

بررسی تأثیر روش قطعه‌بندی بر استخراج شبکه راه‌های مناطق شهری در تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا

مهدی معبودی^{۱*}، دکتر جلال امینی^۲، مهدی ساعتی^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی -

دانشگاه تهران

mmaboudi@ut.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

jamini@ut.ac.ir

^۳ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد اردستان

msaati@gmail.com

(تاریخ دریافت آذر ۱۳۹۳، تاریخ تصویب آذر ۱۳۹۴)

چکیده

استخراج راه از تصاویر سنجش از دور، یک روش سریع و ارزان برای بدست آوردن اطلاعات حمل‌ونقل و بروزرسانی سیستم اطلاعات مکانی است. تغییرات مداوم و سریع محیط‌های شهری، نیاز به بروزرسانی منظم و یا بازبینی لایه‌های شبکه راه در سیستم‌های اطلاعات مکانی را افزایش داده است. در این تحقیق علاوه بر پیاده‌سازی یک چارچوب کلی استخراج راه مبتنی بر شیء، تأثیر کیفیت روش قطعه‌بندی بر نتیجه نهایی سیستم استخراج راهها مورد بررسی قرار گرفته است. برای ارزیابی نتایج از داده‌های واقعی سنجنده Worldview 2 مربوط به منطقه شوشتر در استان خوزستان استفاده گردیده است. نتایج بدست آمده کیفیت مناسب‌تر قطعه‌بندی به روش مالتی رزولوشن را گزارش نموده است. در ادامه با انجام عملیات هرس کردن نتایج بدست آمده بیش از ۲۰٪ بهبود یافته است. نتایج نهایی پیاده‌سازی قطعه‌بندی مالتی رزولوشن و هرس کردن بر روی داده مورد استفاده، مقدار پارامتر صحت ۸۸٪ و پارامتر دقت ۸۵٪ را نشان داده است. همچنین انتخاب پارامترهای روش قطعه‌بندی مالتی رزولوشن تحلیل شده است و تأثیر انتخاب صحیح این پارامترها بر نتیجه بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، قطعه‌بندی مبتنی بر شیء، استخراج راه، طبقه‌بندی قاعده‌مبنای برداری‌سازی، ویژگیهای راه

۱- مقدمه

راه‌ها نقش ارزنده‌ای در پیشرفت تمدن بشری ایفا نموده‌اند و کماکان ستون فقرات و زیربنای اصلی حمل و نقل هستند [۱] [۲]. نیاز به اطلاعات به روز، دقیق و قابل اعتماد شبکه راه‌ها، به عنوان بخش بسیار مهمی از اغلب سیستم‌های اطلاعات مکانی به سرعت در حال افزایش است. این داده‌ها در کاربردهای بسیاری از آماده‌سازی زیرساخت‌های توپوگرافیکی گرفته تا طراحی حمل و نقل، مدیریت ترافیک و ناوگان حمل و نقل، سیستم‌های ناوبری اتومبیل، سیستم‌های مکان مبنا، تورسم، آنالیز و شبیه‌سازی‌های جریان ترافیک، تخمین میزان آلودگی هوا و نویز، نگهداری خیابانها و مدیریت و امداد رسانی پس از سوانح طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳] [۴].

اگرچه استخراج دستی محور مرکزی راه‌ها توسط کاربر انسانی، معمولاً راه حلی دقیق و قابل اعتماد است ولیکن این روش به قدری وقت‌گیر است که به هیچ عنوان با درخواستهای رو به رشد برای بروزرسانی شبکه راه‌ها همخوانی ندارد.

اغلب روش‌های استخراج راه از یک مدل مبتنی بر خط یا یک مدل مبتنی بر لبه استفاده می‌کنند [۵]. در تصاویر ماهواره‌های با قدرت تفکیک کمتر از ماهواره‌های امروزی و بخصوص در مناطق غیرشهری، راه‌ها بعنوان عوارض خطی در نظر گرفته می‌شدند ولی در حال حاضر با در دسترس قرارگرفتن داده‌های با قدرت تفکیک کمتر از ۱ متر، عملاً راه‌ها بعنوان ناحیه در تصاویر مناطق شهری ثبت می‌گردند و روش‌های مبتنی بر ناحیه در سالهای اخیر بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶].

روش‌های مبتنی بر ناحیه معمولاً از دو بخش کلی تشکیل می‌شوند که عبارتند از تشخیص راه و استخراج محور مرکزی راه [۷] [۸] [۹] که معمولاً قطع‌بندی، بخش مشترک اغلب روش‌های تشخیص راه مبتنی بر ناحیه در قسمت تشخیص راه می‌باشد.

اگر چه تحقیقات زیادی در زمینه قطع‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج شبکه راه‌ها انجام شده است [۸]، با این وجود با توجه به اینکه کماکان نقطه ضعف اکثر روش‌های استخراج راه، بخش قطع‌بندی می‌باشد [۱۰] و از آنجا که نتایج این بخش، دقت و کیفیت نتایج نهایی سیستم استخراج راه را کاملاً تحت تأثیر قرار می‌دهد،

تمرکز اصلی این تحقیق بر روی بررسی تأثیر قطع‌بندی بر استخراج شبکه راه‌های قرار گرفته است.

