زمینی است. بدین ترتیب دقت راه استخراج شده به دست می‌آید.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه n تعداد نقاط اصلی، Δx_i فاصله محور راه استخراج شده به روش خودکار از روش دستی در راستای x در نقطه i ام، و Δy_i فاصله محور راه استخراج شده به روش خودکار از روش دستی در راستای y در نقطه i ام است.

معیار دیگری نیز به نام Completeness به منظور ارزیابی صحت راه استخراج شده تعریف شده است. این معیار که از تقسیم طول راه صحیح استخراج شده به روش خودکار بر طول راه استخراج شده به روش دستی به دست می‌آید، نشانگر درصد استخراج کامل راه است. فرمول این معیار در رابطه (۲) بیان شده است.

$$\text{رابطه (۲)}$$

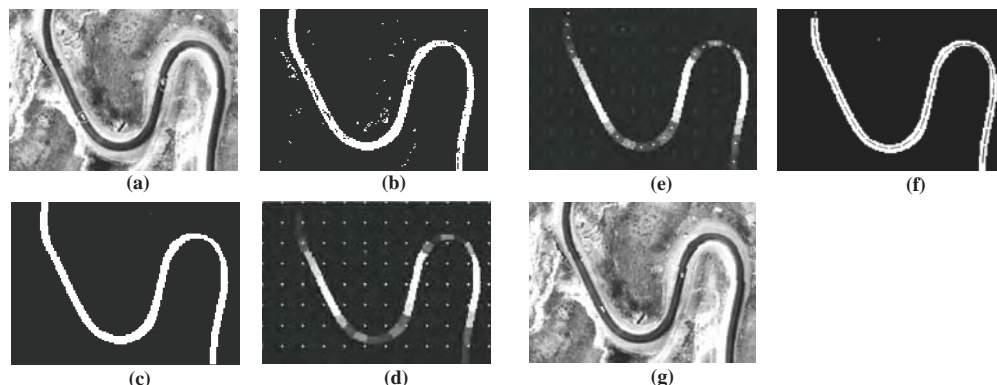
$$\text{Completeness} = \frac{\text{طول راه صحیح استخراج شده به روش خودکار}}{\text{طول راه استخراج شده به روش دستی}}$$

لازم به ذکر است که این معیار برای تمامی تصاویر مورد بررسی در تحقیق محاسبه نگردیده و تنها برای تصاویری که از یک سو محورهای مرکزی راه‌های آن به طور کامل استخراج نشده است و دارای گپ هستند و از سوی دیگر اثر زیگزاگی در طول راه مشاهده نمی‌شود، محاسبه گردیده است.

۳- نتایج عملی پیاده‌سازی سامانه پیشنهادی استخراج راه بر روی تصاویر ماهواره‌ای

حال پس از معرفی سامانه پیشنهادی و مراحل پیاده‌سازی آن نوبت به اعمال آن بر روی نواحی، از تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک‌های مکانی مختلف شامل IKONOS، IRS-ID، و ETM⁺ 7-LANDSAT می‌رسد. تا حد امکان کوشش شده است که اشکال مختلف راه اعم از راه مارپیچ، تقاطع و میدان مورد بررسی قرار گیرد و مزایا و محدودیت‌های سامانه پیشنهادی در نمایش اشکال مختلف راه و نتایج حاصل بررسی گردد.

در شکل ۲ (a) تا (g) مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر Pansharpened ماهواره IKONOS (قدرت تفکیک مکانی ۱ متر) از منطقه‌ای کوهستانی در لواسان و به ابعاد 170×119 نشان داده شده است. شکل ۲ (a) تصویر اولیه را نشان می‌دهد. شکل ۲ (b) نتیجه طبقه‌بندی نظارت نشده FCM بر روی تصویر است، که تصویر باینری مربوط به کلاس راه در آن نشان داده شده است. شکل ۲ (c) حاصل اعمال اپراتورهای مورفولوژیکی بر روی تصویر باینری راه است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اعمال این اپراتورها موجب پاک‌سازی تصویر از پیکسل‌های غیرراه و پرکردن گپ‌های موجود در راه می‌شود و دقت طبقه‌بندی را افزایش می‌دهد. در شکل ۲ (d) شبکه‌ای به ابعاد 12×8 به تصویر باینری راه برآزش داده شده و الگوریتم C-Means در فضای تصویر بر روی پیکسل‌های راه اعمال شده است. در شکل ۲ (e) نقاط اصلی به رنگ سفید و نقاط مرده به رنگ قرمز نشان داده شده است.



