

## بهینه‌سازی اتوماتیک خوشه‌بندی شبکه راه‌ها با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات بمنظور استخراج محور مرکزی آنها

فاطمه عامری<sup>۱\*</sup>، محمدجواد ولدان زوج<sup>۲</sup>، مهدی مختارزاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۵/۱۲

### چکیده

این تحقیق در برگیرنده روشی نوین در استخراج راه در قالب دو مرحله کشف راه و برداری سازی آن می باشد. در مرحله کشف راه تصویر مشتمل بر کلاس عوارض راه با استفاده از خوشه‌بندی به روش سی مینز فازی و بهبود تصویر با بهره‌گیری از پاره‌ای از عملیات پس پردازشی حاصل می گردد. در مرحله برداری‌سازی، نقاط کلیدی نماینده محور مرکزی راه توسط روشی نوین در خوشه‌بندی پویای تصویر کلاس راه بر مبنای الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات تعیین می گردند. الگوریتم پیشنهاد شده قادر است تعداد و موقعیت نقاط کلیدی را بر روی راه کشف شده به صورت اتوماتیک و بدون نیاز به معلومات اولیه ای مانند تعداد و موقعیت اولیه مراکز خوشه‌ها، بهینه نماید. در این راستا تابع هزینه جدیدی طراحی و به الگوریتم مذکور معرفی گردیده است. در نهایت نقاط کلیدی بهینه با استفاده از تکنیک گراف وزن دار به یکدیگر متصل می گردند. روش پیشنهادی بر روی چندین تصویر بزرگ مقیاس ماهواره ایکنوس تهیه شده از نواحی شهری، غیرشهری و کوهستانی پیاده‌سازی شده و معیارهای ارزیابی دقت شامل جذر میانگین مربع خطا، تمامیت، صحت و کیفیت محاسبه گردیدند. نتایج حاکی از موفقیت الگوریتم پیشنهادی در استخراج اشکال مختلف راه با جذر میانگین مربعی خطا کمتر از  $\frac{1}{3}$  و کیفیت برداری‌سازی بیش از  $\frac{0.86}{0.86}$  در نواحی مختلف می باشد.

**کلید واژه‌ها:** استخراج عارضه، بهینه‌سازی به روش انبوه ذرات، تصاویر رقومی، برداری‌سازی راه، خوشه‌بندی

\* نویسنده مسئول: تهران، خیابان ولیعصر، تقاطع میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

تلفن: ۰۹۱۲۲۵۷۳۳۸۷

## ۱- مقدمه

در حال حاضر، روشهای استخراج اطلاعات مکانی از تصاویر ماهواره ای عمدتاً مبتنی بر تفسیرهای بصری و ترسیم عوارض توسط عامل انسانی می باشد که اینکار، نیاز به صرف زمان و هزینه بالایی دارد. حجم وسیع داده‌های جمع‌آوری شده توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای و بهبود چشمگیر قدرت تفکیک مکانی و طیفی این تصاویر ایجاب می‌کند تا به منظور استفاده بهینه از این داده‌ها در تولید و بهنگام رسانی سریع و اقتصادی نقشه‌ها، اتوماسیون مراحل تولید نقشه از تصاویر که عمدتاً مبتنی بر استخراج اتوماتیک می‌باشد، بعنوان یکی از عمده ترین زمینه‌های تحقیقاتی در علوم سنجش از دور و فتوگرامتری مطرح گردد.

راه‌ها از جمله مهمترین عوارض توپوگرافی خطی محسوب می‌گردند که فراهم نمودن اطلاعات مکانی دقیق از آنها و بهنگام‌رسانی منظمشان، از جمله حیطه‌های تحقیقاتی محبوب در بین محققین طی سه دهه اخیر به حساب می‌آید. علیرغم تلاش‌های صورت‌گرفته در حوزه استخراج راه، هیچیک از روش‌های فوق توانایی استخراج کامل شبکه راه‌ها را نداشته و در یکی از مراحل کشف راه یا برداری‌سازی آن دارای محدودیتهایی می‌باشند. عواملی مانند وجود مانع در راه، ضعف و یا پیچیدگی الگوریتم، هندسه سنجنده و ... می‌تواند از جمله علل عدم موفقیت کامل سیستم استخراج راه در کشف این عارضه و یا برداری‌سازی آن محسوب گردد.

استخراج راه بر روی طیف وسیعی از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی در محدوده ۰/۱ (یک دهم) متر تا ۸۰ متر قابل پیاده‌سازی می‌باشد [۱]. مدل و استراتژی‌های مورد استفاده در استخراج راه وابسته به قدرت تفکیک مکانی تصویر و همچنین نوع عوارض و محتوای اطلاعاتی تصویر متغیر می‌باشند. در تصاویر با رزولوشن مکانی متوسط تا پایین (محدوده ۱ متر تا ۳۰ متر) راه‌ها معمولاً بصورت خطوط نازک و

طویل مدل می‌شوند (روش خطی استخراج راه). علاوه بر آن در این رزولوشن راه‌ها از اغلب عوارض دیگر بخوبی متمایز می‌گردند. در تصاویر با رزولوشن مکانی بالا (کمتر از ۱ متر) راه‌ها معمولاً بصورت نواحی همگن و طویل مدل می‌شوند (روش ناحیه ای استخراج راه). این نوع از مدلسازی برای نواحی شهری مناسبتر می‌باشد چراکه در این رزولوشن، راه چندان دارای ویژگی‌های خطی نبوده و از سوی دیگر تشابه طیفی با عوارض دیگر بخصوص ساختمانها مشاهده می‌گردد.

به طور کلی روشهای ناحیه ای استخراج راه در دو مرحله قابل پیاده‌سازی می‌باشند:

(۱) مرحله کشف راه که در آن نواحی از تصویر که شامل پیکسل‌های راه می‌باشد از سایر کلاسهای عوارض تصویر مجزا می‌گردد. خروجی این مرحله یک تصویر باینری است که در آن عارضه راه از زمینه جدا شده است. می‌توان گفت اغلب تحقیقات انجام گرفته در زمینه استخراج راه به مرحله کشف راه از تصویر رقومی پرداخته است [۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰].