Bae و همکاران در سال ۲۰۱۵، از روش نقشه نرمال-شده اندازه مشتق دوم^۱ جهت قطع‌بندی تصاویر سنجنده‌های IKONOS، QuickBird و GeoEye استفاده کرده‌اند که قابلیت نسبتاً مناسب روش ارایه شده در مقایسه با نتایج چندین روش مطرح استخراج راه گزارش شده است [۳].

در سال ۲۰۱۴ میلادی، Miao و همکاران یک روش نیمه-اتوماتیک استخراج راه پیشنهاد نموده‌اند که در بخش قطع‌بندی از روش ژئودزیک استفاده کرده‌اند. در این تحقیق که بر روی تصاویر سنجنده QuickBird پیاده‌سازی شده است، با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های KDE^۲ و Mean Shift نتایج سیستم ارائه شده بهبود چشمگیری یافته است [۱۱].

روشی که توسط Poullis در قطع‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت استخراج راه استفاده شده است از مفهوم Tensor-Voting استفاده نموده است. مزیت عمده این روش، استفاده از اطلاعات زاویه‌ای عوارض منحنی شکل است که منجر به بهبود تشخیص مرز نواحی راه می‌شود [۱۰].

در سال ۲۰۱۳ میلادی، Sun و همکاران وی، از روش flood-filling در قطع‌بندی تصاویر سنجنده worldview2 جهت استخراج راه استفاده نموده است. در این تحقیق از دو مشخصه SAM^۳ و ED^۴ استفاده شده است [۱۲].

در تحقیق دیگری در سال ۲۰۱۲ میلادی، Grote و همکاران از روش Normalized-cut graphs برای قطع‌بندی تصویر سطح راه به منظور استخراج شبکه راه‌ها استفاده کرده‌اند [۵].

Yuan و همکاران در سال ۲۰۱۱ میلادی، از روش قطع‌بندی مبتنی بر LEGION^۵ برای استخراج اتوماتیک شبکه راه‌ها استفاده نموده‌اند [۱۳].

Amini و همکاران در سال ۲۰۰۲ از روش Split & Merge برای قطع‌بندی تصاویر بزرگ مقیاس به منظور استخراج شبکه راه‌ها استفاده کرده‌اند [۱۴].

بررسی روش‌های ارائه‌شده بیانگر این نکته است که با در دسترس قرارگرفتن تصاویر با قدرت تفکیک بالا،

^۱ Normalized second derivative magnitude map

^۲ Kernel density estimation

^۳ Spectral angle mapper

^۴ spectral Euclidean distance

^۵ Locally Excitatory Globally Inhibitory Oscillator Networks

روشهای مبتنی بر ناحیه و تکنیکهای شیء‌گرا مورد توجه محققین قرار گرفته است.

تنوع روشهای قطعه‌بندی به منظور استخراج شبکه راهها، بیانگر اهمیت موضوع و نیاز به انجام تحقیقات بیشتر در این خصوص می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی شده است اثر کیفیت روش قطعه‌بندی بر روی نتایج نهایی سیستم استخراج اتوماتیک راه در مناطق شهری، مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد.

۲- روش پیشنهادی

کلیات روش مورد استفاده جهت استخراج اتوماتیک راه در مناطق شهری در این بخش از تحقیق بیان گردیده است. همانطور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، این روش دارای ۸ مرحله است. در ابتدا تصویر ماهواره‌ای پیش پردازش می‌گردد. در مرحله بعد، پس از قطعه‌بندی تصویر، یک طبقه‌بندی مبتنی بر شیء انجام شده است که خروجی آن که یک تصویر باینری از مناطق متعلق به کلاس راه و غیرراه است، وارد روند استخراج اسکلت راه گردد. پس از برداری‌سازی اسکلت استخراج‌شده، قطعات بسیار کوچک حذف می‌شوند و در نهایت کیفیت راههای استخراج‌شده گزارش گردیده است.



شکل ۱- روندنمای روش مورد استفاده در تحقیق

۲-۱- قطعه‌بندی

هدف اصلی قطعه‌بندی، خرد کردن تصویر به قطعات کوچک است. بنحویکه اولاً تا حد امکان قطعات بزرگ

باشند و ثانیاً در حالت ایده‌ال تمام پیکسلهای واقع در یک قطعه، به یک کلاس (کلاس راه) تعلق خواهند داشت و یا تمام آنها به کلاس عوارض غیرراه تعلق خواهند داشت و تا حد امکان هیچگونه اختلاطی در این بخش ایجاد نگردد البته در عمل بنا به دلایل مختلف، ایجاد تعادل کامل بین این دو شرط در مناطق گسترده، به صورت کامل امکان پذیر نمی‌باشد [۵] و مجبوریم برای رسیدن به قطعات همگون تصویر را به تقسیم بیش از حد کوچک تقسیم کنیم^۱ و یا با تقسیم تصویر به قطعات بزرگتر، درصدی خطا در همگونی پیکسلهای یک قطعه را بپذیریم^۲.