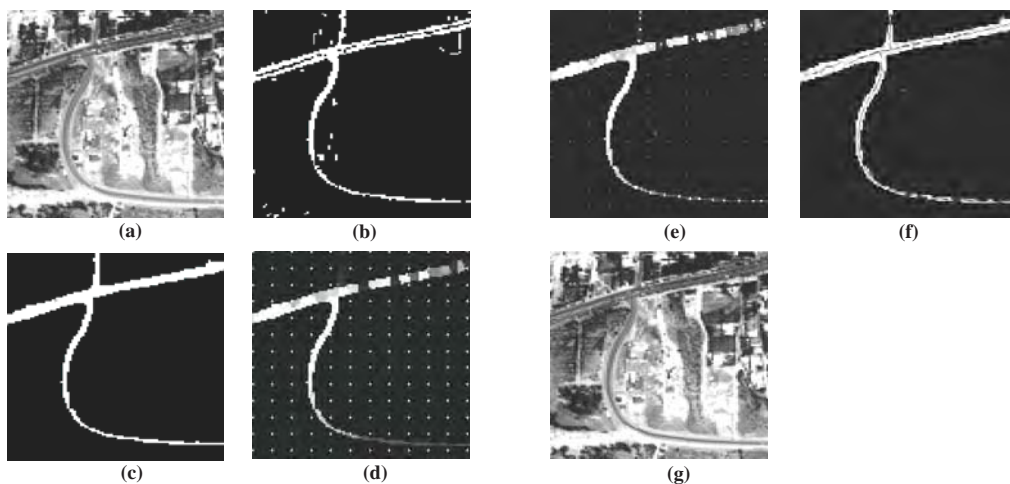
شکل ۲. مراحل استخراج نیمه‌خودکار راه از تصویر Pan-sharpened ماهواره IKONOS دارای بافت کوهستانی در لواسان

شکل ۵ (a) یک تصویر Pan از ماهواره IRS-1D (قدرت تفکیک مکانی ۵ متر) از منطقه‌ای کوهستانی در لواسان و به ابعاد 308×208 را نشان می‌دهد. مراحل استخراج نیمه‌خودکار راه - مانند آنچه در مورد تصاویر قبل انجام شد - بر روی این تصویر انجام گرفته که حاصل آن در شکل ۵ (a) تا (g) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سامانه مذکور در استخراج این نوع راه، به علت تفاوت محسوس درجات خاکستری راه و زمینه - که ناحیه‌ای کوهستانی است - موفق عمل کرده است.

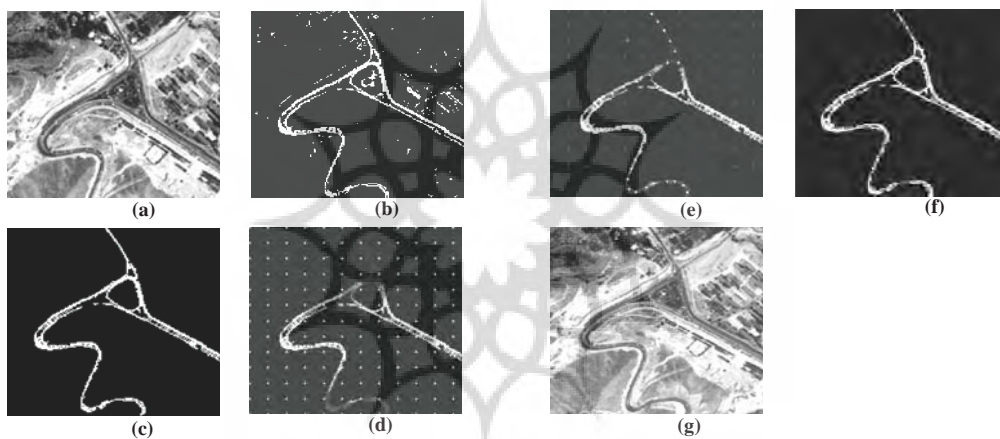
شکل ۶ (a) تا (g) یک تصویر Pan-sharpened از ماهواره Landsat-7 ETM+ (قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر) از منطقه‌ای غیرشهری واقع در اسلام‌شهر و به ابعاد 250×266 را نشان می‌دهد که مراحل مختلف اعمال سیستم استخراج راه در آن ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سامانه پیشنهادی در مورد راه‌های موجود در این تصویر نیز به خوبی عمل کرده است. تنها در محل تقاطع، اندکی حالت زیگزاگ ایجاد شده است، که علت آن نیز ثابت بودن فاصله تعریف شده بین نقاط شبکه در عین تغییر ضخامت راه در محل تقاطع است. برای از بین رفتن این اثر بایستی شبکه متراکمتری از نقاط تعریف شود.

شکل ۲ (f) نیز حاصل اعمال MST با استفاده از الگوریتم Kruskal و انتخاب فاصله اقلیدسی نقاط اصلی به عنوان وزن یال‌هاست. در شکل ۲ (g) نیز محور راه استخراج شده بر روی تصویر اولیه واقع شده است که دارای فرمت برداری است.