(۲) مرحله برداری‌سازی راه که هدف از آن نمایش برداری محور مرکزی راه استخراج شده از تصویر باینری حاصل از مرحله کشف راه می‌باشد. تعداد تحقیقاتی که در این حیطه وجود دارد در مقایسه با حیطه کشف راه چندان گسترده نمی‌باشد. از جمله می‌توان به تحقیقی اشاره نمود که روشی جهت برداری‌سازی بر اساس کمینه کردن انرژی برای استخراج اسکلت راه ارائه نموده است [۱۱]. همچنین روشی جهت استخراج مناطق دارای کشیدگی با تجزیه تحلیل تصویر باینری حاصل از روش خوشه‌بندی ارائه شده است که منجر به استخراج نقاط کلیدی راه و نهایتاً اسکلت عارضه راه از تصاویر بزرگ مقیاس فضایی می‌گردد [۱۲]. از دیگر تحقیقات صورت گرفته در این حوزه برداری‌سازی محور مرکزی راه با انجام تکنیک خوشه‌بندی می‌باشد [۱۳]. در این تحقیق

شامل دو مرحله اکتشاف راه و برداری‌سازی آن طراحی نماییم که با حداقل دخالت کاربر قادر باشد محور مرکزی اشکال مختلف راه را از تصاویر رقومی با قدرت تفکیک مکانی بالا استخراج نماید. نوآوری سیستم طراحی شده در فرآیند برداری‌سازی آن می‌باشد. این فرآیند خود مشتمل بر دو مرحله اساسی می‌باشد: مرحله تعیین نقاط کلیدی راه و مرحله برقراری اتصال بین این نقاط. در ابتدا با استفاده از تکنیک نوین خوشه بندی در فضای تصویر با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات<sup>۷</sup>، تعداد و موقعیت بهینه نقاط کلیدی نمایانگر محور مرکزی راه تعیین می‌گردد. سپس با استفاده از تئوری گراف این نقاط به یکدیگر متصل می‌گردند تا به بهترین وجه معرفی از محور مرکزی راه کشف شده از تصویر باشند. پس از بیان مقدمه‌ای از تحقیق در این بخش، خوشه‌بندی با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات در بخش دوم مرور می‌گردد. در ادامه در بخشهای سوم و چهارم به ترتیب الگوریتم پیشنهادی استخراج محور مرکزی راه معرفی شده و بر روی تصاویر بزرگ مقیاس پیاده‌سازی می‌گردد. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی در بخش پایانی ارائه شده است.

## ۲- خوشه‌بندی پویا با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات

هدف اصلی از خوشه‌بندی یافتن مجموعه پیکسل‌های دارای شباهت بر روی تصویر می‌باشد. این شباهت می‌تواند به طرق مختلف مانند نزدیکی مکانی، نزدیکی طیفی و یا بر اساس سایر ویژگی‌های پیکسل‌ها تعریف گردد. هر خوشه دارای نماینده‌ای است که معرف خوشه محسوب گردیده و معمولاً نشانگر مرکز خوشه می‌باشد. میزان شباهت داده‌ها به مرکز خوشه عموماً توسط پارامتری به نام معیار شباهت تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر هدف از خوشه‌بندی

خوشه‌های نوین بر اساس ویژگی دانسیته خوشه قابل شناسایی می‌باشند. در [۱۴] روشی عملی جهت استخراج اتوماتیک اسکلت راه بر اساس تکنیک خوشه‌بندی کامینز<sup>۱</sup> و روش مثلث‌بندی دلونی<sup>۲</sup> ارائه گردیده است. نویسنده مقاله اخیر در مقاله دیگر خود [۱۵] بمنظور تکمیل روش قبل، اقدام به ارائه الگوریتم جدیدی به‌منظور برداری‌سازی راههای موجود در تصویر حاصل از کشف راه طی چند مرحله نموده است. این مراحل شامل مرحله پاکسازی<sup>۳</sup> با هدف کاهش سطح نویز در تصویر باینری اولیه، مرحله طبقه‌بندی پیکسلها و نرم کردن لبه‌ها، مرحله استخراج اسکلت راه با محاسبه فاصله چمفر<sup>۴</sup>، نازک‌سازی و پاکسازی اسکلت استخراج شده تا رسیدن به ضخامت یک پیکسل، شناسایی نقاط انتهایی و تقاطعها و تشکیل گراف شبکه راه، و در پایان رفع ناپیوستگی‌های راه با استفاده از مورفولوژی ریاضی می‌باشند. شواهد مؤید پیچیدگی روش برداری‌سازی ارائه شده از لحاظ تعداد مراحل و صرف زمان زیاد محاسباتی می‌باشد. در تحقیق دیگری [۵] محور مرکزی راه با تبدیل محلی رادون<sup>۵</sup> استخراج گردیده است. همچنین در مرحله کشف راه از طبقه‌بندی تصویر لیدار و برای برداری‌سازی راه از روش PCD<sup>۶</sup> استفاده شده است [۱۶]. در این روش یک تابع نمایی پیچیده با تصویر حاوی نواحی راه کانالو شده و تصاویر مربوط به دامنه و فاز در فضای فرکانس محاسبه می‌گردند. موقعیت مراکز راه و عرض آن از تصویر دامنه و زاویه امتداد راه از تصویر فاز قابل استخراج می‌باشند. در این تحقیق قصد داریم سیستم استخراج راه

1 k-means

2 Delaunay Triangulation

3 Cleaning

4 Chamfer

5 Localised Radon transform

6 Phase Coded Disk

7 Particle Swarm Optimization (PSO)

بیشینه کردن جدایی بین خوشه‌ها و در عین حال کمینه کردن پراکندگی داخل خوشه می‌باشد. از آنجاییکه در خوشه‌بندی بهینه کردن معیار شباهت (تابع هدف) مدنظر است، می‌توان خوشه‌بندی را به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفت [۱۷].

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش سرعت محاسبات کامپیوتری، استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و هوش جمعی در حل مسائل خوشه‌بندی بیش از پیش توسعه یافته است. شواهد نشانگر موفقیت بیشتر الگوریتم‌های تکاملی در مقایسه با روش‌های کلاسیک خوشه‌بندی داده‌ها می‌باشد [۱۸]. یکی از الگوریتم‌های تکاملی بر مبنای هوش جمعی که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته الگوریتم انبوه ذرات می‌باشد.

ایده الگوریتم انبوه ذرات برای نخستین بار توسط کندی، روانشناس اجتماعی و ابرهات، مهندس برق در سال ۱۹۹۵ پایه گذاری شد. آن‌ها در ابتدا قصد داشتند که با بهره گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی، نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی‌های فردی ویژه نیازی نداشته باشد. آنها با الهام گرفتن از رفتارهای جمعی پرندگان برای یافتن دانه و ماهی‌ها بمنظور گریختن از خطر شکارچی، الگوریتمی قوی برای بهینه‌سازی پایه گذاری نمودند که بر اساس آن تعدادی از موجودات به نام ذره در فضای جستجوی تابعی که قصد بهینه‌کردن مقدار آن را داریم، پخش شده اند. هر ذره مقدار تابع هدف را در موقعیتی از فضا که در آن قرار گرفته است، محاسبه می‌کند. سپس با استفاده از ترکیب اطلاعات محل فعلیش و بهترین محلی که در گذشته در آن بوده است و همچنین اطلاعات یک یا چند ذره از بهترین ذرات موجود در جمع، جهتی را برای حرکت انتخاب می‌کند. پس از انجام حرکت توسط کلیه ذرات، یک مرحله از الگوریتم به پایان می‌رسد. این مراحل چندین بار تکرار می‌شوند تا آن که جواب مورد نظر به دست بیاید [۱۹].