در دهه‌های گذشته با توجه به اینکه قدرت تفکیک اکثریت قریب به اتفاق سنجنده‌های سنجش از دور، کمتر و در بهترین حالتها برابر با ابعاد عوارض موردنظر بوده است، روشهای مبتنی بر پیکسل مورد استفاده قرار می‌گرفتند. ولی در سالیان اخیر با بهبود قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای، تحقیقات به سمتی هدایت شده‌اند که منتهی به استخراج عوارضی شوند که خود از چند پیکسل تشکیل شده‌اند. پرکاربردترین روش برای ساخت اشیاء در تصویر، قطعه‌بندی تصویر می‌باشد که سابقه آن به دهه ۱۹۷۰ میلادی باز می‌گردد [۱۵].

در این تحقیق تاثیر روشهای مختلف قطعه‌بندی در کیفیت استخراج راه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. روشهای بررسی شده در این تحقیق عبارتند از:

۱- قطعه‌بندی شطرنجی

۲- قطعه‌بندی Quadtree

۳- قطعه‌بندی مالتی رزولوشن

در قطعه‌بندی به روش شطرنجی، تصویر با توجه به مقادیر درجه خاکستری باندها، به قطعات مربعی شکل همگون تقسیم‌بندی می‌گردد.

در قطعه‌بندی Quadtree یک تصویر به اشیائی (مربع‌هایی) تقسیم خواهد شد که همزمان دو شرط را تامین نمایند:

۱- هر شیء تا حد امکان بزرگترین اندازه را داشته باشد.

۲- همگونی درجات خاکستری هر شیء از حد آستانه مشخصی کمتر نشود.

قطعه‌بندی مالتی رزولوشن، در هر عارضه بصورت محلی تفاوت^۳ متوسط را در یک قدرت تفکیک (مقیاس) خاص کمینه و همگونی آنها را بیشینه می‌کند.

^۱ Over-segmentation

^۲ Under-segmentation

^۳ heterogeneity

مراحل قطع‌بندی به روش مالتی‌رزووشن بصورت ذیل می‌باشد [۱۶]:

- ۱- قطع‌بندی از یک پیکسل آغاز می‌شود و تا زمانی که حد‌آستانه بالایی همگونی بصورت محلی شکسته نشود، متناوباً آنها را به یکدیگر متصل می‌نماید.
- ۲- در قدم بعدی، هر پیکسل (بذر) مناسب‌ترین همسایه را به منظور اتصال احتمالی جستجو می‌کند.
- ۳- اگر این علاقه به اتصال دوطرفه نباشد، پیکسل جدید خود بعنوان یک بذر جدید در نظر گرفته خواهد شد و بهترین همسایه خود را جستجو می‌کند.
- ۴- اگر این علاقه به اتصال دوطرفه باشد، پیکسل‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند.
- ۵- هر عارضه در هر تکرار، یکبار آنالیز می‌شود.
- ۶- تا زمان رسیدن به ثبات (عدم اتصال نواحی عوارض به یکدیگر) تکرار الگوریتم ادامه خواهد یافت.

۲-۲- طبقه‌بندی مبتنی بر شیء

با در نظر گرفتن این نکته که یک ویژگی به تنهایی نمی‌تواند راه را از سایر عوارض جدا سازد، بایستی از ترکیب ویژگی‌های متعددی برای جداسازی کلاس راه از سایر کلاسها استفاده نمود. ویژگیهای مورد استفاده در این تحقیق را می‌توان بصورت ذیل تقسیم‌بندی نمود:

۲-۲-۱- ویژگی‌های هندسی (ساختاری)

- نسبت طول به عرض (LFI):

نسبت طول به عرض راه از یک حداقلی کمتر نخواهد شد. این خاصیت را [۱۷] تحت عنوان شاخص عارضه خطی (LFI) بصورت رابطه (۱) تعریف نموده است:

$$LFI = \frac{L}{W} = \frac{L^2}{n_p} \quad (1)$$

در رابطه (۱) n_p تعداد پیکسل‌های موجود در آن بخش از راه است. L و W به ترتیب طول و عرض یک مستطیل هستند. اگر L_{MBR} و W_{MBR} به ترتیب طول و عرض کوچکترین مستطیل محیطی^۲ قطعه راه باشند و D قطر این مستطیل باشد، قطعه راه بصورت مستطیل با طول $L=D$ و

عرض $W = \frac{n_p}{L}$ تبدیل می‌گردد. آنگاه رابطه (۱) بعنوان شاخص کشیدگی ناحیه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

- Density: دانسیته میزان توزیع شیء در فضای پیکسل را مشخص می‌کند. هر چه شکل کشیده‌تر باشد، میزان این کمیت کمتر خواهد بود. برای محاسبه این کمیت از رابطه (۲) استفاده شده است:

$$Density = \frac{\sqrt{\# P_v}}{1 + \sqrt{VarX + VarY}} \quad (2)$$

در رابطه فوق، P_v تعداد پیکسل‌های شیء مورد نظر است.

۲-۲-۲- ویژگی‌های طیفی

- بیشینه تفاوتها $max.diff$: اگر یک تصویر از K_B لایه تشکیل شده باشد، ویژگی بیشینه تفاوتها بصورت رابطه (۳) تعریف می‌گردد:

$$max.diff = \frac{\max_{i,j \in K_B} |\bar{C}_i(v) - \bar{C}_j(v)|}{C(v)} \quad (3)$$

در رابطه فوق، i و j لایه‌های تصویر هستند و $\bar{C}(v)$ برایتنس شیء v و $\bar{C}_i(v)$ و $\bar{C}_j(v)$ به ترتیب متوسط روشنایی لایه i و j از عارضه v می‌باشد.