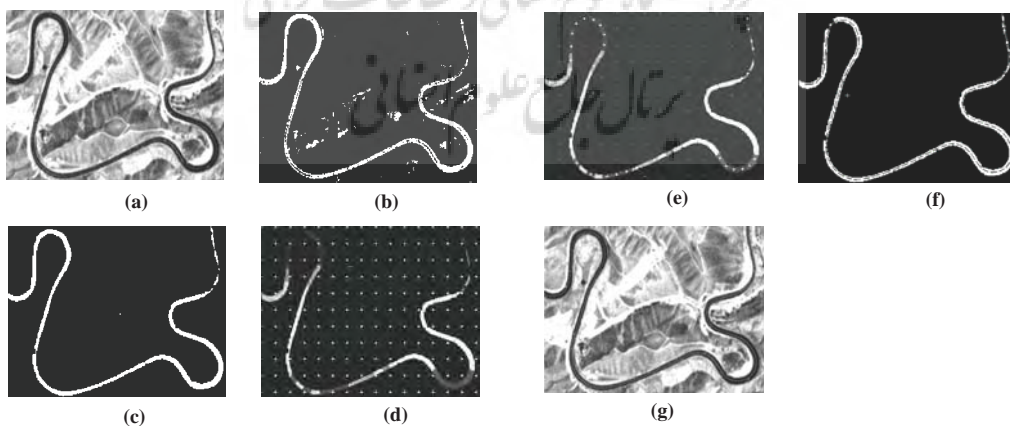
شکل ۳ و شکل ۴ نیز نتایج اعمال مراحل مختلف سیستم استخراج نیمه‌خودکار راه را بر روی تصویر چندطیفی (MS) از ماهواره IKONOS (قدرت تفکیک مکانی ۴ متر) از منطقه لواسان و به ترتیب به ابعاد 101×115 و 162×169 که دارای بافت نیمه‌شهری هستند، نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳ (b) مشاهده می‌شود، علت وجود گپ خطی در این شکل، اختلاف درجات خاکستری راه با جدول وسط آن است که البته با استفاده از اپراتورهای مورفولوژیکی، این اثر در شکل ۳ (c) از بین رفته است. همان‌طور که در شکل ۴ (g) مشاهده می‌شود، از آنجا که یکی از شرایط الگوریتم MST نبود سیکل در گراف است، در این تصویر لوپ‌ها بسته نشده‌اند. بنابراین در شرایطی که در تصویر عوارضی مانند میدان‌ها، فلک‌ها و سایر عوارض سیکل‌مانند وجود دارند، استفاده از الگوریتم MST برای اتصال گره‌ها، به تنهایی کافی نیست و نیازمند عملیات تکمیلی است؛ این امر یکی از دلایل نیمه‌خودکار بودن سامانه استخراج پیشنهادی ماست.



شکل ۳. مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر MS ماهواره IKONOS دارای بافت نیمه شهری در لواسان

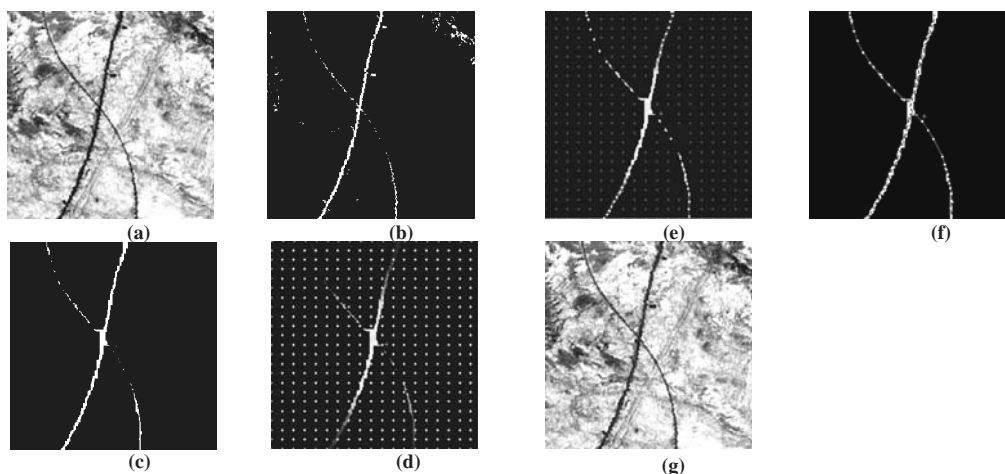


شکل ۴. مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر MS ماهواره IKONOS دارای بافت نیمه شهری در لواسان (میدان)