در خوشه‌بندی توسط نسخه باینری الگوریتم انبوه ذرات<sup>۱</sup> که توسط کندی و ابرهات در سال ۱۹۹۷ معرفی گردید، تغییر کوچکی بر روی الگوریتم اولیه صورت گرفت تا بتوان برای بهینه کردن کمیت‌های گسسته نیز از آن استفاده نمود [۲۰]. در این الگوریتم هر ذره به‌عنوان یک راه حل بصورت زنجیره ای از مقادیر ۰ و ۱ نمایش داده می‌شود. اختصاص مقدار ۱ به هر خوشه نشانگر انتخاب مرکز خوشه موردنظر در مجموعه راه حل‌ها و اختصاص مقدار ۰ به آن به معنای حذف مرکز خوشه مربوطه می‌باشد (شکل ۱).

### ۳- الگوریتم پیشنهادی استخراج محور مرکزی راه

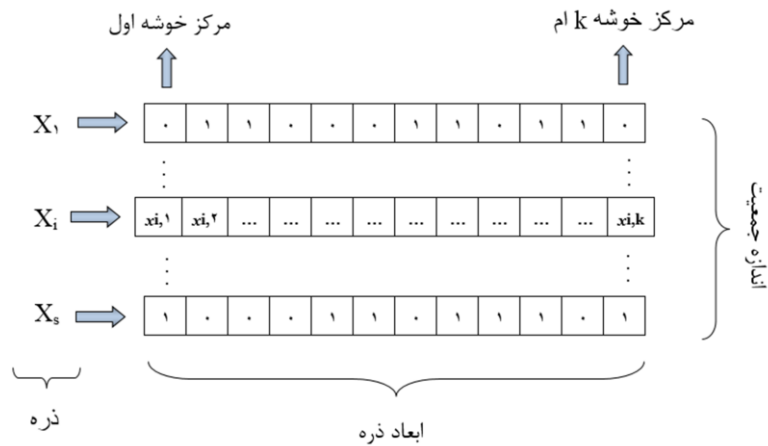
در این بخش مراحل استخراج محور مرکزی راه در قالب دو مرحله کشف و برداری‌سازی راه تشریح می‌گردد. در پایان پارامترهای مورد استفاده در ارزیابی نتایج معرفی گردیده است. شایان ذکر است که نوآوری تحقیق مربوط به بخش برداری‌سازی آن می‌باشد. شکل ۲ فلوچارت مربوط به الگوریتم استخراج محور مرکزی راه را نشان می‌دهد.

#### ۳-۱- مرحله کشف راه

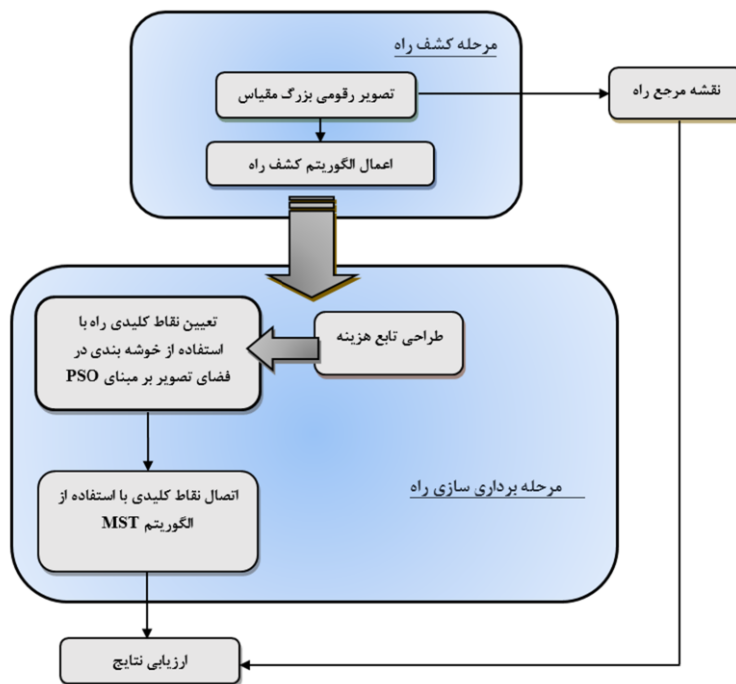
الگوریتم پیشنهادی استخراج راه در مرحله کشف راه بمنظور تفکیک کلاس عارضه راه از سایر کلاسهای عوارض دو مرحله اصلی را بایستی طی نماید. در ابتدا با استفاده از روش خوشه‌بندی سی مینز فازی<sup>۲</sup> در فضای طیفی، تصویر باینری حاصل از طبقه‌بندی راه بدست می‌آید. به دنبال آن با بهره گیری از تلفیقی از عملگرهای مورفولوژیکی بمنظور حذف نویز و پر کردن گپ‌های موجود در تصویر راه، تصویر باینری نهایی راه حاصل می‌شود.

1 Binary PSO

2 Fuzzy C-Means (FCM)



شکل ۱. مدل مفهومی BPSO



شکل ۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی استخراج راه

ضخیم‌سازی<sup>۵</sup> استفاده گردیده است. این عملگرها موجب حذف نویزها و پیکسل‌های غیر راه از تصویر باینری کلاس راه و پر کردن گپ‌های موجود در راه می‌گردند. شرح جزئیات مرحله کشف راه را در [۲۱] می‌توان یافت.

در این تحقیق به منظور انجام پس پردازش و افزایش دقت کلاس راه بدست آمده بسته به شکل نویزها و گپ‌های موجود، از یک یا تعدادی از عملگرهای مورفولوژیکی باز<sup>۱</sup>، بسته<sup>۲</sup>، اتصال<sup>۳</sup>، پاکسازی<sup>۴</sup> و

- 1 Opening
- 2 Closing
- 3 Bridge
- 4 Clean

5 Thicken

## ۳-۲- مرحله برداری سازی راه

مرحله برداری سازی محور مرکزی راههای بدست آمده از مرحله کشف راه شامل دو مرحله تعیین نقاط کلیدی و اتصال آنها می باشد. در مرحله اول تعداد و نحوه توزیع نقاط کلیدی راه با استفاده از روش پیشنهادی خوشه بندی بر اساس الگوریتم انبوه ذرات بهینه می گردد و در مرحله دوم نقاط بدست آمده توسط الگوریتم درخت پوشای کمینه<sup>۱</sup> جهت حصول توپولوژی راه به یکدیگر وصل می گردند.

## ۳-۲-۱- تعیین نقاط کلیدی راه

الگوریتم پیشنهادی تعیین نقاط کلیدی در این تحقیق، مدل تغییر یافته الگوریتم "خوشه بندی پویا با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات" [۱۷] می باشد. وجوه تمایز الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم مذکور عبارت است از:

- در روش خوشه بندی پویا با استفاده از الگوریتم انبوه ذرات، خوشه بندی بر روی درجات خاکستری پیکسل های تصویر صورت می گیرد، در حالیکه در روش پیشنهادی موقعیت مکانی پیکسل های راه موجود در تصویر جهت انجام خوشه بندی مورد نیاز می باشند.
- در الگوریتم خوشه بندی پویا از خوشه بندی کامینز جهت تنظیم موقعیت دقیق مراکز خوشه استفاده شده است، حال آنکه در الگوریتم پیشنهادی، خوشه بندی به روش کامدینز<sup>۲</sup> به دلیل خصوصیات محکم آماری آن در برخورد با پیکسل های نویز جایگزین گردیده است.
- در الگوریتم پیشنهادی تابع هزینه جدیدی طراحی شده است که قادر است بدون نیاز به تنظیم پارامترهای وزن، در عین کمینه کردن پراکندگی درون خوشه ای، فواصل بین خوشه ها را نیز بهینه نماید.