- شاخص NDVI:

مشخصه NDVI از رابطه (۴) محاسبه می‌گردد:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (4)$$

در رابطه فوق، R و NIR به ترتیب باندهای قرمز و مادون قرمز تصویر هستند.

- Hue: یکی از مولفه‌های فضای سیلندری IHS می‌باشد که بصورت رابطه (۵) محاسبه می‌گردد:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{undefined} & \text{if } Max = Min \\ 60^\circ \times \frac{G - B}{Max - Min} & \text{if } Max = R \\ 60^\circ \times \frac{B - R}{Max - Min} & \text{if } Max = G \\ 60^\circ \times \frac{R - G}{Max - Min} & \text{if } Max = B \end{array} \right. \quad (5)$$

^۱ Linear Feature Index

^۲ MBR (Minimum Bounding Rectangle)

۲-۲-۳- ویژگی‌های بافت

- انحراف معیار: انحراف معیار پیکسل‌های یک شیء در هر یک از باندهای تصویر از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$\sqrt{\frac{1}{\# P_V} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_V} c_k^2(x,y,z,t) - \frac{1}{\# P_V} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_V} c_k(x,y,z,t) \right)^2 \right)} \quad (6)$$

با توجه به ویژگی‌های استخراج شده فوق (n ویژگی)، یک فضای n بعدی بوجود خواهد آمد که با طبقه‌بندی قاعده‌مبنای عوارض موجود در دو کلاس کلی راه و عوارض غیرراه، یک تصویر باینری حاصل می‌گردد که بصورت کلی نواحی راه را مشخص می‌نماید.

۲-۳- استخراج اسکلت^۲ کلاس راه

در پردازش تصاویر و بینایی کامپیوتری، اسکلت عوارض به عنوان یکی از پرکاربردترین توصیفگرها توجه ویژه‌ای را به خود جلب نموده است. روشهای متعددی برای استخراج خط مرکزی راه بعنوان اسکلت نواحی راه ارائه شده است [۶]. در تحقیق پیش‌رو برای استخراج اسکلت عوارض از تبدیل (تابع) فاصله^۳ استفاده شده است. تبدیل فاصله هر پیکسل از تصویر را به کمترین فاصله آن از یک ناحیه موردنظر (مثلاً مرز یک عارضه) تصویر می‌نماید. این تبدیل یک اپراتور پرکاربرد با قابلیت‌های فراوان در بینایی و گرافیک کامپیوتری، آنالیز شکل و تشخیص الگو و هندسه محاسباتی می‌باشد [۱۸]. در شکل ۲ یک نمونه تصویر باینری و تابع فاصله مربوط به آن نمایش داده شده است.

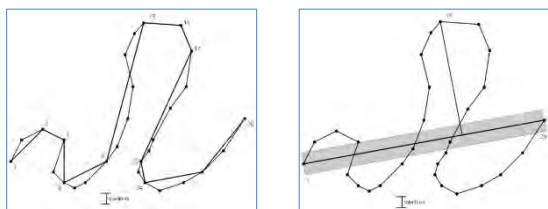


الف) تصویر ورودی
ب) تصویر تابع فاصله
شکل ۲- تابع فاصله یک تصویر باینری

۲-۴- برداری سازی راهها

پس از استخراج اسکلت راه، جهت انجام پردازشهای بعدی، مرحله برداری سازی انجام می‌گردد. در این مقاله از یکی از روش‌های تقریب پلیگون برای برداری سازی استفاده شده است

که توسط Ramer ارائه گردید [۱۹] و سپس Douglass و Peucker آنرا توسعه دادند [۲۰]. همانگونه که در شکل ۳ نمایش داده شده است، در این روش نقاط (پیکسل‌های) ابتدا و انتهای منحنی به هم وصل می‌شوند. سپس نقطه‌ای که بیشترین فاصله از این خط را دارد، مشخص می‌گردد. فاصله این نقطه تا قطعه خط تقریب‌زننده محاسبه می‌شود و اگر این فاصله از یک حدآستانه مشخصی (ξ) کمتر باشد، تمام نقاط بین نقطه ابتدا و انتها حذف خواهند شد. ولی در صورتیکه فاصله دورترین نقطه از خط تقریب‌زننده در هر مرحله، از ξ بیشتر باشد، آن نقطه باید حفظ شود.



الف: محاسبه فاصله دورترین نقطه از خط واصل
ب: نتیجه نهایی برداری سازی

شکل ۳- برداری سازی به روش Ramer و Peucker-Douglas

این مراحل بصورت بازگشتی تکرار می‌گردد تا زمانیکه کل منحنی بررسی شده باشد. به این ترتیب تقریبی از منحنی رستری اولیه خواهیم داشت که فاصله هیچ نقطه‌ای از آن از منحنی اصلی بیشتر از ξ نخواهد بود. با انجام این مرحله، داده‌های رستری به بردارهای بهبودیافته‌ای تبدیل شده‌اند که علاوه بر حجم پایین داده‌های آن، پردازش‌های بعدی در فضای بردار را امکانپذیر می‌نماید.