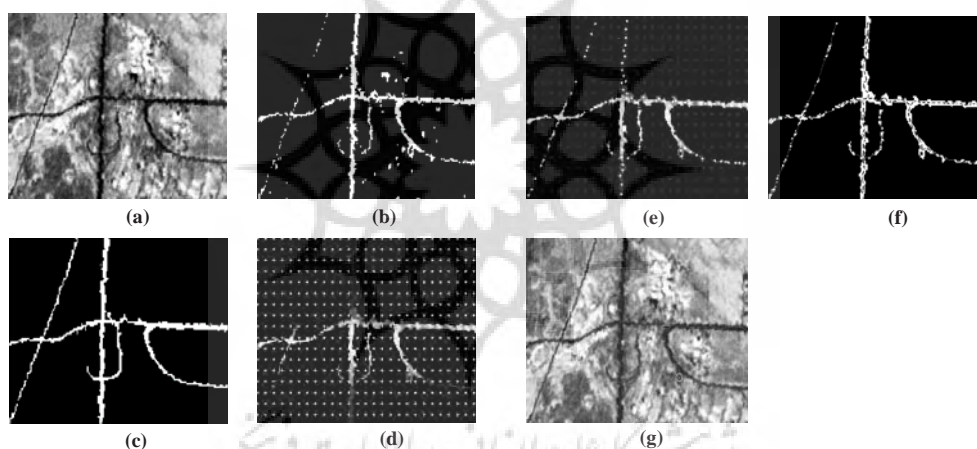


شکل ۵. مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر Pan ماهواره IRS-1D از منطقه‌ای کوهستانی در لواسان

استخراج اشکال متفاوت راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی



شکل ۶. مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر Pan-sharpened ماهواره Landsat از منطقه‌ای غیرشهری در اسلام‌شهر



شکل ۷. مراحل استخراج نیمه خودکار راه از تصویر Pan-sharpened ماهواره Landsat 7 ETM+ از منطقه‌ای نیمه شهری در اسلام‌شهر

شکل ۷ (a) تا (g) نیز یک تصویر Pan-sharpened ماهواره Landsat 7 ETM+ از منطقه نیمه‌شهری دیگری واقع در اسلام‌شهر و به ابعاد 119×187 را نشان می‌دهد که مراحل استخراج نیمه‌خودکار راه بر روی آن انجام گرفته است. در این تصویر انواع مختلف راه شامل راه مستقیم و منحنی و تقاطع دیده می‌شود که ضخامت‌های متفاوتی دارند. در این شرایط، نحوه عمل سامانه استخراج پیشنهادی با برخی دشواری‌ها مواجه می‌شود، چرا که نمی‌توان برای انواع راه و با ضخامت‌های گوناگون، در هنگام تعریف فاصله بین نقاط شبکه در اجرای الگوریتم خوشه‌بندی در فضای مکانی، حکمی کلی صادر کرد. افزایش اثر زیگزاگی راه، وجود اتصالات جافتاده و یا اتصالات اضافی، محدودیت سیستم را در چنین شرایطی نشان می‌دهند. لذا چنین می‌توان ارزیابی کرد که دقت سامانه پیشنهادی در شرایط وجود انواع مختلف راه با ضخامت‌های متفاوت، اندکی کاهش می‌یابد.

شکل ۷ (a) تا (g) نیز یک تصویر Pan-sharpened ماهواره Landsat 7 ETM+ از منطقه نیمه‌شهری دیگری واقع در اسلام‌شهر و به ابعاد 119×187 را نشان می‌دهد که مراحل استخراج نیمه‌خودکار راه بر روی آن انجام گرفته است. در این تصویر انواع مختلف راه شامل راه مستقیم و منحنی و تقاطع دیده می‌شود که ضخامت‌های متفاوتی دارند. در این شرایط، نحوه عمل سامانه استخراج پیشنهادی با برخی دشواری‌ها مواجه می‌شود، چرا که

۳-۱- ارزیابی نتایج مرحله کشف راه

در جدول ۱ پارامترهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی پیش و پس از پردازش با استفاده از ماتریس وقوع توأم برای تصاویر مورد استفاده در این تحقیق ارائه گردیده است. ارزیابی نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که به طور کلی دقت طبقه‌بندی برای تمامی تصاویر مورد استفاده، پس از پس‌پردازش به روش استفاده از اپراتورهای مورفولوژی، افزایش یافته و یا به عبارت دیگر خطای طبقه‌بندی (C_e, O_e) کاهش یافته است و به این صورت کلاس خالص تری از عارضه راه به دست آمده است. البته مقدار این افزایش با توجه به بافت و تنوع عوارض در تصاویر مختلف متفاوت است.

ضریب Kappa نیز که دقت طبقه‌بندی را در بدترین حالت و نسبت به طبقه‌بندی کاملاً تصادفی نشان می‌دهد، مانند دقت کلی (OA) بعد از پس‌پردازش، در تمامی تصاویر بهبود نشان می‌دهد. میزان بهبود دقت طبقه‌بندی در مورد ضریب Kappa نسبت به پارامتر دقت کلی درخور توجه است.

به عنوان مثال شکل‌های ۲، ۵ و ۶ به دلیل کم‌بودن تنوع عوارض موجود در منطقه و اختلاف آشکار درجات خاکستری راه با زمینه، در مقایسه با تصاویر دیگر دارای دقت طبقه‌بندی بالاتری هستند. تنوع بیشتر عوارض در ناحیه نیمه‌شهری (شکل‌های ۳، ۴ و ۷) و تشابه بیشتر درجات خاکستری راه با برخی عوارض موجود در این

تصاویر، عامل اصلی کاهش دقت طبقه‌بندی (OA) قلمداد می‌شوند.

