

تلفیق دانش پایه تصاویر نوری و راداری با حد تفکیک بالا، به منظور استخراج عارضه راه در مناطق شهری با استفاده از اطلاعات بافت

الهه خصالی^{۱*}، محمدجواد ولدان زوج^۲، مهدی مختارزاده^۳

۱- کارشناس ارشد، ۲- دانشیار، ۳- استادیار، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی

خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۵، پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۰۸)

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، نشان دادن پتانسیل بالای استفاده توأمان از تصاویر راداری و نوری، جهت استخراج راه می‌باشد. به منظور رفع نواقص الگوریتم‌های استخراج راه، با استفاده از داده‌های تک منبعی و بهبود نتایج کشف راه، الگوریتمی هوشمند جهت تلفیق این دو منبع ارائه شده است. در این تحقیق از تصاویر آیکونوس و TerraSAR-X، استفاده گردید که ابتدا بین تصاویر، هم‌مرجع‌سازی انجام گرفت و سپس ویژگی‌های بافت برای هر یک از تصاویر، استخراج و وارد شبکه عصبی جداگانه شدند. در نهایت با قرار دادن دو فیلتر، پیکسل‌هایی که در محدوده درجات خاکستری گیاه و راه‌های باریک قرار دارند، شناسایی شده و تصمیم‌گیری در مورد ماهیت این پیکسل‌ها به ترتیب بر مبنای خروجی شبکه عصبی، تصویر نوری و راداری انجام پذیرفت. با اجرای این الگوریتم، به ترتیب مقادیر ۷۹/۴۲ درصد برای پارامتر RCC، ۹۳/۵۱ درصد برای پارامتر BCC و مقدار ۰/۲۷ برای پارامتر RMSE محاسبه شده بین خروجی الگوریتم و داده‌های مرجع، به دست آمد. خروجی حاصل از تلفیق دو منبع هم از لحاظ آماری و بصری نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد و هم در تشخیص راه‌های باریک و پیکسل‌های مربوط به زمینه، عملکرد بهتری دارد.

واژگان کلیدی: استخراج راه، تصاویر راداری، تصاویر نوری، تلفیق دانش پایه، ویژگی بافت، شبکه عصبی.

۱. مقدمه

دارد. ظهور تصاویر ماهواره‌ای با حد تفکیک مکانی بالا امکانات ویژه‌ای در استخراج راه به‌ویژه در مناطق شهری فراهم آورده است. از این‌رو استخراج اتوماتیک راه از تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای با حد تفکیک بالا، یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیقاتی حال حاضر به شمار می‌آید [۸] و [۹]. به‌طور سنتی اکثر تحقیقات مربوط به استخراج راه بر روی تصاویر نوری متمرکز شده‌اند [۸] و [۹]. لیکن معرفی سنجنده‌های راداری فضایی بزرگ مقیاس، همچون TerraSAR-X با حد تفکیک مکانی ۱ متر، نویدبخش امکان استفاده از تصاویر راداری در استخراج اتوماتیک عوارض و بهبود الگوریتم‌های موجود می‌باشد. از دیگر انگیزه‌های بهره‌گیری از تصاویر راداری می‌توان به مزایای ویژه این تصاویر از قبیل: امکان تصویربرداری در تمام طول شبانه روز و عدم وابستگی به شرایط آب و هوایی، اشاره نمود. موارد فوق، استفاده از تصاویر راداری با حد تفکیک بالا را جهت استخراج راه از مناطق شهری و تلفیق قابلیت‌های این تصاویر با تصاویر نوری بزرگ مقیاس توجیه می‌نماید.

در کشورهای بسیار صنعتی، راه‌ها مهمترین وسیله انجام وظایف و خواسته‌های جمعیت و اقتصاد در حال رشد می‌باشند. سیستم اطلاعات جغرافیایی، به منظور مدیریت کارآمد راه‌های رو به توسعه، نیاز به داده‌های برداری دارد. بدین منظور راه‌ها باید به صورت عوارض خطی استخراج شده باشند. امروزه تصاویر رقومی ماهواره‌ای نوری و راداری با حد تفکیک مکانی بالا، به عنوان منبع مناسبی برای استخراج عوارض به خصوص راه‌ها مطرحند. بنابراین استخراج عوارض از تصاویر رقومی و راداری موضوع بسیاری از تحقیقات قرار گرفته است [۱]، [۳] و [۵].

از جمله ویژگی‌های راه که به استخراج اتوماتیک آن کمک می‌کند، عبارتند از: طولانی و پیوسته بودن، داشتن انحنای کم و مرزهای موازی، اختلاف درجه خاکستری با محیط پیرامون، همگونی درجه خاکستری و بافت. وجود موانع و پیچیدگی‌های تصویر، روند استخراج راه را با مشکلات فراوانی مواجه می‌سازد. بنابراین بهبود الگوریتم‌ها، همچنان در برنامه‌های تحقیقاتی فتوگرامتری و سنجش از دور قرار

همچنین بهره‌گیری از اطلاعات بافت تصویر، به‌عنوان منبع اطلاعاتی مکمل داده‌های طیفی که در تحقیقات قبلی مؤید بهبود دقت کشف راه می‌باشد نیز در این تحقیق مورد استفاده می‌باشد.