۳- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

به منظور ارزیابی روش ارائه شده در این تحقیق برای استخراج اتوماتیک شبکه راهها، از داده‌های واقعی سنجنده Worldview2 مربوط به منطقه شوشتر در استان خوزستان استفاده گردیده است.

شکل ۴، بخشی از شهر شوشتر را نمایش می‌دهد که روش پیشنهادی این تحقیق جهت استخراج راههای آن بر روی آن پیاده سازی شده است. در این تحقیق از ۵ باند تصاویر سنجنده Worldview2 استفاده شده است که عبارتند از لایه پانکروماتیک (با قدرت تفکیک ۵/۰ متر) ۳ لایه رنگی سبز، آبی و قرمز به همراه لایه NIR (با قدرت تفکیک ۲ متر).

^۱ Rule-based classification

^۲ Skeletonization

^۳ Distance Transform

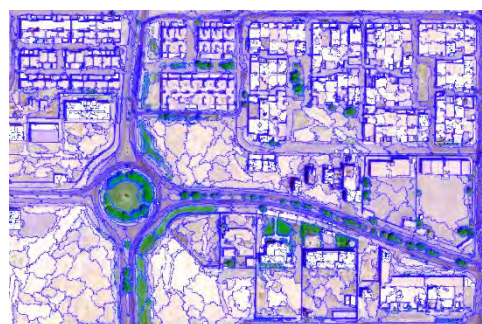


شکل ۴- مجموعه داده مورد استفاده در این تحقیق

وجود میدان، پوشش گیاهی پراکنده و خیابانهای با عرضهای متفاوت ویژگی مشهود این مجموعه داده است.

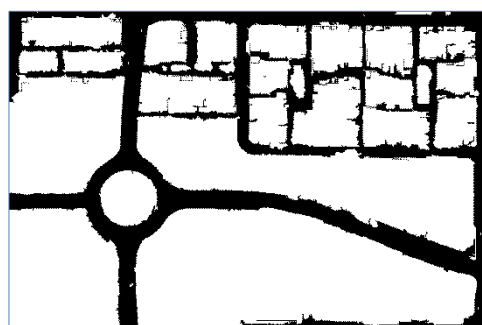
۳-۲- نتایج پیاده‌سازی

نتایج قطع‌بندی به روشی مالتی رزولوشن در شکل ۵ نمایش داده شده است.



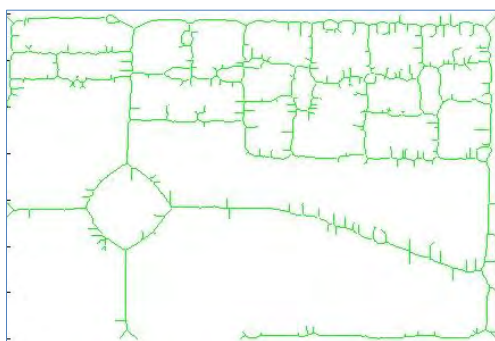
شکل ۵- نتایج قطع‌بندی

در مرحله بعد با استفاده از طبقه‌بندی قاعده‌مبنا یک تصویر باینری ایجاد می‌گردد که عوارض تصویر در دو کلاس راه و غیرراه قرار می‌گیرند. نتیجه حاصل از این طبقه‌بندی در شکل ۶ نمایش داده شده است. واضح است که انتخاب مناسب قواعد مورد استفاده در این بخش، بر روی نتایج کلی کار اثر مستقیم خواهد داشت. لذا بایستی تا حد امکان قواعدی که باعث جداسازی کلاس راه از سایر کلاسها می‌گردد، مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۶- نتایج طبقه‌بندی در دو کلاس راه و غیرراه

معمولاً نتایج استخراج راه بصورت خطوط و نواحی ارائه می‌شوند. غالباً از خطوط برای نمایش محور مرکزی راهها [۱۷] [۱] [۲۱] [۲۲] و همچنین در برخی تحقیقات برای نمایش لیه‌های کناری راه استفاده می‌گردد [۱۴] [۲۳]. علاوه بر این در برخی تحقیقات سایر اطلاعات توصیفی نظیر عرض راه نیز به اطلاعات شبکه راه متصل و گزارش شده است [۲۴] [۱۲]. برخی تحقیقات دیگر ناحیه راه را بعنوان خروجی نهایی گزارش نموده‌اند [۲۵] [۲۶]. همچنین در محدود تحقیقات موجود، صورتهای دیگری برای نمایش شبکه راهها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که بعنوان مثال می‌توان از خطوط محاط در نواحی راه که بجای محور مرکزی، ساختار شبکه راه را تقریب می‌زند [۲۷] نام برد. با توجه به اینکه کاربردی‌ترین نوع خروجی جهت استفاده در سیستم‌های اطلاعات مکانی، بردار راهها می‌باشد، بعد از استخراج نواحی راه، استخراج اسکلت راه و برداری‌سازی آن انجام پذیرفته است که نتایج آن در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۷- نتایج استخراج اسکلت و برداری‌سازی