۳-۲- ارزیابی نتایج مرحله برداری‌سازی محور مرکزی راه

در جدول ۲ خطای RMSE محور راه استخراج‌شده در هر یک از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده ارائه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، اختلاف محور راه استخراج‌شده به روش دستی و خودکار که در قالب خطای RMSE برای تماس تصاویر مورد استفاده در جدول ۲ معرفی گردیده، در تصاویر موجود در شکل‌های ۲ و ۵ در مقایسه با تصاویر دیگر کمتر است. متفاوت بودن عرض راه‌های موجود در تصویر، وجود تقاطع، ایجاد اثر زیگزاگی در راه و کمتر بودن دقت خوشه‌بندی، از جمله علل اصلی کاهش دقت استخراج راه (افزایش خطای RMSE) در تصاویر دیگر در مقایسه با دو تصویر شکل‌های ۲ و ۵ قلمداد می‌شود. به‌عنوان مثال شکل ۷ به دلیل تنوع موجود در راه‌ها و عرض آنها و وجود تقاطع، دارای بزرگ‌ترین خطای RMSE است. از سوی دیگر بررسی دقت برداری‌سازی محور مرکزی راه برای تصاویر آزموده‌شده نشان می‌دهد که برای راه‌های مستقیم، تقاطع‌ها، راه‌های مارپیچ و میدان‌ها به ترتیب افزایش، به نقاط بیشتری برای نمایش شکل راه نیاز است.

جدول ۱. پارامترهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی قبل و پس از پردازش برای تصاویر IRS, IKONOS و Landsat مورد استفاده در تحقیق

Fig. No.	Classification Accuracy assessment Before post-processing (%)				Classification Accuracy assessment After post-processing (%)			
	OA	Kappa	Ce	Oe	OA	Kappa	Ce	Oe
Fig. ²	۹۷/۸۷	۸۷/۱۳	۶/۱۷	۱۶/۶۰	۹۸/۸۱	۹۲/۸۲	۰/۵۸	۱۱/۷۹
Fig. ³	۹۴/۶۱	۶۶/۲۱	۲۲/۴۳	۲۹/۱۶	۹۷/۹۸	۸۶/۴۵	۷/۲۲	۱۷/۰۵
Fig. ⁴	۹۶/۰۳	۶۵/۵۹	۲۸/۸۶	۳۵/۴۳	۹۷/۸۰	۷۹/۵۱	۶/۹۰	۲۸/۸۵
Fig. ⁵	۹۶/۶۳	۷۶/۷۲	۱۷/۲۲	۲۵/۱۹	۹۸/۴۸	۸۹/۰۸	۰/۱۶	۱۸/۲۵
Fig. ⁶	۹۸/۶۱	۶۷/۷۷	۲۶/۶۱	۳۵/۸۱	۹۹/۱۱	۷۷/۱۷	۵/۲۵	۲۴/۲۷
Fig. ⁷	۹۶/۸۸	۷۲/۷۷	۲۳/۱۳	۲۷/۸۶	۹۷/۲۷	۷۷/۰۵	۱۹/۰۱	۲۳/۹۲

استخراج اشکال متفاوت راه از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک‌های مختلف مکانی

جدول ۲. مقادیر RMSE محاسبه‌شده برای تصاویر IKONOS، IRS و Landsat مورد استفاده در تحقیق

Fig. NO.	Satellite Name	Spatial Resolution (meter)	RMSE (pixel)
Fig. 2	IKONOS (pansharp) (۱۱۹ × ۱۷۰)	۱	۰/۴۵
Fig. 3	IKONOS (MS) (۱۱۵ × ۱۰۱)	۴	۰/۶۲
Fig. 4	IKONOS (MS) (۱۶۹ × ۱۶۲)	۴	۰/۸۵
Fig. 5	IRS-ID (Pan) (۲۰۸ × ۳۰۸)	۵	۰/۴۵
Fig. 6	Landsat-7 ETM+(pansharp) (۲۶۶ × ۲۵۰)	۱۵	۰/۷۶
Fig. 7	Landsat-7 ETM+(pansharp) (۱۱۹ × ۱۸۷)	۱۵	۰/۹۴

استخراج‌شده و همچنین عدم صحت مقادیر به‌دست آمده برای این پارامتر در راه‌های دارای اثر زیگزاگی است.

بررسی تأثیر تغییر تعداد مراکز خوشه‌ها در خوشه‌بندی مکانی در تخمین شکل راه

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های تمامی روش‌های خوشه‌بندی، تخمین تعداد بهینه مراکز خوشه‌هاست. اهمیت تعیین تعداد مراکز خوشه‌ها (تعداد نقاط شبکه) در خوشه‌بندی انجام‌گرفته در مرحله برداری‌سازی راه در این است که تعداد این نقاط نمایانگر نحوه نمایش شکل راه است، بدین معنی که تراکم این نقاط متناسب با میزان انحنای راه تعیین می‌گردد.