در ادامه مراحل اصلی الگوریتم پیشنهادی تعیین نقاط کلیدی به روش بهینه سازی خوشه بندی مکانی پیکسل های راه بر اساس الگوریتم انبوه ذرات بیان می گردد:

(a) بیشینه تعداد اولیه نقاط کلیدی ( $N_{MRKP}$ )

بعنوان مراکز خوشه اولیه تعیین شده و جمعیت اولیه ذرات مطابق با رابطه ۱ مقداردهی اولیه می شوند:

$$x_{i,k} = \begin{cases} 0 & \text{if } r \geq p_{ini} \\ 1 & \text{if } r < p_{ini} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه  $X_i$  زنجیره ای از مقادیر ۰ و ۱ ( $X_{i,k}$ ) و  $p_{ini}$  احتمالی است که توسط کاربر تعیین می گردد. کمیت  $r$  عددی تصادفی در بازه [۰, ۱] می باشد. انتخاب مقادیر بالا برای  $p_{ini}$  منجر به انتخاب تعداد بیشتری نقاط کلیدی در مجموعه ذرات اولیه می گردد.

(b) سرعت ذره در محدوده [۵, -۵] مقداردهی اولیه می گردد [۱۷].

(c) مجموعه داده ها که شامل پیکسل های راه می باشد با در نظر گرفتن تابع هزینه پیشنهاد شده توسط نویسنده در رابطه ۲ خوشه بندی می شود. این خوشه بندی بر روی مختصات مکانی پیکسل ها صورت می گیرد.

$$f(X_i, Z_i) = \frac{\bar{d}_{\max} + \left(\frac{SD}{K-1}\right)}{d_{\min}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲) پارامتر  $\bar{d}_{\max}$  نشانگر بیشینه جدایی داده ها از مرکز خوشه،  $d_{\min}$  نمایانگر کمینه فاصله بین مراکز خوشه و عبارت  $SD/(K-1)$  نیز معرف میانگین فاصله بین مراکز خوشه می باشد. هدف از تعریف تابع هزینه فوق کمینه کردن پراکندگی درون خوشه ای و بیشینه کردن جدایی بین خوشه ها می باشد. در مجموع هرچه مقدار هزینه بدست آمده برای خوشه بندی کمتر باشد، خوشه بندی مطلوب تر است.

(d) سرعت ذرات و موقعیت آنها به ترتیب با استفاده از روابط ۳ و ۴ بهنگام می گردد:

1 Minimum Spanning Tree (MST)

2 K-medians

$$v_{i,k}(t+1) = wv_{i,k}(t) + c_1r_1(y_{i,k}(t) - x_{i,k}(t)) + c_2r_2(\hat{y}_k(t) - x_{i,k}(t)) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$x_{i,k}(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{if } r \leq \text{sig}(v_{i,k}(t+1)) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

هزینه معرفی شده در رابطه ۲، تا تحقق اولین معیار توقف الگوریتم (TC۱) تکرار می‌گردد.

(f) بمنظور بهبود موقعیت نقاط کلیدی، الگوریتم کامینز تا تحقق دومین معیار توقف الگوریتم (TC۲) تکرار می‌گردد.

پس از اتمام مراحل الگوریتم مجموعه‌ای نقاط کلیدی دارای تعداد و موقعیت بهینه بر روی محور مرکزی راه حاصل می‌گردد. لازم به ذکر است که در ابتدای شروع الگوریتم بیشینه تعداد اولیه مراکز خوشه ( $N_{MRKP}$ ) از بین کل مجموعه پیکسل‌های راه به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد که تعداد آن تا توقف الگوریتم ثابت می‌باشد. ولیکن در جریان اجرای الگوریتم هر بار زیرمجموعه جدیدی از مراکز خوشه که دارای تعداد و موقعیت بهینه می‌باشند، از بین مجموعه مراکز خوشه اولیه توسط الگوریتم تعیین می‌گردند. لذا مجموعه  $N_{MRKP}$  تنها یک تخمین اولیه از نقاط کلیدی بوده که اعضای مجموعه نقاط کلیدی بهینه پس از هر تکرار الگوریتم تغییر می‌یابند. پس از انجام تحقیق بر روی تصاویر مختلف، مقدار  $N_{MRKP}$  حدوداً برابر با یک درصد تعداد پیکسل‌های عارضه راه در تصویر باینری انتخاب می‌گردد. شکل ۳ نمایانگر الگوریتم پیشنهادی برداری‌سازی محور مرکزی راه می‌باشد.

در رابطه ۳ پارامتر  $w$  ضریب اینرسی،  $c_1$  و  $c_2$  ضرایب یادگیری و  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی در بازه  $[0, 1]$  می‌باشند [۲۲]. با توجه به این رابطه می‌توان فهمید که هر ذره به هنگام حرکت سرعت حرکت قبلی خود (ترم اول رابطه ۳)، بهترین موقعیتی که در آن قرار داشته (ترم دوم رابطه ۳) و بهترین موقعیتی که بوسیله کل جمعیت تجربه شده (ترم سوم رابطه ۳) را در نظر می‌گیرد. لذا  $w$  کنترل کننده سرعت‌های قبلی ذره بوده و ضرایب  $c_1$  و  $c_2$  نیز به ترتیب ضریب یادگیری مربوط به تجارب شخصی هر ذره و ضریب یادگیری مربوط به تجارب کل جمعیت می‌باشند. بمنظور تضمین همگرایی الگوریتم پیشنهاد می‌گردد که رابطه ۵ بین ضریب اینرسی و ضرایب یادگیری برقرار باشد. در غیر این صورت ممکن است ذرات رفتاری تناوبی از خود نشان داده و الگوریتم واگرا گردد [۱۷].

$$\frac{c_1 + c_2}{2} - 1 < w \quad \text{رابطه (۵)}$$

تابع  $\text{sign}(\cdot)$  نیز توسط رابطه ۶ تعریف می‌گردد.