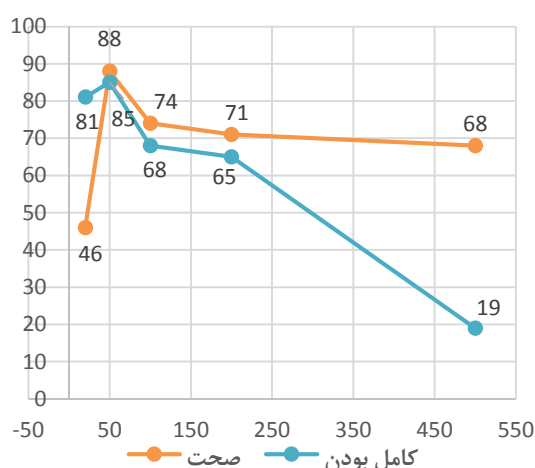
۳-۳- ارزیابی نتایج

ارزیابی نتایج بدست آمده، یک مرحله مهم و ضروری در استخراج اتوماتیک راه (و همچنین سایر عوارض) از تصاویر است. به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از روش مورد استفاده در این تحقیق، شبکه راههای منطقه مورد مطالعه بصورت دستی استخراج گردید تا به عنوان مبنای جهت برآورد کیفیت مدنظر قرار گیرد که نتیجه آن در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸- شبکه راههای استخراج‌شده بصورت دستی

همانطور که از شکل ۹ مشخص است، قطعه‌بندی به روش مالتی رزولوشن، بهترین نتایج را هم از نظر معیار صحت و هم از نظر معیار کامل بودن ارائه داده است. یکی از مهمترین پارامترهای قطعه‌بندی به روش مالتی رزولوشن، پارامتر مقیاس است که مستقیماً به اندازه قطعات ارتباط پیدا می‌کند. پس از مقایسه قطعه‌بندی مالتی رزولوشن با سایر روشها، تحلیلی بر روی این پارامتر انجام پذیرفت که شکل ۱۰ تاثیر بسزای آن بر روی کیفیت نتایج استخراج شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- پارامتر مقیاس در قطعه‌بندی مالتی رزولوشن

پارامتر مقیاس بصورت مستقیم با ابعاد قطعات تشکیل شده ارتباط دارد. هر چقدر مقدار این پارامتر بزرگتر باشد، قطعات بزرگتری تشکیل می‌شوند. در صورت انتخاب یک مقدار خیلی کوچک برای این پارامتر، حالت segmentation-over اتفاق می‌افتد و همانطور که از شکل ۱۰ مشخص است، کیفیت نتایج استخراج راه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با بزرگ شدن بیش از حد این پارامتر، قطعات خیلی بزرگ تشکیل می‌شود و امکان جداسازی راه از سایر عوارض کاهش می‌یابد و در نتیجه افت کیفیت خواهیم داشت که در شکل ۱۰ این مساله به وضوح قابل رویت است. آرایه روش مناسبی برای تنظیم دقیق این پارامتر می‌تواند موضوع تحقیق جداگانه‌ای باشد که تمرکز این تحقیق بر روی آن قرار ندارد. هرس کردن^۱ (حذف قطعات کوچک): پس از برداری سازی شبکه اولیه راهها، باید یک مرحله پردازش دیگر روی آنها انجام شود تا کیفیت نتایج بدست آمده هرچه بیشتر افزایش یابد. به این منظور در مرحله نخست قطعات

^۱ pruning

در [۲۸] معیارهای کارایی برای سیستم‌های استخراج راه بصورت مفصل ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. فرض اساسی این روش این است که داده‌های مرجع بصورت خط مرکزی راهها موجود است [۲۹]. در ارزیابی نتایج استخراج راه، یک بافر با عرض برابر با عرض راه در اطراف راههای مرجع ساخته می‌شود. اگر یک پیکسل (یا یک قطعه) محور مرکزی راه استخراج‌شده در بافر راه مرجع قرار گیرد، بعنوان استخراج صحیح در نظر گرفته می‌شود. به همین ترتیب، اگر یک پیکسل (یا یک قطعه) محور مرکزی راه مرجع در بافر راه استخراج‌شده قرار گیرد، بعنوان راه مرجع استخراج‌شده در نظر گرفته می‌شود [۲].

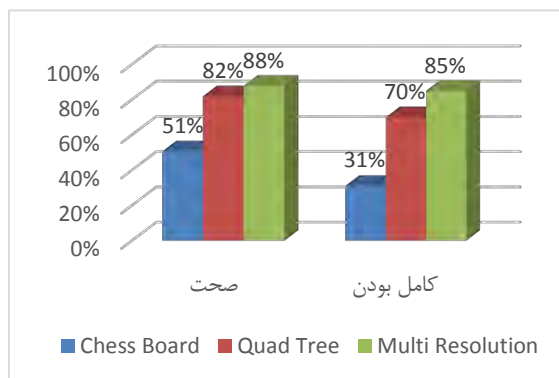
عمومی‌ترین و مهمترین شاخص‌های مورد استفاده محققین، کامل بودن و صحت می‌باشد که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود. ۱- کامل بودن: بیانگر درصدی از راههای مرجع است که بدرستی در راههای استخراج شده وجود دارد. به عبارت دیگر، بخشی از شبکه مرجع که داخل یک بافر اطراف راههای استخراج شده قرار دارد. میزان ایده‌آل این معیار، عدد یک می‌باشد.

