



# سنگش از دور & GIS ایران



سنگش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۲  
Vol.5, No.4, Winter 2014 Iranian Remote Sensing & GIS

۲۲-۳۶

## مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSAR-X و آیکونوس با استفاده از اطلاعات بافت در الگوریتم‌های شبکه عصبی

الهه خصالی<sup>۱</sup>، محمدجواد ولدان‌زوج<sup>۲\*</sup>، مریم دهقانی<sup>۳</sup>، مهدی مختارزاده<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه فتوگرامتری و سنگش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار بخش مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز
۴. استادیار گروه فتوگرامتری و سنگش از دور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۱۵

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۴/۲۸

### چکیده

نسل جدید سنجنده‌های راداری فضایی با حد تفکیک مکانی بالا، امکان استفاده از این تصاویر را به‌منظور استخراج خودکار عوارض، به‌ویژه عارضه راه فراهم آورده‌اند. در پژوهش حاضر، استخراج عارضه راه از تصاویر راداری و اپتیک با حد تفکیک بالا با یکدیگر مقایسه شدند. بدین منظور از تصاویر آیکونوس و TerraSAR-X استفاده شد و بین تصاویر هم‌مرجع‌سازی انجام گرفت. سپس ویژگی‌های بافت استخراج شدند و طبقه‌بندی با استفاده از شبکه عصبی بازپس‌خور خطا انجام پذیرفت. با مقایسه نتایج حاصل از اجرای الگوریتم با داده‌های مرجعی که عامل انسانی آنها را تهیه کرده است، برای داده‌های TerraSAR-X و آیکونوس، به ترتیب مقادیر ۴۶/۱۰ و ۵۷/۷۲ درصد برای پارامتر  $RCC$ ، ۴۶/۵۸ و ۹۳/۲۷ درصد برای پارامتر  $BCC$  و مقادیر ۰/۶۱ و ۰/۳۱ برای پارامتر  $RMSE$  به دست آمد. مقایسه تصویر خروجی حاصل از دو الگوریتم نشان می‌دهد که هرکدام از تصاویر اپتیک و راداری نواقصی در استخراج راه دارند. به عنوان مثال، الگوریتم‌های اپتیک به مناطقی از تصویر که ویژگی‌های طیفی و بافتی مشابه با راه دارند - از جمله محل پارکینگ‌ها و سقف بام‌های بزرگ - حساس هستند، در صورتی که این مناطق در تصاویر راداری ظاهری روشن و بافتی متفاوت دارند. بنابراین تصاویر راداری در مناطقی با بافت شهری - به‌ویژه توأم با راه‌های کم‌عرض و کوچه‌ها - مناسب‌اند. از طرفی دیگر تصاویر راداری در مناطقی با پوشش گیاهی انبوه به خوبی عمل نمی‌کنند، در حالی که تصاویر اپتیک کاملاً قادر به تمایز این مناطق از راه‌ها هستند. در نتیجه با توجه قابلیت‌های مکمل این تصاویر در استخراج راه، تلفیق ویژگی‌های این دو منبع به‌منظور رفع نواقص و افزایش دقت الگوریتم‌های حاضر، روشی کارآمد در توسعه الگوریتم‌ها به نظر می‌رسد.

**کلیدواژه‌ها:** استخراج راه، تصاویر راداری، تصاویر اپتیک، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ویژگی بافت.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی‌عصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری، گروه فتوگرامتری و سنگش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،

تلفن: ۰۲۱۸۸۷۸۶۲۱۲

## ۱- مقدمه

راه‌ها به‌عنوان مهمترین شریان‌های ارتباطی، همواره عاملی بسیار مهم در پیشرفت اقتصادی کشورها بوده‌اند. توسعه سریع راه‌های جدید و هزینه‌های مرتبط با آن به دلیل اهمیت زیربنایی راه است. سامانه اطلاعات مکانی به منظور مدیریت کارآمد و بهنگام‌سازی راه‌های رو به توسعه، نیاز به داده‌های برداری دارد. بدین منظور راه‌ها باید از تصاویر رقومی استخراج و وارد این سیستم‌ها شوند.

امروزه تصاویر رقومی ماهواره‌ای و راداری با قدرت تفکیک مکانی بالا، منبعی مناسب برای استخراج راه‌ها هستند. حجم وسیع داده‌های جمع‌آوری شده از طریق سنجنده‌های ماهواره‌ای و راداری و افزایش قدرت تفکیک مکانی این تصاویر ایجاب می‌کند تا به منظور استفاده بهینه از این داده‌ها در تولید، و بهنگام‌رسانی سریع و اقتصادی نقشه‌های پوششی، روش‌هایی جدید تدوین شوند. به همین دلیل در دو دهه اخیر استخراج خودکار راه‌ها به موضوعی مهم در سنجش از دور، فتوگرامتری و بینایی رایانه‌ای تبدیل شده است.

راه ویژگی‌هایی دارد که به استخراج خودکار آن کمک می‌کند، که از آن جمله‌اند: طولانی و پیوسته بودن، داشتن انحنای کم و مرزهای موازی، اختلاف درجه خاکستری با محیط پیرامون، و همگونی درجه خاکستری و بافت. با وجود اینکه تاکنون از روش‌های متنوعی برای رسیدن به این هدف استفاده شده است، وجود موانع و پیچیدگی‌های تصویر، روند استخراج راه را با مشکلات فراوانی مواجه می‌سازد. به همین دلیل بهبود روش‌ها و روال‌های معمول همچنان در برنامه‌های تحقیقاتی فتوگرامتری و سنجش از دور قرار دارد. در این زمینه، ظهور تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک مکانی بالا امکانات ویژه‌ای در استخراج راه - به‌ویژه در مناطق شهری - فراهم آورده است. از این‌رو استخراج خودکار راه از تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای با حد تفکیک بالا از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی فعلی به‌شمار می‌آید.