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

(e) خوشه بندی توسط الگوریتم انبوه ذرات باینری با هدف یافتن بهترین مجموعه از مراکز خوشه (نقاط کلیدی) بر اساس کمینه کردن تابع

- ۱- تعداد تصادفی از پیکسل های راه را به عنوان نقاط کلیدی اولیه انتخاب کن.
- ۲- جمعیت اولیه ذرات را بساز.
- ۳- برای هر ذره سرعت اولیه ایجاد کن.
- ۴- به ازاء هر ذره در مجموعه جمعیت ذرات :
- ۴-۱- تمامی پیکسلهای راه موجود در مجموعه داده ها را با معیار فاصله اقلیدسی و درنظر گرفتن نقاط کلیدی به عنوان مراکز خوشه، خوشه بندی کن.
- ۴-۲- بهینگی نقاط کلیدی انتخابی را به کمک تابع هزینه ارزیابی کن.
- ۴-۳- بهینه محلی و بهینه کلی ذرات با درنظر گرفتن کمینه مقدار تابع هزینه بهنگام رسانی کن.
- ۵- بهنگام رسانی موقعیت و سرعت ذرات به ازاء کلیه ذرات
- ۶- تکرار مراحل ۴ و ۵ تا تحقق اولین معیار توقف الگوریتم ( $TC_1$ )
- ۷- بهبود موقعیت مکانی نقاط کلیدی منتخب توسط الگوریتم خوشه بندی k-medians
- ۸- انتخاب مجموعه تصادفی جدیدی از نقاط کلیدی اولیه
- ۹- تکرار مراحل ۲ تا ۸ تا تحقق دومین معیار توقف الگوریتم ( $TC_2$ )

شکل ۳: الگوریتم پیشنهادی جهت تعیین نقاط کلیدی راه

می باشد که مجموع وزن های یال های آن کمینه می باشد. شرح بیشتر این الگوریتم را در [۲۱] می توان یافت.

### ۳-۳- ارزیابی نتایج

بمنظور ارزیابی کیفیت نتایج حاصل از استخراج محور مرکزی راه در این تحقیق از روش بافر با درنظر گرفتن اختلاف راستا<sup>۱</sup> [۲۳] بهره گرفته شده است. بر اساس این روش، بافری به عرض تقریبی نصف عرض راه های موجود در تصویر، اطراف راه در نظر گرفته می شود. سپس با مقایسه محور راه استخراج شده با محور راه مرجع (استخراج شده به صورت دستی) در محدوده این بافر و محاسبه چهار پارامتر جذر میانگین مربع خطا<sup>۲</sup>، تمامیت<sup>۳</sup>، صحت<sup>۴</sup> و کیفیت<sup>۵</sup>، نتایج مورد ارزیابی قرار می گیرند.

### ۳-۲-۲- اتصال نقاط کلیدی راه

با درنظر گرفتن گراف وزن دار، متصل و غیر جهت دار  $G = (V, E)$ ، درخت پوشای کمینه یک زیرگراف شامل تمامی نودهای گراف ( $V$ ) می باشد بطوریکه شامل هیچ سیکلی نبوده، بین هر دو نود آن یک مسیر موجود باشد و مجموع وزن یالهای آن کمینه است. در این تحقیق به منظور اتصال نقاط کلیدی بهینه بدست آمده از مرحله تعیین نقاط کلیدی و تشکیل توپولوژی شبکه راه، الگوریتم درخت پوشای کمینه [۲۱] پیاده سازی گردیده است. بر اساس این الگوریتم ابتدا فاصله اقلیدسی بین تمامی نقاط کلیدی (گره های گراف) بدست آمده و به عنوان وزن یالها به الگوریتم معرفی می گردند. سپس با مرتب سازی یالها به ترتیب صعودی و انتخاب یالهای دارای کمینه وزن، بطوریکه حاوی مسیر بسته نباشند، شبکه راه شکل می گیرد. این فرایند تا جایی ادامه می یابد که شبکه راه تشکیل شده از تمام نقاط کلیدی عبور نماید. خروجی این الگوریتم محور مرکزی برداری شده راه

1 Buffer method in consideration of direction difference

2 Root Mean Square Error (RMSE)

3 Completeness

4 Correctness

5 Quality



برای این پارامترها تعیین گردید. جمعیت ذرات نیز برای تمامی تصاویر برابر ۳۰ انتخاب گردید. شایان ذکر است که این تعداد جمعیت برای تصاویری با ابعاد کوچک ضروری نیست و تنها موجب افزایش زمان اجرای محاسبات می‌گردد و می‌توان تعداد جمعیت کمتری را برای اینگونه تصاویر انتخاب نمود. شکل ۴ سه نمونه تصویر چندطیفی ماهواره ایکنوس از منطقه لواسان در نواحی نیمه شهری (۴a و ۴b) و کوهستانی (۴c) را به همراه ابعاد تصویر نشان می‌دهد. این سه تصویر بمنظور ارزیابی قابلیت الگوریتم پیشنهادی در استخراج محور مرکزی راههای با اشکال متفاوت در نواحی مختلف انتخاب شده‌اند.



(a)



(b)



(c)

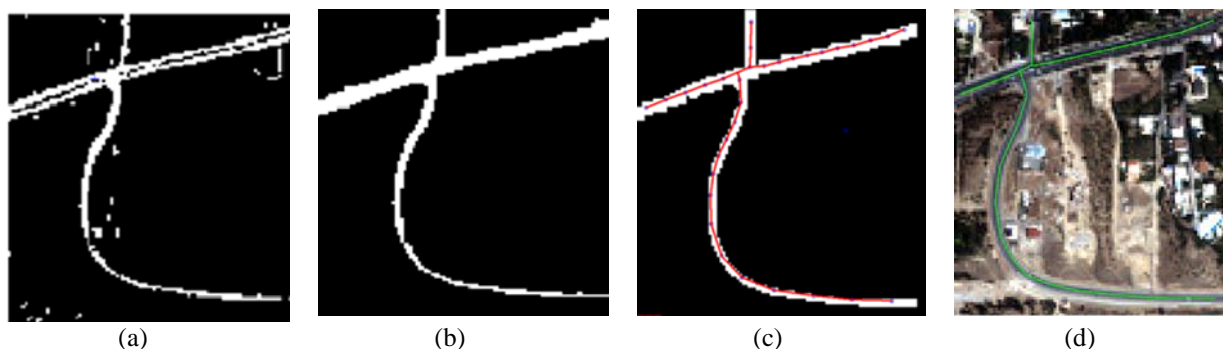
شکل ۴: تصاویر چندطیفی ایکنوس (a) ناحیه ۱ نیمه شهری (۱۱۵×۱۰۱)، (b) ناحیه ۲ نیمه شهری (۱۶۲×۱۶۹) و (c) ناحیه ۳ کوهستانی (۱۴۷×۱۲۲)

نشان می‌دهد. در کلیه تصاویر خروجی، قطعات راه صحیح استخراج شده به رنگ سبز، قطعات راه اشتباه استخراج شده به رنگ قرمز و اتصالات جا افتاده به رنگ زرد نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد آرایش نقاط کلیدی بدست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی بخوبی بیانگر موفقیت سیستم پیشنهادی در برداری‌سازی راههای متقاطع موجود در تصویر می‌باشد.