$$\text{کامل بودن} = \frac{\text{طول راههای مرجع استخراج شده}}{\text{طول کل راههای مرجع}} \times 100$$

۲- صحت درصد راههای صحیح استخراج شده توسط سیستم به کل راههای استخراج شده توسط آن می‌باشد. به عبارت دیگر، بخشی از راههای استخراج شده که داخل یک بافر اطراف شبکه مرجع راهها قرار دارد. میزان ایده‌آل این معیار، عدد یک می‌باشد.

$$\text{صحت} = \frac{\text{طول راههای استخراج شده صحیح}}{\text{طول کل راههای استخراج شده}} \times 100$$

شکل ۹ نتایج محاسبه معیارهای ارزیابی کیفیت بر روی نتایج بدست‌آمده با قطعه‌بندی به سه روش مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۹- معیارهای ارزیابی کیفیت روشهای قطعه‌بندی



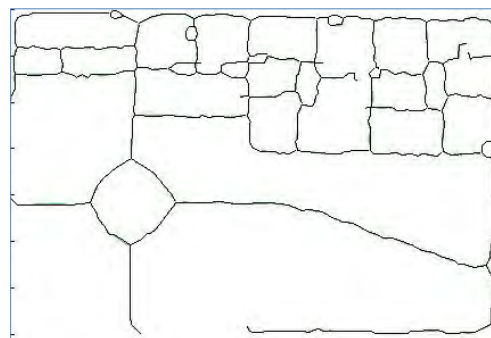
شکل ۱۲- نتیجه نهایی سیستم پیشنهادی استخراج راه

۴- نتیجه‌گیری

بررسی نتایج بدست آمده از این تحقیق کارایی روشهای قطعه‌بندی مبتنی بر شیء در فرآیند استخراج شبکه راهها را نمایش داده است. نتایج بدست آمده حاکی از کیفیت مناسب‌تر قطعه‌بندی مالتی رزولوشن نسبت به روشهای دیگر مورد مطالعه بوده است. با انجام عملیات هرس کردن نتایج بدست آمده بیش از ۲۰٪ بهبود یافته است. نتایج نهایی پیاده‌سازی قطعه‌بندی مالتی رزولوشن و هرس کردن بر روی داده مورد استفاده، مقدار پارامتر صحت ۸۸٪ و پارامتر دقت ۸۵٪ را نشان داده است. علاوه بر این، پارامترهای روش مالتی رزولوشن بصورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت که تاثیر زیاد انتخاب این پارامترها بر خروجی سیستم مشاهده گردید.

در تحقیقات آتی، پیاده‌سازی سایر روشهای قطعه‌بندی تصویر، انجام آنالیزهای شبکه بر روی راههای استخراج شده و همچنین استفاده از روشهای بهینه‌سازی هوشمند نظیر روشهای فراابتکاری جهت تنظیم پارامترهای سیستم استخراج راه پیشنهاد می‌گردد. همچنین افزایش مشخصه‌های مورد استفاده در قسمت طبقه‌بندی و انتخاب بهینه آنها نیز می‌تواند در افزایش کیفیت تشخیص قطعات راه و در نتیجه کارایی کلی سیستم مورد بررسی قرار گیرد.

خیلی کوچک از شبکه راهها حذف می‌شوند. نتایج مرحله هرس کردن در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱۱- هرس کردن شبکه راههای استخراج شده

همانگونه که از جدول ۱ مشخص است، با حذف قطعات کوچک، بیش از ۲۰٪ بهبود در صحت نتایج بدست آمده ایجاد گردیده است.

جدول ۱- بهبود صحت ناشی از حذف قطعات کوچک

پارامتر مقیاس در قطعه‌بندی					معیار	
۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵		
۵۳٪	۵۳٪	۵۴٪	۶۹٪	۳۶٪	صحت	قبل از هرس کردن
۲۳٪	۷۳٪	۸۰٪	۸۸٪	۸۶٪	کامل بودن	
۶۸٪	۷۱٪	۷۴٪	۸۸٪	۴۶٪	صحت	بعد از هرس کردن
۱۹٪	۶۵٪	۶۸٪	۸۵٪	۸۱٪	کامل بودن	

البته همانطور که از تعریف معیار کامل بودن می‌توان انتظار داشت، در اثر هرس کردن و حذف قطعات کوچک مقداری افت در معیار کامل بودن ایجاد گردیده است. شکل ۱۲ نتیجه نهایی سیستم بر روی داده اصلی را نمایش می‌دهد.

مراجع

- [1] S. Das, T. T. Minalinee and K. Varghese, "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, no. 10, pp. 3906-3931, October 2011.
- [2] X. Jin and C. H. Davis, "An integrated system for automatic road mapping from high-resolution multi-spectral satellite imagery by information fusion," Information Fusion, vol. 6, no. 4, pp. 257-273, December 2005.
- [3] Y. Bae, W.-H. Lee, Y. Choi, Y. W. Jeon and J. B. Ra, "Automatic Road Extraction From Remote Sensing Images Based on a Normalized Second Derivative Map," IEEE Geoscience and remote sensing letters, 2015.