به‌طور سنتی اکثر تحقیقات مربوط به استخراج راه روی تصاویر اپتیکی متمرکز شده‌اند. سنجنده‌های راداری فضایی بزرگ‌مقیاس همچون TerraSAR-X با حد تفکیک مکانی ۱ متر، امکان استفاده از تصاویر راداری را در استخراج خودکار عوارض و بهبود الگوریتم‌های موجود فراهم آورده‌اند. از دیگر انگیزه‌های بهره‌گیری از تصاویر راداری می‌توان به مزایای این تصاویر شامل امکان تصویربرداری در تمام طول شبانه‌روز و وابسته‌نبودن به شرایط آب‌وهوایی اشاره کرد.

آنچه گفته شد، اهمیت استفاده از تصاویر راداری با حد تفکیک بالا را برای استخراج راه از مناطق شهری و مقایسه قابلیت‌های این تصاویر با تصاویر اپتیکی بزرگ‌مقیاس را آشکار می‌سازد.

تاکنون روش‌های متنوعی برای استخراج راه از تصاویر اپتیک و راداری ارائه شده است، که از آن جمله‌اند: بافت کلی و محلی با معرفی مرز شهرها به عنوان نقاط اصلی (Wessel, 2004)، استخراج‌گرهای خطی و روش بهینه‌سازی MRF (Lee, 1980)، روش آشکارسازی راه، ساخت شبکه با استفاده از اطلاعات هندسی، و تلفیق شبکه. در مرحله نخست از روش *bas template detection line e* استفاده می‌شود، که نتیجه آن یک شبکه شامل خطوط راه‌ها با ضخامت‌های مختلف است و پس از باریک‌سازی نتایج برداری شده وارد مرحله بعد می‌گردد. در مرحله دوم برای ساخت شبکه از اطلاعاتی مانند ضخامت، شیب، انحنای، فاصله بین قطعات و طول راه استفاده می‌شود. در مرحله سوم، شبکه راه استخراج شده با شبکه‌هایی از منابع دیگر تلفیق می‌گردد (Dekker, 2008). از تحقیقات صورت گرفته در این حوزه می‌توان به اینها اشاره کرد: فیلترهای انطباقی غیرخطی (Bolon et al., 1999)، تصاویر راداری چندمنظری (Hedman et al., 2005)، و الگوریتم دومرحله‌ای برای تشخیص نظارت‌نشده ساختارهای خطی و محور اصلی شبکه راه‌ها (Tupin et al., 1998).

شبکه‌های عصبی به‌عنوان روش آشکارسازی راه از تصاویر اپتیک و راداری استفاده شده است و سپس با بررسی نتایج به‌دست‌آمده، نقاط ضعف و قوت هریک از این منابع تصویری برای اهداف استخراج راه تحلیل شده‌اند. در بخش دوم مقاله، ابتدا طبقه‌بندی تصاویر سنجنش از دور به کمک شبکه‌های عصبی، آنالیز بافت، مدل راه در تصاویر اپتیک و راداری توضیح داده شده است، سپس مشخصات داده‌های استفاده‌شده توصیف می‌شود و الگوریتم پیشنهادی برای استخراج راه معرفی می‌گردد. در بخش سوم، نتایج الگوریتم پیشنهادی مقایسه و ارزیابی می‌شود. در نهایت در بخش چهارم، نتایج به‌دست آمده مورد بحث قرار می‌گیرد و پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه می‌گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- طبقه‌بندی تصاویر سنجنش از دور به کمک

#### شبکه‌های عصبی

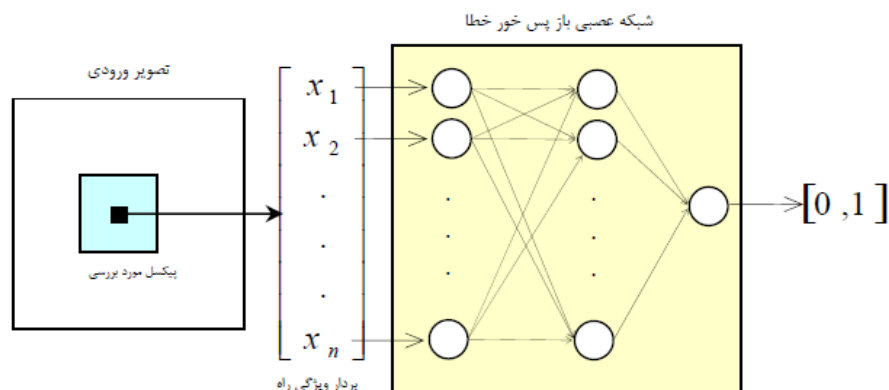
کشف راه در تصاویر را می‌توان نوعی فرایند ناحیه‌بندی در نظر گرفت که در آن پیکسل‌های موجود به دو کلاس راه و غیرراه طبقه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای استفاده از شبکه‌های عصبی به‌منظور کشف راه، لایه ورودی بایستی شامل نرون‌هایی به تعداد پارامترهای ورودی باشد، به نحوی که هر نرون مسئول دریافت یک پارامتر و ارسال آن به سایر لایه‌های شبکه باشد. لایه خروجی فقط دربرگیرنده یک نرون است که پاسخ آن، نظر شبکه عصبی را در مورد ماهیت پیکسل ورودی نشان می‌دهد. در شبکه‌های عصبی معمولاً فقط طراحی یک لایه میانی کفایت می‌کند، اما تعداد نرون‌های موجود در این لایه متغیر و در کاربردهای مختلف، متفاوت است. هرچه تعداد نرون‌های بیشتری در لایه میانی طراحی شود، شبکه بهتر می‌تواند مسائل پیچیده را مدوله کند، اما در عوض زمان لازم برای آموزش شبکه نیز افزایش خواهد یافت (Mokhtarzade, 2008).