شکل ۸ و جدول ۳، کاهش اثر زیگزاگی را با افزایش فاصله بین نقاط شبکه برای تصویر IKONOS موجود در شکل ۲ نشان می‌دهد. مقایسه RMSE‌های موجود در جدول ۲ حاکی از آن است که به‌طور کلی با افزایش فاصله بین نقاط شبکه از ۵ به ۲۵ پیکسل، سیر نزولی RMSE اتفاق می‌افتد. همچنین اعداد

علاوه بر محاسبه RMSE، معیاری به نام Completeness نیز برای تصویر موجود در شکل ۴ محاسبه گردیده که بیانگر میزان صحت استخراج خودکار راه‌های موجود در تصویر است. این پارامتر زمانی محاسبه می‌گردد که سامانه قادر به استخراج کامل عارضه مورد نظر نیست و به هر دلیل قسمتی از عارضه استخراج نشده است. مقدار پارامتر برای این تصویر را به درستی استخراج کرده است. همان‌طور که در شکل ۴ (g) مشاهده می‌شود، وجود عارضه میدان در این تصویر، موجب کاهش توانایی الگوریتم MST در استخراج خودکار راه‌های موجود شده است، لذا برخی از یال‌های گراف - که در واقع اتصالات موجود در عارضه میدان هستند - استخراج نشده است. به همین دلیل نیز معیار Completeness برای این تصویر محاسبه گردیده است. لازم به ذکر است که این معیار برای تصاویر دیگری که در این تحقیق به کار گرفته شده‌اند، محاسبه نشده است و علت این امر نیز همان‌طور که پیش از این ذکر شد، عدم نیاز به محاسبه این پارامتر برای راه‌های کامل

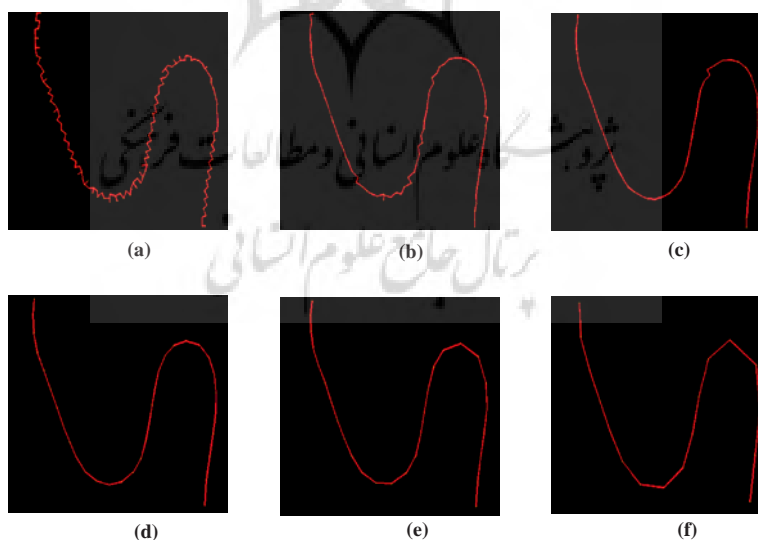
خودکار، و طول راه استخراج شده کاهش می‌یابد. در این فرایند، شکل ۸ (d) نشان‌دهنده مناسب‌ترین فاصله بین نقاط شبکه برازش داده شده یا به عبارت دیگر بهترین تقریب از شکل راه با توجه به مقادیر RMSE و طول راه است. در عین حال همان‌طور که در شکل‌های (e) و (f) مشاهده می‌شود، کاهش بیش از حد تعداد نقاط شبکه و یا افزایش بیش از حد فاصله آنها موجب می‌شود راه از شکل واقعی‌اش فاصله بگیرد.

محاسبه شده برای طول راه استخراج شده در هر یک از حالت‌های موجود در شکل ۸ که در جدول ۳ ارائه گردیده، بیانگر کاهش طول راه استخراج شده با افزایش فاصله بین نقاط شبکه و افزایش اثر زیگزآگی و طول راه با کاهش فاصله بین نقاط شبکه است.