- [4] S. Hinz and A. Baumgartner, "Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery," , ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 58, pp. 83-98, 2003.
- [5] A. Grote, C. Heipke and F. Rottensteiner, "Road Network extraction in suburban areas," The Photogrammetric Record, vol. 27, no. 137, pp. 8-28, 2012.
- [6] Z. Miao and W. Shi, "Road centreline extraction from classified images by using the geodesic method," Remote Sensing Letters, vol. 5, no. 4, p. 367-376, 2014.
- [7] J. Senthilnath, M. Rajeshwari and S. Omkar, "Automatic road extraction using high resolution satellite image based on texture progressive analysis and normalized cut method," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 37, no. 3, pp. 351-361, 2009.
- [8] 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, December 2014.
- [9] P. P. Singh and R. Garg, "A two-stage framework for road extraction from high-resolution satellite images by using prominent features of impervious surfaces," International Journal of Remote Sensing,, vol. 35, no. 24, pp. 8074-8107, 2014.
- [10] 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.
- [11] Z. Miao, B. Wang, W. Shi and H. Zhang, "A Semi-Automatic Method for Road Centerline Extraction From VHR Images," IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, vol. 11, no. 11, pp. 1856-1860, 2014.
- [12] W. Sun and D. W. Messinger, "Knowledge-based automated road network extraction system using multispectral images," Optical Engineering, vol. 52, no. 4, pp. 047203-1:14, April 2013.
- [13] J. Yuan, D. Wang, B. Wu, L. Yan and R. Li, "LEGION-Based Automatic Road Extraction From Satellite Imagery," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 49, no. 11, pp. 4528-4538, 2011.
- [14] J. Amini, M. R. Saradjian, J. Blais, L. Caro and A. Azizi, "Automatic road-side extraction from large scale imagemaps," International Journal of Applied Earth Observation, vol. 4, pp. 95-107, 2002.
- [15] T. Blaschke, "Object based image analysis for remote sensing," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 65, pp. 2-16, 2010.
- [16] . Trimble GmbH, eCognition Developer 8.7, reference book, 2011.
- [17] 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, May 2013.
- [18] R. FABBRI, L. D. F. COSTA, . T. C. JULIO and O. M. BRUNO, "2D Euclidean Distance Transform Algorithms:," ACM Computing Surveys, vol. 40, no. 1, 2008.
- [19] U. Ramer, "An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves," Computer Graphics and Image Processing, vol. 1, no. 3, p. 244-256, 1972.
- [20] D. Douglas and T. Peucker, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature," The Canadian Cartographer, vol. 10, no. 2, pp. 112-122, 1973.
- [21] S. Movaghati, A. Moghaddamjoo and A. Tavakoli, "Road Extraction From Satellite Images Using Particle Filtering and Extended Kalman Filtering," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, no. 7, July 2010.
- [22] 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.
- [23] H. Ma, Q. Qin, S. Du, L. Wang and C. Jin, "Road extraction from ETM panchromatic image based on Dual-Edge Following," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS 2007), Barcelona, 2007.
- [24] A. P. Dal Poz, R. B. Zanin and G. M. do Vale, "Automated Extraction of Road Network from Medium- and High-Resolution Images," Pattern Recognition and Image Analysis, vol. 16, no. 2, pp. 239-248, 2006.

- [25] M. Mokhtarzade and M. J. V. Zoej, "Road detection from high-resolution satellite images using artificial neural networks," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 9, no. 1, pp. 32-40, February 2007.
- [26] Y. Xiao, D. Tien and X. P. Jia, "Region Based Perceptual Grouping for Road Extraction from High Resolution Images," in *The 6th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009)*, 2009.
- [27] J. Hu, A. Razdan, J. C. Femiani, M. Cui and P. Wonka, "Road Network Extraction and Intersection Detection From Aerial Images by Tracking Road Footprints," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, no. 12, pp. 4144-4157, 2007.
- [28] C. Wiedemann, C. Heipke, H. Mayer and O. Jamet, "Empirical Evaluation of Automatically Extracted Road Axes," in *Empirical Evaluation Methods in Computer Vision*, Los Alamitos, California: IEEE Computer Society Press, 1998, p. 172-187.
- [29] H. Mayer, S. Hinz, U. Bacher and E. Baltsavias, "A Test of Automatic Road Extraction Approaches," in *Symposium of ISPRS Commission III "Photogrammetric Computer Vision 'PCV 06', The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Bonn, Germany, 2006.
- [30] J. Mena, "State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification," vol. 24, p. 3037-3058, 2003.
- [31] L. J. Quackenbush, "A Review of Techniques for Extracting Linear Features from Imagery," *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 70, no. 12, p. 1383-1392, December 2004.
- [32] 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.
- [33] A. Mohammadzadeh, M. J. Valadan Zoej and A. Tavakoli, "Automatic Main Road Extraction from High Resolution Satellite Imageries by Means of Particle Swarm Optimization Applied to a Fuzzy-based Mean Calculation Approach," *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 37, p. 173-184, June 2009.
- [34] J. Mena, "Automatic vectorization of segmented road networks by geometrical and topological analysis of high resolution binary images," *Knowledge-Based Systems*, vol. 19, pp. 704-718, 2005.
- [35] M. -F. Auclair-Fortier, D. Ziou, C. Armenakis and S. Wang, "Survey of Work on Road Detection in Aerial and Satellite Images. Technical Report No. 247," Quebec, Canada, 1999.