منا در سال ۲۰۰۳ در تحقیقی ضمن بررسی اصول کلی حاکم بر روش‌های استخراج راه، روش‌های خودکار استخراج راه از تصاویر اپتیک را برحسب تکنیک مورد استفاده طبقه‌بندی کرد. در تحقیق وی، جهت‌گیری الگوریتم‌ها به‌سوی روش‌های هوشمند و بهره‌گیری حداکثری از منابع مختلف داده به‌عنوان دیدگاه‌های مطرح معرفی شده است.

محمدزاده (2008, 2009, 2010) و محمدزاده و دیگران (2006) روشی بهینه برای استخراج عارضه راه با کمک سیستم استنتاج فازی و توابع مورفولوژی و سیستم‌های خودسازمان‌ده ارائه کرده‌اند. مختارزاده (2008) روشی جدید برای استفاده از اطلاعات بافت تصویر به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های عصبی در اهداف کشف راه، ارائه و پیاده‌سازی کرد. در تحقیق وی، اطلاعات بافت تصویر در حالت‌های مختلف، از تصویر اصلی و شبکه رستری راه‌های کشف‌شده استخراج شد و به شبکه عصبی معرفی گردید. با ارزیابی نتایج حاصل از نظر قدرت شبکه در شناسایی پیکسل‌های راه و تمایز پیکسل‌های زمینه راه، مؤثرترین نحوه استفاده از بافت در شبکه‌های عصبی با اهداف کشف راه تعیین شد و به‌عنوان دستاورد اصلی تحقیق ارائه گردید. نتایج به‌دست‌آمده، اهمیت استفاده از اطلاعات بافت را در تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به روشنی نشان می‌دهد.

بررسی الگوریتم‌های مختلف استخراج راه نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی به‌عنوان یکی از ابزارهای موفق هوش مصنوعی نتایج رضایت‌بخشی در این زمینه داشته‌اند. از این‌رو در تحقیق حاضر نیز از این ابزار برای استخراج راه از تصاویر اپتیک و راداری به‌منظور ایجاد امکان مقایسه نتایج استفاده شده است. همچنین از اطلاعات بافت تصویر نیز به‌عنوان منبع اطلاعاتی مکمل داده‌های طیفی - که طبق تحقیقات قبلی دقت آشکارسازی را بهبود می‌بخشد - در این تحقیق استفاده شد.

در این تحقیق از اطلاعات بافت تصویر در



شکل ۱. ساختار شبکه عصبی با اهداف آشکارسازی راه

منبع: Mokhtarzade, 2008

مشخص و تعریف شده از اطلاعات بافت برای آن منطقه محاسبه می شود.

روش های آماری که ویژگی های بافت نظیر نرمی، زبری، سختی و مانند اینها را توصیف می کنند، رایج ترین روش های مورد استفاده در آنالیز بافت تصاویر ماهواره ای هستند (Mokhtarzade, 2008). پراسفاده ترین روش های آنالیز آماری بافت اینها هستند:

- توصیفگرهای آماری مرتبه اول (استفاده از هیستوگرام یک بعدی)  
توصیفگرهای آماری مرتبه اول، براساس هیستوگرام تصویر یا به عبارت دیگر براساس احتمال رخداد درجات خاکستری در سطح تصویر، پارامترهای مختلف را برآورد می کنند.

- توصیفگرهای آماری مرتبه دوم براساس ماتریس رخداد توأم<sup>۲</sup>

روش ماتریس رخداد توأم درجات خاکستری، رایج ترین روش آماری آنالیز بافت است که توزیع درجات خاکستری و افزون بر آن، موقعیت پیکسل ها نسبت به یکدیگر را در نظر می گیرد. برای بیان موقعیت نسبی یک زوج پیکسل از یکدیگر، می توان از دو پارامتر

مهم ترین فاکتور در استفاده از شبکه های عصبی برای کشف راه، تعیین داده های ورودی شبکه است که بایستی از تصویر ورودی استخراج و به شبکه معرفی شوند. قابلیت تمایز پیکسل های راه از زمینه تصویر به وسیله شبکه های عصبی، به شدت از پارامترهای ورودی انتخاب شده تأثیر می پذیرد.

طراحی شبکه عبارت است از تعیین تعداد لایه های میانی و نرون های موجود در آنها، انتخاب بردار ورودی برای ارسال به شبکه در لایه ورودی، شرایط توقف در مرحله تکرار و مقداردهی اولیه به پارامترهای نرخ آموزش و پارامتر اینرسی، که قبل از به کارگیری شبکه می بایست درمورد آنها تصمیم گیری شود (Mokhtarzade et al., 2007).

## ۲-۲- آنالیز بافت<sup>۱</sup>

آنالیز بافت یکی از رایج ترین روش های ایجاد توصیفگرهای عوارض سطحی در تصاویر رقومی است که می تواند به عنوان معیاری برای تمایز بین اشیای مختلف موجود در تصویر مورد استنباط قرار گیرد. در اجرای روند آنالیز بافت تصویر، روابط درجات خاکستری بین پیکسل مورد بررسی و پیکسل های همسایه آن تجزیه و تحلیل می شود و سپس یک یا چند معیار

1. Texture analysis  
2. Co-Occurrence Matrix

به انتخاب الگوریتم مناسب یا انطباق پارامترهای استخراج کمک کند. در تصاویر راداری با حد تفکیک بالا، اشیاء و موانع اطراف راه‌ها - مانند علائم ترافیکی و پل‌ها - تأثیر مستقیم می‌گذارند و مدل کردن بافت محلی در این تصاویر ضروری است.