بنابراین می‌توان بیان کرد که با افزایش فاصله بین نقاط شبکه در خوشه‌بندی مکانی، اثر زیگزآگی در شکل راه، اختلاف محور راه استخراج شده به روش دستی و

جدول ۳. مقایسه RMSE و طول راه استخراج شده از تصویر موجود در شکل ۲ با انتخاب شبکه‌هایی با ابعاد متفاوت

Figure	RMSE	Road Length
(a) 5 pixels grid	۱۶/۷۷	۴۸۶/۸۳۳
(b) 8 pixels grid	۰/۸۱	۳۴۵/۴۹۷
(c) 10 pixels grid	۰/۴۶	۳۲۸/۴۲۱
(d) 15 pixels grid	۰/۴۵	۳۲۵/۷۰۸
(e) 20 pixels grid	۰/۳۷	۳۱۶/۵۹۶
(f) 25 pixels grid	۰/۴۶	۳۰۱/۸۷۳
Manual Extracted Road	—	۳۲۸/۷۰۶



شکل ۸. بررسی اثر ابعاد شبکه در خوشه‌بندی مکانی در تخمین شکل راه محور راه استخراج شده با استفاده از شبکه‌ای به ابعاد (a) ۲۴×۳۴ (فواصل ۵ پیکسل)، (b) ۱۵×۲۲ (فواصل ۸ پیکسل)، (c) ۱۲×۱۷ (فواصل ۱۰ پیکسل)، (d) ۸×۱۲ (فواصل ۱۵ پیکسل)، (e) ۶×۹ (فواصل ۲۰ پیکسل)، (f) ۵×۷ (فواصل ۲۵ پیکسل)

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف پیشنهاد و معرفی سامانه استخراج نیمه خودکار راه، از تصاویر ماهواره‌ای IRS-1D, IKONOS و LANDSAT-7ETM+ با قدرت تفکیک‌های مکانی به ترتیب ۱ و ۴ متر، ۵ متر و ۱۵ متر و با هدف تهیه و بهنگام‌رسانی نقشه‌های متوسط و کوچک‌مقیاس سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای و با استفاده از تلفیقی از روش‌های خوشه‌بندی FCM در فضای طیفی، c.means در فضای مکانی، استفاده از اپراتورهای مورفولوژی، و تئوری گراف انجام گرفته است. در سامانه مذکور کوشش شده است که اشکال مختلف راه اعم از راه‌های مستقیم، مارپیچ، تقاطع‌ها و میدان‌ها عمدتاً در نواحی غیرشهری، نیمه‌شهری و کوهستانی مورد بررسی قرار گیرند و نتایج حاصل از ارزیابی دقت آنها در قالب جداولی ارائه شوند.

رسیدن به میانگین دقت کلی (OA) بیش از ۹۸ درصد، میانگین ضریب کاپا (Kappa) بیش از ۸۳ درصد در طبقه‌بندی تصویر به دو کلاس راه و غیرراه، و حصول میانگین خطای RMS حدود ۰/۶۸ پیکسل، از مقایسه محور راه استخراج‌شده با واقعیت زمینی آن، نشانگر موفقیت کلی سامانه پیشنهادی برای استخراج نیمه‌خودکار راه است. نتایج و محدودیت‌های سامانه مذکور را می‌توان در قالب موارد زیر عنوان کرد:

در مقایسه تصاویر MS, Pan و Pansharpened بایستی خاطر نشان کرد که افزایش باندهای حاوی اطلاعات در تصاویر ماهواره‌ای (به تعداد کم) موجب افزایش آشکار دقت طبقه‌بندی، و افزایش بیش از اندازه آن موجب ایجاد همبستگی بین باندها و ثابت ماندن و یا کاهش دقت طبقه‌بندی می‌گردد. استفاده از تصاویر Pansharpened نیز تنها حد تفکیک مکانی تصویرشده را بالا می‌برد و بر دقت طبقه‌بندی تأثیر نمی‌گذارد. بنابراین می‌توان چنین تفسیر کرد که حد تفکیک مکانی تصویر تأثیر چندانی بر دقت استخراج سامانه پیشنهادی ندارد و حد تفکیک طیفی، تنوع عوارض موجود در تصویر، شکل و ضخامت راه‌های موجود به عنوان ملاک‌های مهم‌تری در ارزیابی دقت سامانه

پیشنهادی استخراج نیمه خودکار راه شناخته می‌شوند. عامل دیگر تأثیرگذار بر دقت سامانه، شکل و ضخامت راه‌های موجود در تصویر است. در تحقیق حاضر، شکل‌های مختلف راه شامل راه مستقیم، مارپیچ، تقاطع و میدان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هر چه انحنای راه بیشتر باشد، به‌منظور تخمین دقیق‌تر شکل راه به شبکه متراکم‌تری از نقاط نیاز است؛ بنابراین می‌توان گفت که کاهش فاصله نقاط شبکه موجب تخمین دقیق‌تر شکل راه و در عین حال ایجاد اثر زیگزاگی در راه می‌شود. بنابراین انتخاب شبکه‌ای با فواصل مناسب و متناسب با شکل و ضخامت راه امری مهم قلمداد می‌شود.