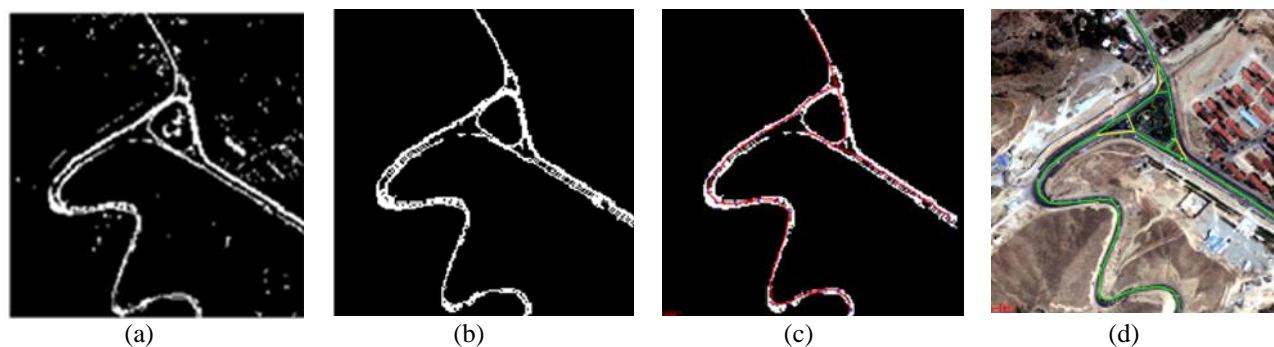
#### ۴- پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی و بررسی نتایج

الگوریتم پیشنهادی استخراج محور مرکزی راه بر روی چندین تصویر بزرگ مقیاس در نواحی شهری، نیمه شهری و کوهستانی پیاده‌سازی شد و نتایج مورد ارزیابی کیفی و کمی قرار گرفتند. پارامترهای معرفی شده در الگوریتم پیشنهادی تعیین نقاط کلیدی برای تمامی تصاویر بصورت  $TC_1 = 80$ ,  $p_{ini} = 0.7$ ,  $c_1 = c_2 = 1.49$ ,  $w = 3$  و  $TC_2$  انتخاب شده است. انتخاب این مقادیر برای پارامترهای  $c_1$ ,  $w$  و  $c_2$  همگرای الگوریتم را تضمین می‌نماید [۱۷]. مقادیر پارامترهای  $TC_1$ ,  $p_{ini}$  و  $TC_2$  نیز به صورت تجربی و پس از تست مقادیر مختلف

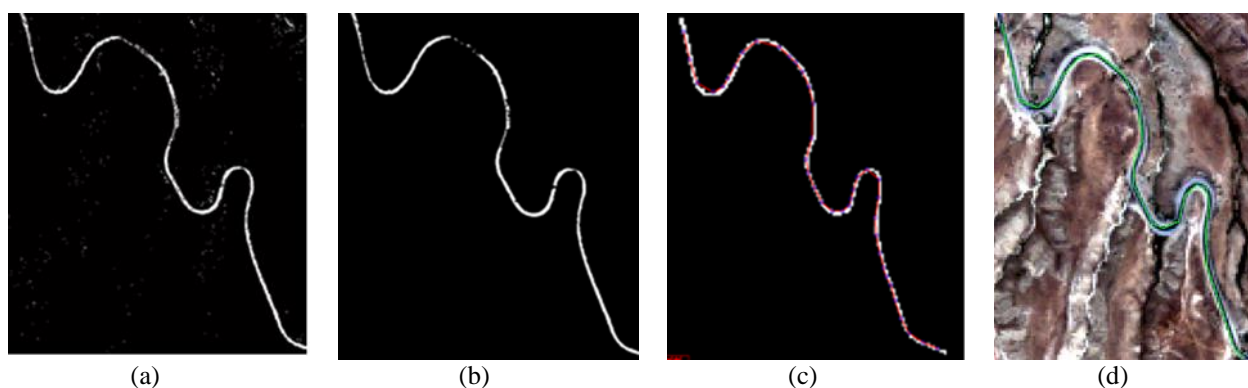
شکل ۵ نشان دهنده مراحل استخراج راه از تصویر ناحیه ۱ شامل خوشه‌بندی تصویر به روش سی مینز فازی و جداسازی کلاس راه (شکل ۵a) و پس پردازش آن توسط اپراتورهای مورفولوژیکی بمنظور حذف پیکسل‌های غیر راه و پر کردن گپ‌های تصویر (شکل ۵b)، تعیین تعداد و موقعیت بهینه نقاط کلیدی توسط الگوریتم پیشنهادی و اتصال آنها با استفاده از درخت پوشای کمینه (شکل ۵c) می‌باشد. شکل ۵d نیز محور مرکزی راه استخراج شده بر روی تصویر اولیه را



شکل ۵: فرآیند استخراج محور مرکزی راه بر روی تصویر ناحیه ۱ (a) کشف راه با الگوریتم FCM، (b) پردازش مورفولوژیکی تصویر (c) تعیین نقاط کلیدی بهینه توسط الگوریتم پیشنهادی و اتصال آنها توسط الگوریتم درخت پوشای کمینه و (d) نمایش نتایج استخراج بر روی تصویر اصلی.



شکل ۶: فرآیند استخراج محور مرکزی راه بر روی تصویر ناحیه ۲ (a) کشف راه با الگوریتم FCM، (b) پردازش مورفولوژیکی تصویر (c) تعیین نقاط کلیدی بهینه توسط الگوریتم پیشنهادی و اتصال آنها توسط الگوریتم درخت پوشای کمینه و (d) نمایش نتایج استخراج بر روی تصویر اصلی.



شکل ۷: فرآیند استخراج محور مرکزی راه بر روی تصویر ناحیه ۳ (a) کشف راه با الگوریتم FCM، (b) پردازش مورفولوژیکی تصویر (c) تعیین نقاط کلیدی بهینه توسط الگوریتم پیشنهادی و اتصال آنها توسط الگوریتم درخت پوشای کمینه و (d) نمایش نتایج استخراج بر روی تصویر اصلی.

راه مارپیچ در منطقه کوهستان نشان داده شده است. همچنان که مشاهده می‌گردد، الگوریتم پیشنهادی در برداری سازی محور مرکزی راه در محل میدان چندان

در شکل‌های ۶ و ۷ مراحل استخراج راه به ترتیب بر روی تصاویر نواحی ۲ و ۳ شامل راههایی با اشکال گوناگون بصورت میدان در ناحیه نیمه شهری و

وسیعتر در نواحی شهری و غیر شهری نیز پیاده سازی شده است. شکل (۸) نتیجه حاصل از پیاده سازی سیستم پیشنهادی را بر روی تصاویر پن شارپ شده ایکنوس شهر هوبارت (کشور استرالیا) در ناحیه متراکم شهری (به ابعاد  $750 \times 650$ ) نمایش می دهد. در شکل ۸b قطعات راه صحیح استخراج شده به رنگ سبز، قطعات راه اشتباه استخراج شده به رنگ قرمز و اتصالات جا افتاده به رنگ زرد نشان داده شده است. نتایج استخراج مبین دستیابی به نتایج رضایت بخش در روند برداری سازی شبکه راه می باشد.