#### ۲-۴- مشخصات داده‌های استفاده شده

منطقه مطالعه شده در این تحقیق، شهر شیراز واقع در بخش مرکزی استان فارس در جنوب ایران و در منطقه کوهستانی زاگرس است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا بین ۱۴۸۰ تا ۱۶۷۰ متر است. این شهر دارای طول ۴۰ کیلومتر و عرضی متفاوت بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر با مساحت ۱۲۶۸ کیلومترمربع است. داده استفاده شده، تصویر pan-sharpened ماهواره آیکونوس و تصویر سنجنده راداری TerraSAR-X در مد spotlight با حد تفکیک ۱ متر و با دو پلاریزاسیون HH و VV است، که در تاریخ ۳۱ دسامبر سال ۲۰۱۱ دریافت شده است. با توجه به اختلاف زمانی ۱۰ سال میان دو تصویر منطقه مطالعاتی در بخشی از شهر که کمترین تغییرات را دارد، ابعاد ۸۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، این منطقه انواع راه‌ها با ضخامت‌های مختلف را در بر می‌گیرد و برای اجرای الگوریتم بسیار مناسب است.

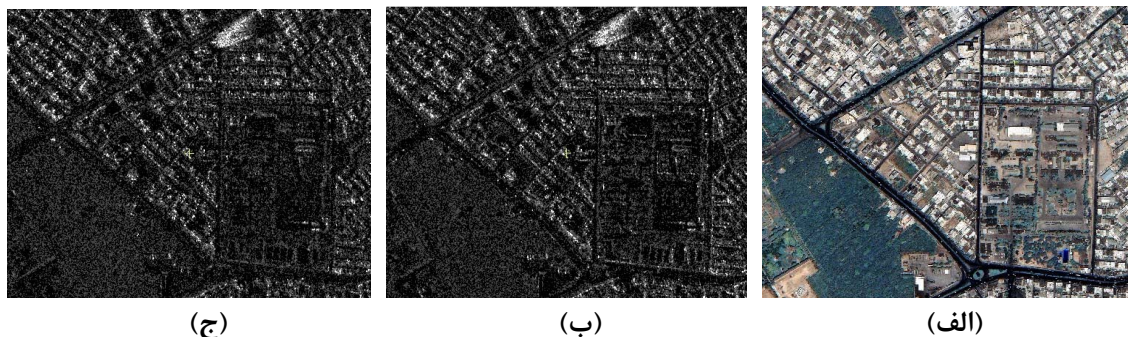
فاصله (d) و توجیه ( $\varphi$ ) استفاده کرد. پارامتر فاصله اختلاف مکانی پیکسل‌های بررسی شده، و پارامتر توجیه جهت این اختلاف مکانی را نشان می‌دهد. جزئیات بیشتر در این باره را در مطالعه هارالیک و شانموگام (1973) مطالعه کنید.

پس از تشکیل ماتریس رخداد توأم در منطقه از قبل تعیین شده و براساس پارامترهای معین  $\varphi$  و d می‌توان پارامترهای بافت را برای هریک از پیکسل‌های تصویر محاسبه کرد.

#### ۲-۳- مدل راه در تصاویر اپتیک و رادار

در تصاویر اپتیک با حد تفکیک بالا راه‌ها به صورت سطوح مستطیلی کشیده با طول بلند، دارای بافتی منظم و یکنواخت و از نظر طیفی متفاوت با زمینه تصاویر ظاهر می‌شوند (Hoheisel, 2003).

در تصاویر راداری با حد تفکیک بالا و در مناطق شهری، راه‌ها به صورت عوارض سطحی تیره با طول بلند و لبه‌های جانبی روشن و به صورت جفت لبه‌های موازی ظاهر می‌شوند. علت روشن بودن اطراف راه‌ها وجود ساختمان‌ها و عوارض کنار راه‌هاست که به صورت corner reflector عمل می‌کنند. وجود درخت‌ها و ساختمان‌های بلند در اطراف راه‌ها دید رادار را محدود می‌کنند و تأثیر سایه و layover ایجاد می‌کنند. راه‌ها در نواحی مختلف تصاویر راداری به‌طور متفاوتی ظاهر می‌شوند. بنابراین، استفاده از اطلاعات نواحی می‌تواند



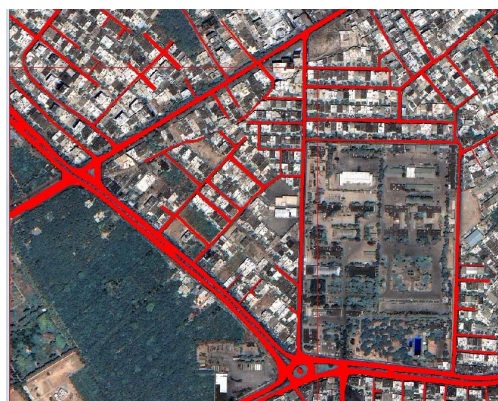
شکل ۲. داده‌های منطقه مطالعه شده؛ (الف) تصویر pan sharpened آیکونوس، (ب) تصویر TerraSAR-X با پلاریزاسیون HH از شهر شیراز، (ج) تصویر TerraSAR-X با پلاریزاسیون VV از شهر شیراز

در استخراج راه از تصاویر اپتیک، همان توصیفگرهای آماری مرتبه دوم شامل چهار پارامتر کنتراست، انترپی، همگنی و انرژی با ابعاد سه‌درسه هستند. چون آنالیز بافت و ابعاد پنجره استفاده شده قبلاً در تحقیق مذکور انجام پذیرفته، در مورد تصویر آیکونوس این چهار پارامتر در یک پنجره سه‌درسه محاسبه شده و به همراه باندهای طیفی شامل سه باند قرمز، سبز و آبی، به شبکه عصبی معرفی شده‌اند.