از سوی دیگر، سامانه پیشنهادی قادر به استخراج کامل راه از تصاویری که دارای عوارض سیکل‌مانند هستند - نظیر میدان‌ها و فلکه‌ها - نخواهد بود، زیرا الگوریتم استفاده‌شده برای اتصال نقاط شبکه (الگوریتم MST) شرط اساسی نداشتن سیکل در گراف را - که شرطی محدودکننده در استخراج میدان‌ها به حساب می‌آید - در خود دارد. به همین دلیل در چنین تصاویری نیاز به انجام عملیات تکمیلی برای استخراج قطعات راه جاافتاده وجود دارد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که به‌طور کلی هر چه شکل راه پیچیده‌تر باشد، به تعداد نقاط اصلی بیشتری برای نمایش شکل راه نیاز است. در مورد تصاویر آزموده‌شده در این مقاله و با در نظر گرفتن ابعاد تصویر و طول راه‌های موجود در آن، برای راه‌های مستقیم، تقاطع‌ها، راه‌های مارپیچ و میدان‌ها به ترتیب افزایش، به نقاط بیشتری برای نمایش شکل راه نیاز است.

۵- تشکر و قدردانی

در پایان لازم می‌دانم از دوستان محترم در سازمان راهداری و حمل‌ونقل جاده‌ای، به‌ویژه دکتر مسعود طبیبی به‌خاطر رهنمون‌های ارزشمندشان در پیاده‌سازی این پروژه، مراتب تشکر و قدردانی را به‌جا آورم. همچنین از سازمان جغرافیایی کشور که عهده‌دار تهیه تصاویر IRS این پروژه بوده‌اند، قدردانی می‌کنم.

۶- منابع

- Bezdek, J.C., Ehrlich, R., and Full, W., 1984, **FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm**, Computers and Geosciences, 10, PP. 191-203.
- Bonnefon, R., Dherete, P., Desachy, J., 2002, **Geographic information system updating using remote sensing images**, Pattern Recognition Lett. 23 (9), PP. 1073_1083.
- Chiang, Y., Knoblock C., Shahabi C., 2008, **Automatic and Accurate Extraction of Road Intersections from Raster Maps**, Journal of Geoinformatica, Springer Science + Business Media, LLC 2008.
- Doucette, P., Agouris, P., Stefanidis, A., Musavi, M., 2001, **Self-organised clustering for road extraction in classified imagery**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 55, PP. 347-358.
- Farnood Ahmadi, F., Valadan Zoej, M.J., Ebadi, H., and Mokhtarzade, M., 2008, **Road Extraction from High Resolution Satellite Images Using Image Processing Algorithms and CAD-Based Environments Facilities**, Journal of Applied Sciences, 8, PP. 2975-2982.
- Gonzalez, Rafael C., Woods, Richard E., 2007, **Digital image processing**, Prentice-Hall, Inc, 3th ed.
- Hellwich, O., Wiedemann, C. 2000, **Object extraction from high resolution multisensor image data**, 3rd International Conference Fusion of Earth Data, Sophia Antipolice, January, GreCA, Nice, PP. 105-115.
- Horowitz, E., Sahni, S., Anderson-Freed, S., 2007, **Fundamentals of Data Structures in C**, Silicon Pr; 2nd ed.
- Mena, J. B., 2003, **State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification**, Pattern Recognition Letters 24(16), PP. 3037-3058.
- Mena, J.B., 2006, **Automatic vectorization of segmented road networks by geometrical and topological analysis of high resolution binary images**, Alcalá de Henares University, Department of Mathematics (Geodesy), Polytechnic School, E-28871 Madrid, Spain.
- Mohammadzadeh, A., Tavakoli, A., Valadan-zoej, M., 2006, **Road extraction based on fuzzy logic and mathematical morphology from pan-sharpened Ikonos images**, Photogrammetric Record, 21(113): PP. 44-60.
- Mokhtarzade M., Valadan Zoej, M., 2007, **Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 9, Issue 1, February, PP. 32-4.
- Poonam S. Tiwaria, Hina Pandea & Mya Nan Aye, 2009, **Exploiting IKONOS and Hyperion data fusion for automated road extraction**, Geocarto International Journal, Volume 25, Issue 2, PP. 123-131.
- Richards, John A., Xiuping, Jia, 2006, **Remote sensing digital image analysis: an introduction**, Springer; 4th ed., Chapter 3, 9 & 11.

- Smadja, L., Ninot, J. and Gavrilovic, T., 2010, **Road Extraction and Environment Interpretation from Lidar Sensors**, IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3A – Saint-Mandé, France.
- Sowmya, A., Trinder, J., 2000, **Modelling and representation issues in automated feature extraction from aerial and satellite images**, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 55, 34-47.
- Yao, L., 2009, **Semi-automatic Road Extraction from Very High Resolution Remote Sensing Imagery by Road Modeler**, A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Science in Geography.
- Yuan, J., Wang, D., Wu, B., Yan, L., Li, R., 2009, **Automatic road extraction from satellite imagery using LEGION networks**, International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2009.
- Zhang, Q., Couloigner, I., 2006, **Automated road network extraction from high resolution multi-spectral imagery**, Proceedings of ASPRS 2006 Annual Conference, Reno, Nevada.