موفق عمل ننموده است. علت این امر عدم توانایی الگوریتم درخت پوشای کمینه در ایجاد لوپهای بسته (سیکل ها) می باشد که حاصل آن وجود قطعات راه جا افتاده در محل میدان (در شکل ۶d) می باشد. این قطعات با خطوط زرد رنگ بر روی شکل نمایش داده شده است. در عین حال با توجه به شکل ۷d، الگوریتم پیشنهادی در استخراج محور مرکزی راه مارپیچ در ناحیه کوهستانی بخوبی عمل نموده است. به منظور سنجش قابلیت اعتماد به سیستم استخراج راه پیشنهادی، این سیستم بر روی دو نمونه تصویر با ابعاد بزرگتر و شامل شبکه راه



(a)



(b)

شکل ۸: نتایج استخراج محور مرکزی راه در منطقه شهری هوبارت (a) تصویر اصلی به همراه شبکه راه مرجع (b) نتایج برداری سازی توسط الگوریتم پیشنهادی بر روی تصویر اصلی

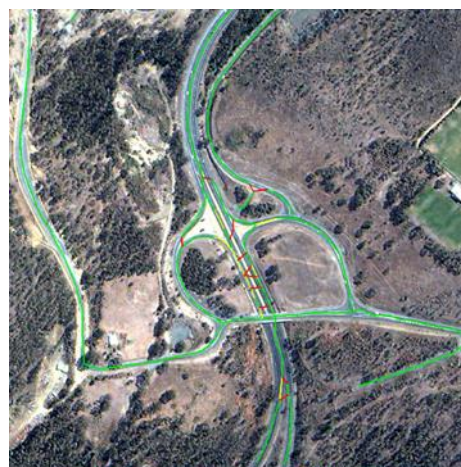
درخت پوشای کمینه در تشکیل اتصالاتهای صحیح در صورت نزدیک بودن نقاط کلیدی به یکدیگر می باشد. در سایر قسمتهای شبکه راه موفقیت الگوریتم محرز می باشد.

شکل ۹b نیز نتایج حاصل از استخراج راه را بر روی تصویر هوبارت در ناحیه غیر شهری (به ابعاد  $700 \times 700$ ) نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، الگوریتم پیشنهادی در استخراج راههای موازی نزدیک به هم (در مرکز تصویر) نتایج قابل قبولی ارائه نمی دهد (اتصالات قرمز رنگ) که علت آن ضعف الگوریتم





(a)



(b)

شکل ۹: نتایج استخراج محور مرکزی راه در منطقه غیرشهری هوبارت (a) تصویر اصلی به همراه شبکه راه مرجع (b) نتایج برداری سازی توسط الگوریتم پیشنهادی بر روی تصویر اصلی

همچنین دارای انحنا دارای نتایج قابل قبول تری می باشد. ولی در محل تقاطع راهها، راههای موازی نزدیک به یکدیگر و میدانها و لوپهای بسته قابلیت اعتماد به سیستم پیشنهادی اندکی کاهش می یابد. ولی به طور کلی الگوریتم استخراج راه پیشنهادی دارای نتایج رضایتبخش می باشد.

نتایج ارزیابی دقت در جدول ۱ حاکی از این است که به طور کلی الگوریتم پیشنهادی به خوبی قادر است محور مرکزی انواع راه با اشکال مختلف شامل راههای مستقیم، تقاطعها، راههای دارای انحنا و میدان در مناطق مختلف شهری و غیر شهری را با دقتهای بالا استخراج نماید. تعیین بهینه نقاط کلیدی از لحاظ تعداد و موقعیت آنها در مورد راههای مستقیم و

جدول ۱: نتایج ارزیابی دقت الگوریتم پیشنهادی استخراج راه

پارامترهای ارزیابی دقت تصاویر	جذر میانگین مربع خطا	تمامیت	صحت	کیفیت
لواسان ناحیه ۱	۰/۳۵	٪۹۸	۱۰۰٪	۰/۹۸
لواسان ناحیه ۲	۰/۷۴	٪۹۰	٪۹۶	۰/۸۷
لواسان ناحیه ۳	۰/۴	٪۹۹	۹۹٪	۰/۹۸
هوبارت شهری	۱/۰۴	٪۸۹	٪۹۴	۰/۸۶
هوبارت غیرشهری	۱/۳	٪۹۴	٪۹۳	۰/۸۸

دست رفتن بخشی از اطلاعات راه در مرحله کشف راه می گردد، وجود نقاط کلیدی در نواحی مجاور این گپها و اتصال آنها به یکدیگر مانع از کاهش تمامیت شبکه شده است.

از جمله نقاط قوت روش پیشنهادی، قابلیت برداری سازی محور مرکزی راه با وجود موانعی مانند اتومبیل، درختان و سایه های حاصل از آنها بر روی راه می باشد. اگرچه وجود این موانع موجب از

بهینه و یا بیشتر از آن باشد، موجب کاهش صحت استخراج محور مرکزی راه می‌گردد. از سوی دیگر به دلیل محدودیت الگوریتم درخت پوشای کمینه در ایجاد اتصال کامل در محل میدانها و یا لوپها، میزان تمامیت شبکه راه استخراج شده در این تحقیق در مکان عوارض مذکور کاهش می‌یابد. همچنین این الگوریتم قادر به برداری‌سازی صحیح راههای موازی نزدیک به یکدیگر نمی‌باشد. علت این امر نزدیکی خوشه‌های مختلف به یکدیگر در محل راههای موازی نزدیک و سردرگمی الگوریتم اتصال در تشخیص نقاط کلیدی مناسب برای اتصال می‌باشد.

#### ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق روش اتوماتیک خوشه‌بندی پویا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات بمنظور خوشه‌بندی پیکسل‌های راه و استخراج محور مرکزی راه پیشنهاد شده است. این ایده برای نخستین بار در این تحقیق و با انجام خوشه‌بندی پیکسل‌های راه در فضای مکانی و همچنین طراحی تابع هزینه‌ای جدید بمنظور دستیابی به خوشه‌هایی بهینه جهت اتصال مراکز آنها انجام پذیرفت. نتایج موید موفقیت الگوریتم پیشنهادی در برداری‌سازی راههای با اشکال متفاوت در نواحی مختلف شهری، نیمه شهری و کوهستانی با جذر میانگین مربعی خطا کمتر از  $1/3$  و کیفیت برداری سازی بیش از  $0/86$  می‌باشد. رفع عیوب الگوریتم پیشنهادی در برداری‌سازی راههای موازی نزدیک به یکدیگر و همچنین در استخراج لوپهای بسته در شبکه راه در دستور کار تحقیقات آتی قرار دارد.