طبق تحقیق آل‌علی در سال ۲۰۱۱، استخراج توصیفگرهای آماری مرتبه دوم در تصاویر TerraSAR-X نمی‌تواند در طبقه‌بندی آب مؤثر باشد؛ و بررسی شباهت دو عارضه آب و راه از نظر بافت در تصاویر راداری نیز نشان داد که این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی راه مناسب نیستند و نتیجه درستی به دست نمی‌دهند. در مورد تصویر TerraSAR-X دو ویژگی Data range و Mean مفیدند (Al-Ali, 2011). در مقاله حاضر نیز از توصیفگرهای آماری مرتبه اول با ابعاد سه‌درسه استفاده شد و درستی نتایج تحقیق به اثبات رسید. این دو پارامتر از هر کدام از دو پلاریزاسیون استخراج گردید. دو ویژگی نام‌برده به همراه دامنه تصاویر در دو پلاریزاسیون نتایج پذیرفتنی به دست می‌دهند و در استخراج راه مفیدند. پس از مرحله انتخاب ویژگی، نوبت به طبقه‌بندی ویژگی‌ها می‌رسد. در پژوهش حاضر از شبکه عصبی مصنوعی بازپس‌خور خطاً<sup>۲</sup> با یک لایه میانی استفاده شد.

برای آموزش شبکه، ۲۰۰۰ پیکسل آموزشی به صورت تصادفی ولی با توزیع همگن از تصویر در نظر گرفته شدند، که ۱۰۰۰ پیکسل آن آموزشی برای کلاس راه و ۱۰۰۰ پیکسل دیگر آموزشی برای کلاس غیرراه انتخاب شدند. در پیاده‌سازی این شبکه عصبی مصنوعی، از نرخ آموزش و پارامتر اینرسی تطابق‌پذیر استفاده شد.

برای ارزیابی نتایج، قبل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، تصویر باینری از راه‌های موجود در تصویر مورد نظر تهیه شد. کاربرد این تصویر که با نام Reference Map شناخته می‌شود، برآورد پارامترهای ارزیابی دقت و کیفیت نتایج است (شکل ۳).



شکل ۳. شبکه راه‌های استخراج شده به وسیله عامل انسانی، برای ارزیابی دقت و کیفیت نتایج آشکارسازی راه

## ۲-۵- معرفی الگوریتم پیشنهادی برای استخراج راه

آشکارسازی راه به این مفهوم است که پیکسل‌های موجود در تصویر به دو کلاس راه و غیرراه کلاسه‌بندی شوند. مطابق با فلوجارت الگوریتم پیشنهادی که در شکل ۴ ارائه شده است، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم روی داده‌های ورودی انجام پذیرفت - از جمله هم‌مرجع‌سازی میان دو تصویر که امکان مقایسه و ارزیابی دقیق‌تر خروجی دو الگوریتم را فراهم می‌آورد. این مرحله با استفاده از نرم‌افزار PCI Geomatica انجام پذیرفت. با توجه به اینکه حذف نویز لکه‌ای<sup>۱</sup> تأثیر چندانی در داده راداری ندارد و باعث از دست رفتن اطلاعات مکانی می‌شود، از حذف نویز چشم‌پوشی گردید. سپس پارامترهای بافت از دو تصویر شامل توصیفگرهای آماری مرتبه اول و مرتبه دوم با استفاده از نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. با توجه به تحقیق مختارزاده و دیگران (2007) بهترین پارامترهای بافت

1. Speckle noise  
2. Back Propagation Neural Network

بخش بعد شرح داده خواهد شد.

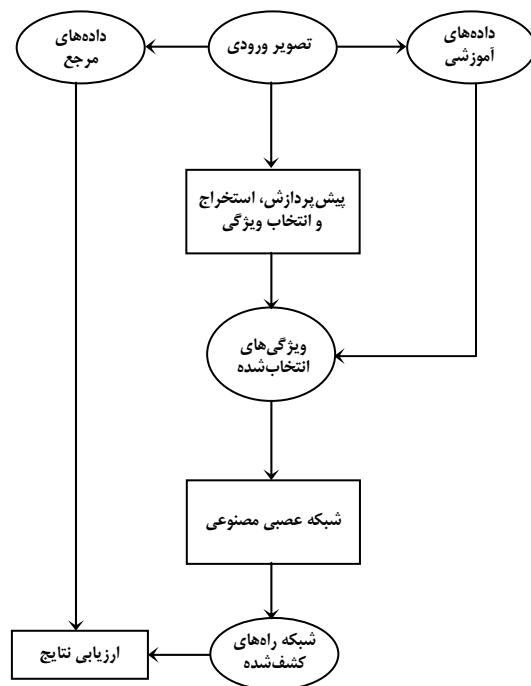
### ۳- مقایسه و ارزیابی نتایج

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم روی هر کدام از داده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. ارزیابی نتایج با سه پارامتر  $RCC$ ،  $BCC$  و  $RMSE$  انجام گرفت. به این منظور ابتدا یک تصویر باینری از شبکه فرانس راه که با عامل انسانی تهیه می‌شود، ایجاد می‌گردد. در این تصویر، کلیه پیکسل‌های راه با عدد صفر و پیکسل‌های زمینه با عدد یک مقداردهی می‌شوند.

با ضرب نظیربه‌نظیر درایه‌های ماتریس خروجی در تصویر باینری گفته‌شده و محاسبه میانگین حاصل‌ضرب‌های فوق، معیار «ضریب صحت کشف راه» به دست می‌آید. معیار  $RCC^1$  را می‌توان معیاری از میانگین توانایی شبکه عصبی در تشخیص پیکسل‌های راه موجود در تصویر قلمداد کرد.

با معکوس کردن مقادیر مربوط به تصویر باینری حاصل از شبکه برداری فرانس و تکرار عملیات محاسبه  $RCC$ ، معیاری مشابه با نام «ضریب صحت آشکارسازی زمینه» به دست می‌آید. پارامتر  $BCC^2$  معیاری است برای نمایش نحوه عملکرد شبکه عصبی در تمایز و تشخیص پیکسل‌های زمینه راه.  $BCC$  را می‌توان درصد عملکرد صحیح شبکه عصبی در تمایز پیکسل‌های زمینه از پیکسل‌های راه برشمرد. پارامتر  $RMSE$  را می‌توان معیاری از قابلیت عمومی شبکه عصبی در آشکارسازی خودکار راه تفسیر کرد. در برآورد این پارامتر، تفاوت پاسخ شبکه عصبی در مورد ماهیت هر پیکسل با پاسخ مورد انتظار، مطابق با تصویر باینری حاصل از شبکه فرانس راه‌های موجود در تصویر، به‌عنوان مقادیر خطا در نظر گرفته شد. خروجی حاصل از اجرای الگوریتم روی دو منبع در شکل ۵ نشان داده شده و نتایج ارزیابی در جدول ۱ ارائه شده است.

تعداد نورون‌های لایه‌های ورودی و میانی، نرخ آموزش، پارامتر اینرسی و ساختار شبکه عصبی از مواردی هستند که در دریافت مناسب‌ترین نتیجه از شبکه مؤثرند. از آنجاکه استخراج راه پیچیدگی چندانی ندارد، فقط از یک لایه میانی استفاده شد. نورون‌های لایه ورودی، به تعداد ویژگی‌های منتخب است، که در تصاویر TerraSAR-X تعداد ۶ نورون و در تصویر اپتیک ۷ نورون وجود دارد. برای لایه میانی، تعداد نورون‌ها ۱۵، ۱۰ و ۲۰ انتخاب گردید و بهترین نتایج از انتخاب ۲۰ نورون در لایه میانی به دست آمد. لایه خروجی هم شامل یک نورون است، که پاسخ شبکه عصبی برای پیکسل‌های راه معادل صفر و برای پیکسل‌های زمینه برابر با یک است.



شکل ۴. فلوجارت روش پیشنهادی

در نهایت، شبکه در ۱۰۰۰ تکرار آموزش داده شد و برای بقیه پیکسل‌ها فراخوانی گردید. به‌منظور ایجاد امکان ارزیابی، نتایج خروجی شبکه عصبی با شبکه مرجعی که به‌طور دستی با عامل انسانی استخراج گردیده است، مقایسه شد. در ارزیابی نتایج، از سه پارامتر  $RCC$ ،  $BCC$  و  $RMSE$  استفاده گردید که در

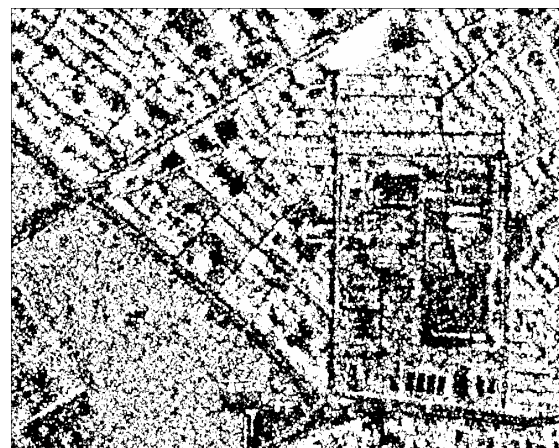
1. Road Detection Correctness Coefficient  
2. Background Detection Correctness Coefficient

جدول ۱. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکار سازی راه

	RCC/.	BCC/.	RMSE
TerraSAR	۶۴/۱۰	۴۶/۵۸	۰/۶۱
IKONOS	۵۷/۷۲	۹۰/۲۷	۰/۳۱



(ب)



(الف)

شکل ۵. خروجی الگوریتم پیشنهادی؛ (الف) تصویر ایکونوس، (ب) تصویر TerraSAR-X

اطراف راه‌ها به صورت corner reflector عمل می‌کنند و روشن ظاهر می‌شوند، بنابراین از نظر بافت و بازتاب کاملاً با راه‌ها متفاوت‌اند. به همین دلیل راه‌های کم‌عرض نیز به خوبی در این تصاویر مشخص و قابل استخراج‌اند و از این نظر تصاویر راداری به اپتیک برتری دارند.

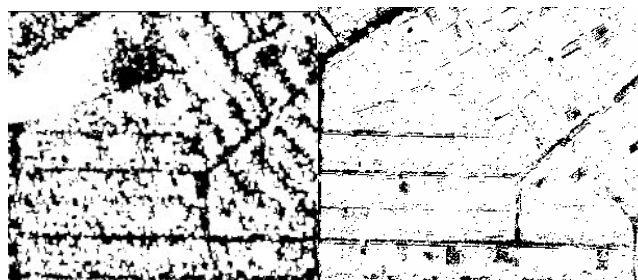
در جدول‌های ۲ تا ۴ مقایسه کمی پارامترهای ارزیابی در سه ناحیه مشخص شده در شکل ۶ انجام شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پارامتر RCC در هر سه حالت در تصویر راداری بیشتر از تصویر اپتیک است، که نشان از توان‌تر بودن تصاویر راداری در تشخیص پیکسل‌های راه در مناطق شهری با راه‌های کم‌عرض دارد.

خروجی‌ها نشان می‌دهند که به‌طور کلی تصویر اپتیک در تشخیص پیکسل‌های زمینه به‌مراتب مناسب‌تر از تصویر راداری است، ولی تصویر راداری در تشخیص پیکسل‌های راه عملکرد بهتری دارد.