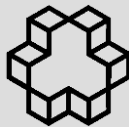
علاوه بر این الگوریتم پیشنهادی قادر است به‌صورت اتوماتیک و بدون نیاز به معلومات اولیه‌ای مانند تعداد اولیه مراکز خوشه‌ها و مستقل از موقعیت اولیه نقاط کلیدی فضای وسیعی را جستجو کرده و درستی راه حل‌های مختلفی را سنجش نموده و در نهایت به پاسخ‌های بهینه در تعیین تعداد و توزیع نقاط کلیدی دست یابد. همانطور که پیش از این ذکر گردید این سنجش توسط تابع هزینه‌ای که برای نخستین بار در این تحقیق معرفی شده انجام گرفته است. تابع هزینه طراحی شده در فرآیند خوشه‌بندی پیکسل‌های راه قادر است بدون استفاده از مشخصات هندسی، طیفی و یا توپولوژیکی راه خوشه‌های متراکم تری تولید نماید که دارای بیشترین فاصله از یکدیگرند. لذا روش پیشنهادی تعیین نقاط کلیدی راه در مقایسه با روش ارائه شده توسط عامری و همکاران [۲۱]، که مستلزم معرفی شبکه‌ای از نقاط با فواصل منظم به‌عنوان مراکز خوشه اولیه به الگوریتم خوشه‌بندی سی مینز فازی می‌باشد، دارای برتری می‌باشد. زیرا در [۲۱] کاربر می‌بایستی شبکه‌ای منظم از مراکز خوشه اولیه را به الگوریتم معرفی نماید که این نقاط در جریان انجام خوشه‌بندی تغییر مکان داده و بخشی از آن بر روی محور مرکزی راه قرار گرفته که نقاط کلیدی راه را تشکیل می‌دهند و مابقی آنها از فرآیند اجرای الگوریتم حذف می‌گردند که به آنها "نقاط مرده" اطلاق می‌گردد. لذا روش خوشه‌بندی فوق‌الذکر برخلاف روش پیشنهادی در این تحقیق یک روش نیمه اتوماتیک بوده که تعداد مراکز خوشه اولیه آن توسط کاربر با سعی و خطا تعیین می‌گردد. چنانچه تعداد این نقاط کمتر از حد

#### مراجع

- [1] A., Grote, "Automatic road network extraction in suburban areas from aerial images", PhD Dissertation, Hannover Univ., 2011.
- [2] J. Amini, M.R. Saradjian, J.A.R. Blais, C. Lucas, and A. Azizi, "Automatic road-side

- extraction from large scale image maps”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 4, 95–107, 2002.
- [3] B. Wessel, and C. Wiedemann, “Analysis of automatic road extraction results from airborne SAR imagery”, *ISPRS Archives Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich*, 17.-19, 2003.
- [4] A. Mohammadzadeh, A. Tavakoli, and M.J. ValadanZoej, “Road extraction based on fuzzy logic and mathematical morphology from pan-sharpened Ikonos images”, *Photogrammetric Record*, 21(113): 44-60, 2006.
- [5] Q. Zhang, and I. Couloigner, “Benefit of the angular texture signature for the separation of parking lots and roads on high resolution multi-spectral imagery”, *Pattern Recognition Letters*, 27:937–946, 2006.
- [6] M. Mokhtarzade, and M. J. ValadanZoej, “Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks”, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9, 32–40, 2007.
- [7] 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*, (95): 93–108, 2014.
- [8] A. Grote, C. Heipke, and F. Rottensteiner, “Road network extraction in suburban areas”, *The Photogrammetric Record* 27(137): 8–28, 2012.
- [9] D. Chaudhuri, N. K. Kushwaha, and A. Samal, “2012. Semi-automated road detection from high resolution satellite images by directional morphological enhancement and segmentation techniques”, *IEEE journal of selected topics in applied earth observation and remote sensing*, Vol. 5, 2012.
- [10] A.A. Matkan, M. Hajeb, and S. Sadeghian, “Road Extraction from Lidar Data Using Support Vector Machine Classification”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 80(5):409-422, 2014.
- [11] N. Tanaka, and T. Kamimura, “Vectorization method based on energy minimization principle”, in *Vision Geometry Proceedings of SPIE*, A. M. Robert and Y.W. Angela (Eds.) Vol. 1832, 1993.
- [12] P. Doucette, P. Agouris, A. Stefanidis, and M. Musavi, “Self-organised clustering for road extraction in classified imagery”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (55), 347-358, 2001.
- [13] S. Ferchichi, and S. Wang, “Optimization of cluster coverage for road center-line extraction in high resolution satellite images”, *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 201–204, 2005.
- [14] J.B. Mena, “Vectorización automática de una imagen binaria mediante K-means degeneración de la triangulación de Delaunay”, *Revista de la Asociación Española de Teledetección* 17, 21-29, 2002.
- [15] J.B. Mena, “Automatic vectorization of segmented road networks by geometrical and topological analysis of high resolution binary images”, *Knowledge based systems*, 19 (8), 704-18, 2006.
- [16] S. Clode, F. Rottensteiner, P. Kootsookos, and E. Zelniker, “Detection and vectorization of roads from Lidar data”. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73(5), 517-536, 2007.
- [17] Omran, M.G., 2005. Particle swarm optimization methods for pattern recognition and image processing. PhD Thesis, University of Pretoria.
- [18] R. Karthi, S. Arumugam, and K. Rameshkumar, “Comparative evaluation of Particle Swarm Optimization Algorithms for Data Clustering using real world data sets”, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.8 No.1, 2008.
- [19] S. Olariu and A.Y. Zomaya, "Handbook of

- Bioinspired Algorithms and Applications", Taylor & FrancisGroup, LLC Press, 2006.
- [20] Y. Shi and R. C. Eberhart, "Fuzzy Adaptive Particle Swarm Optimization", in Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, pp. 101-106, 2001.
- [21] F. Ameri, M.J. Valadan Zoej, M. Mokhtarzade, and A.M. Mobaraki, "Extraction of road with different shapes from satellite images with different spatial resolutions", IJRSGIS, Vol.3, No.4, winter 2012.
- [22] Y. Shi, R. Eberhart, "Parameter Selection in Particle Swarm Optimization", Evolutionary Programming VII: Proceedings of EP 98, 591-600, 1998.
- [23] C. Wiedemann, "External evaluation of road networks", ISPRS Archives, Vol. XXXIV, Part 3/W8, Munich, 17.-19. Sept, 2003.



## Automatic optimization of road network clustering based on PSO for road centerline extraction

Fateme Ameri<sup>\*1</sup>, Mohammad Javad Valadan Zoej<sup>2</sup>, Mehdi Mokhtarzadeh<sup>3</sup>

1-PhD student of remote sensing in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, College of Geomatics, K.N. Toosi University of technology

2- Associated professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, College of Geomatics, K.N. Toosi University of technology

3- Assistant professor in Department of Photogrammetry and Remote Sensing, College of Geomatics, K.N. Toosi University of technology

### Abstract

This paper introduces a novel road extraction algorithm in two stages of road detection and road vectorization. In the road detection stage, road class image is obtained using fuzzy C-means clustering and some post processing operations. In the vectorization stage road key points on the road centerline is obtained by an innovative approach of dynamic road pixels clustering using particle swarm optimization. The proposed algorithm is able to automatically optimize number and position of road key points without considering the prior information about the initial number and position of cluster centers by designing a new cost function. The optimized road key points were connected using weighted graph theory. Different high resolution images of Ikonos in urban, non-urban, and mountainous areas were tested and several quality measures including RMSE, correctness, completeness, and quality were calculated. Extracting different road shapes with RMSE less than 1.3 and quality greater than 0.86 in different areas proves the efficiency of the algorithm in yielding complete road networks.

**Key words:** Feature Extraction, Particle swarm optimization, Digital Image, Road Vectorization, Clustering.