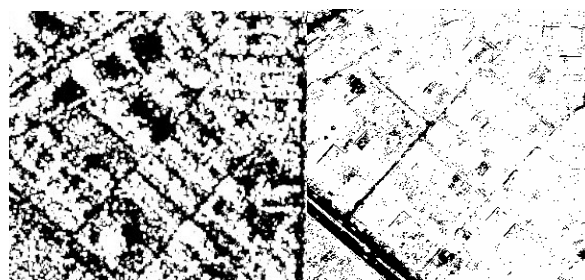
بررسی محلی نشان می‌دهد که تصاویر راداری در مناطقی بهتر از تصاویر اپتیک عمل کرده‌اند؛ به‌عنوان مثال، به دلیل وجود چندین نوع مختلف از راه با ضخامت‌های متفاوت در تصویر ورودی، تعیین ابعاد بهینه پنجره‌های مکانی برای استخراج اطلاعات بافت تصویر، به راحتی امکان‌پذیر نیست. برای حل این مشکل - که در شکل ۶ نشان داده شده است - تصاویر اپتیک در مناطق شهری در محل‌هایی که راه‌های کم‌عرض و کوچه‌ها واقع شده‌اند، به خوبی قادر به آشکارسازی راه نیستند. در مقابل، در تصاویر راداری ساختمان‌های



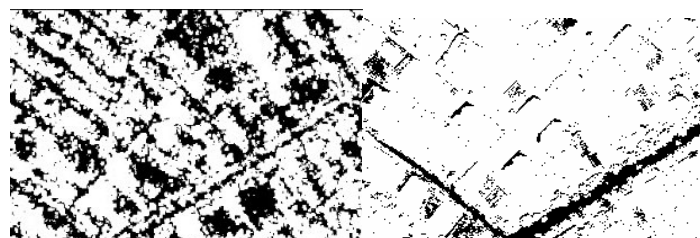
مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSAR-X و آیکنوس با استفاده از ...



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۶. مقایسه نتایج آشکارسازی راه‌های کم‌عرض در دو تصویر اپتیک و راداری

جدول ۲. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (الف)

ناحیه (الف)	RCC%	BCC%	RMSE
TerraSAR	۵۸/۸۲	۵۷/۶۹	۰/۶۰
IKONOS	۳۷/۰۸	۹۶/۳۶	۰/۳۲

جدول ۳. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (ب)

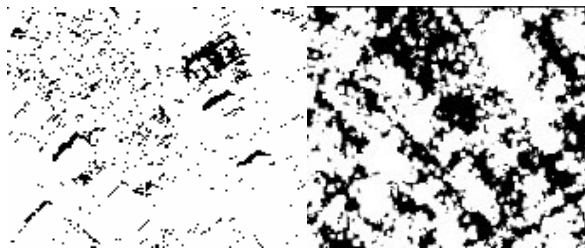
ناحیه (ب)	RCC%	BCC%	RMSE
TerraSAR	۶۳/۷۰	۴۹/۵۳	۰/۶۱
IKONOS	۳۴/۷۴	۹۶/۲۹	۰/۳۲

جدول ۴. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (ج)

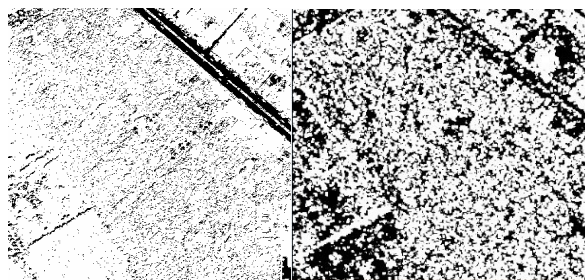
ناحیه (ج)	CRC%	BCC%	RMSE
TerraSAR	۵۸/۱۸	۵۰/۵۱	۰/۶۳
IKONOS	۲۶/۵۲	۹۷/۱۷	۰/۳۰



(د)



(و)



(ه)

شکل ۷. مقایسه نتایج الگوریتم آشکارسازی راه در مناطقی با پوشش گیاهی انبوه در دو تصویر راداری و اپتیک

شده است. همان طور که ملاحظه می شود همه پارامترها - به ویژه پارامتر BCC در تصویر اپتیک - به مراتب بهتر از تصویر راداری هستند، که نشان از توانابودن تصاویر راداری در تشخیص پیکسل های زمینه از راه در مناطقی با پوشش گیاهی دارد.

مقایسه دو الگوریتم نشان می دهد که آب در هر دو تصویر راداری و اپتیک تیره ظاهر شده است و بافتی مشابه با راه دارد، بنابراین با استفاده از اطلاعات بافت، الگوریتم قادر به تشخیص عارضه آب از راه نخواهد بود و بهتر است از پارامترهای دیگری همچون پارامترهای هندسی برای حذف عوارض آبی استفاده شود.

مطابق با شکل ۷، با توجه به اینکه پوشش گیاهی در تصاویر راداری تقریباً دارای بافتی مشابه با راه است، ظاهری تیره دارد. بنابراین تصاویر راداری در مناطقی از تصویر که پوشش گیاهی انبوه دارند، به خوبی قادر به تشخیص زمینه از راه نیستند. در مقابل، در تصاویر اپتیک پوشش گیاهی دارای بافتی متفاوت با راه است و الگوریتم در این مناطق پیکسل های زمینه را به خوبی تشخیص می دهد.

در جدول های ۵ تا ۷ مقایسه کمی پارامترهای ارزیابی در سه ناحیه مشخص شده در شکل ۷ انجام

مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSAR-X و آیکنوس با استفاده از ...

جدول ۵. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (د)

ناحیه (د)	RCC%	BCC%	RMSE
TerraSAR	۵۳/۴۸	۳۱/۳۱	۰/۸۳
SIKONO	۹۳/۰۴	۹۱/۲۴	۰/۲۹

جدول ۶. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (و)

ناحیه (و)	RCC%	BCC%	RMSE
TerraSAR	۸۴/۵۹	۴۸/۲۹	۰/۷۱
IKONOS	۸۸/۸۴	۸۹/۱۴	۰/۳۳

جدول ۷. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه (ه)

ناحیه (ه)	RCC%	BCC%	RMSE
raSARter	۳۰/۱۰	۴۶/۹۲	۰/۷۴
IKONOS	۱۶/۷۵	۹۵/۴۲	۰/۳۴

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، عارضه راه در تصاویر راداری و اپتیک با یکدیگر مقایسه شد. بدین منظور از طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی بازپس‌خور با یک لایه میانی استفاده گردید و پارامترهای بافت به‌عنوان ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از مقایسه کیفی و کمی دو الگوریتم نشان می‌دهد که هرکدام از تصاویر اپتیک و راداری نواقصی در استخراج راه دارند و بخشی از نواقص تصاویر اپتیک می‌توانند با تصاویر راداری پوشش داده شوند و برعکس. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های اپتیک به مناطقی از تصویر که دارای ویژگی‌های طیفی و بافتی مشابه با راه هستند - از جمله محل پارکینگ‌ها و سقف بام‌های بزرگ - حساس‌اند، در صورتی که این مناطق در تصاویر راداری روشن و دارای بافت متفاوتی هستند. بنابراین تصاویر راداری در مناطقی با بافت شهری توأم - به‌خصوص راه‌های کم‌عرض و کوچه‌ها - بسیار

مناسب‌اند. از طرفی دیگر، تصاویر راداری در مناطقی که پوشش گیاهی انبوه دارند، به‌خوبی عمل نمی‌کنند، در حالی که تصاویر اپتیک به‌خوبی قادر به تمایز این مناطق از راه‌ها هستند.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر و ماهیت متفاوت تصاویر راداری و اپتیک، و نقاط ضعف و قوت هریک از این منابع در استخراج راه، ارائه الگوریتم‌هایی برای تلفیق اطلاعات و استفاده از مزایای دو منبع به منظور خودکارسازی فرایند استخراج راه‌ها بسیار مؤثر و کارآمد خواهد بود. استخراج ویژگی از این دو منبع و به‌کارگیری روش مناسب برای انتخاب ویژگی‌های مکمل و تلفیق این دو در سطح ویژگی و با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده‌ای با توانایی آنالیز توأم این دو منبع - همچون شبکه‌های عصبی - به‌منظور رفع نواقص و افزایش دقت الگوریتم‌های حاضر، می‌تواند زمینه پژوهش و برنامه‌ریزی آینده باشد.

- Lee J.S., 1980, **Digital Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics**, IEEE Trans. PAMI, Vol. 2, No. 2, PP. 165-168.
- Mena, J.B., 2003, **State of the Art on Automatic Road Extraction for GIS Update: a Novel Classification**, Pattern Recognition Letters, 24, PP. 3037-58.
- Mohammadzadeh A., Tavakoli, A. and Valadan Zoej, M.J., 2006, **Road Extraction based on Fuzzy Logic and Mathematical Morphology from Pan-Sharpned IKONOS Images**, The Photogrammetric Record 21(113), PP. 44-60.
- Mohammadzadeh, A.M., 2008, **Automatic Main Road Extraction from High Resolution Satellite Imageries by Means of Self-Learning Fuzzy-GA Algorithm**, Journal of Applied Sciences, 8(19), PP. 3431-3438.
- Mohammadzadeh, A.M., 2010, **A Self Organizing Fuzzy Segmentation Method for Road Detection from High Resolution Satellite Images**, PE&RS, 76 (1), PP. 27-35.
- Mohammadzadeh, A.M., 2009, **Automatic Main Road Extraction from High Resolution Satellite Imageries by Means of Particle Swarm Optimization Applied to a Fuzzy Based Mean Calculation Approach**, IJSRS, 37, PP. 173-184.
- Mokhtarzade, M., 2008, **Integration of Textual and Spectral Information in Neural Networks for Automatic Road Extraction from High Resolution Satellite Images**, Ph.D. thesis, Department of Geomatic K.N. Toosi Universi of Technology.
- Al-Ali M., 2011, **Assessment of High Resolution SAR Imagery for Mapping Floodplain Water Bodies: A Comparison Between Radarsat-2 and TerraSAR-X**, Ph.D. thesis, Dep. of Geography Durham University.
- Bolon, P., Chanussot, J., Issa, I., Lambert, P., 1999, **Comparison of Prefiltering Operators for Road Network Extraction in SAR Images**, Proc. Of ICIP 99, 24-28, Vol. 2, PP. 924-928.
- Dekker R.S., 2008, **Road Extraction and Network Building from Synthetic Aperture, Radar Images using Apriori Information**, TNO Defence, Security and Safety, PO Box 96864, 2509 JG The Hague, The Netherlands.
- Haralick R., Shanmugam K., 1973, **Textural Features for Image Classification**, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, Vol. 3, No. 6, PP. 610-621.
- Hedman K., Wessel B., Stilla U., 2005, **A Fusion Strategy for Extracted Road Networks from Multi Aspect SAR Images**, Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universitaet Muenchen, Arcisstrasse 21, 80333 Muenchen, Germany.
- Hoheisel S., 2003, **Automated Road Extraction from Radar and Optical Imagery**, Diploma thesis, Institute of Photogrammetry and GeoInformation University of Hannover, Germany.

۵- منابع

مقایسه استخراج عارضه راه در مناطق شهری از تصاویر با حد تفکیک بالای TerraSAR-X و آیکونوس با استفاده از ...

Mokhtarzade, M. and Valadan Zoej, M.J., 2007, **Road Detection from High Resolution Satellite Images Using Artificial Neural Networks**, International journal of applied earth observation and geoinformation, 9 (1), PP. 32-40.

Tupin F., Maitre H., Mangin J.F., Nicolas J.M. and Pechersky E., 1998, **Detection of Linear Features in SAR Images: Application to Road Network Extraction**,

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 36, No. 2, PP. 434-453.

Wessel B., 2004, **Road Network Extraction from Sar Imagery Supported by Context Information Photogrammetry and Remote Sensing**, Technische universitaet Muenchen, 80290 Muenchen, Germany, org.isprs.