ساختار مقاله حاضر بدین شرح است: در بخش دوم، ابتدا طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور به کمک شبکه‌های عصبی، آنالیز بافت، مدل راه در تصاویر اپتیک و راداری توضیح داده شده است، سپس مشخصات داده‌های مورد استفاده توصیف می‌شود و الگوریتم پیشنهادی برای تلفیق معرفی شده است. در بخش سوم، به ارزیابی نتایج الگوریتم پیشنهادی پرداخته شده و در نهایت در بخش چهارم، نتایج حاصل مورد بحث قرار می‌گیرد و پیشنهادهایی برای کارهای آینده ارائه شده است.

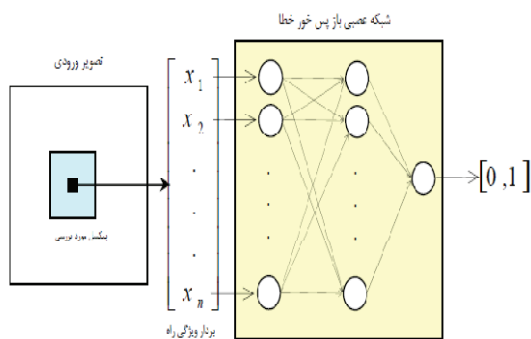
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور به کمک شبکه‌های

عصبی

می‌توان کشف راه در تصاویر را یک فرآیند ناحیه‌بندی در نظر گرفت که در آن پیکسل‌های موجود به دو کلاس راه و غیر راه طبقه‌بندی می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، جهت استفاده از شبکه‌های عصبی برای کشف راه، لایه ورودی بایستی شامل نورون‌هایی به تعداد پارامترهای ورودی طراحی شده باشد، به‌نحوی که هر نورون مسئول دریافت یک پارامتر و ارسال آن به سایر لایه‌های شبکه باشد.

لایه خروجی تنها دربرگیرنده یک نورون است که پاسخ این نورون، تصمیم شبکه عصبی را در مورد ماهیت پیکسل ورودی نشان می‌دهد. معمولاً در شبکه‌های عصبی طراحی تنها یک لایه میانی کفایت می‌کند، لیکن تعداد نورون‌های موجود در این لایه متغیر بوده و در کاربردهای مختلف، متفاوت می‌باشد. هر چه تعداد نورون‌های بیشتری در لایه میانی طراحی شود، شبکه مزبور قادر خواهد بود تا مسائل پیچیده‌تری را مدوله کند، لیکن زمان لازم جهت آموزش شبکه نیز متقابلاً افزایش خواهد یافت [۱۲].



شکل ۱. ساختار شبکه عصبی با اهداف کشف راه [۱۲]

تاکنون روش‌های متنوعی برای استخراج راه از تصاویر نوری و راداری ارائه شده است. برای استخراج راه از تصاویر راداری روش‌های زیر مورد استفاده قرار گرفته است. بافت کلی و محلی با معرفی مرز شهرها به‌عنوان نقاط اصلی [۱]، استخراج گره‌های خطی و روش بهینه‌سازی MRF^۱ [۲]، روش کشف راه، ساخت شبکه با استفاده از اطلاعات هندسی، تلفیق شبکه.

در مرحله اول از روش base line template detection استفاده شده است، که نتیجه آن یک شبکه شامل خطوط راه‌ها با ضخامت‌های مختلف می‌باشد و پس از یک مرحله باریک‌سازی، نتایج برداری شده وارد مرحله بعد می‌گردد.

در مرحله دوم برای ساخت شبکه از یک مجموعه اطلاعات، مانند ضخامت، شیب، انحناء، فاصله بین قطعات و طول راه استفاده شده است.

در مرحله سوم شبکه راه استخراج شده با شبکه‌هایی از منابع دیگر تلفیق می‌گردد [۳]. فیلترهای انطباقی غیرخطی [۴]، تصاویر راداری چندمنظوری [۵]، و الگوریتم دو مرحله‌ای برای تشخیص نظارت نشده ساختارهای خطی و محور اصلی شبکه راه‌ها [۶] از جمله تحقیقات صورت گرفته در این حوزه می‌باشد.

در سال ۲۰۰۳ در تحقیقی ضمن بررسی اصول کلی حاکم بر روش‌های استخراج راه، روش‌های اتوماتیک استخراج راه از تصاویر اپتیک را بر حسب تکنیک مورد استفاده، طبقه‌بندی نموده است. در تحقیق مذکور جهت‌گیری الگوریتم‌ها به سوی روش‌های هوشمند و بهره‌گیری حداکثری از منابع مختلف داده به‌عنوان دیدگاه‌های مطرح معرفی شده است [۷].

محمدزاده روشی بهینه برای استخراج عارضه راه با کمک سیستم استنتاج فازی و توابع مورفولوژی و سیستم‌های خود سازمانده، ارائه کرده است [۸، ۹، ۱۰ و ۱۱]. مختارزاده روشی جدید جهت استفاده از اطلاعات بافت تصویر به‌منظور بهبود عملکرد شبکه‌های عصبی در اهداف کشف راه، ارائه و پیاده‌سازی کرد. اطلاعات بافت تصویر در حالات مختلف از تصویر اصلی و شبکه رستری راه‌های کشف شده استخراج و به شبکه عصبی معرفی گردیده است.

با ارزیابی نتایج حاصل از نقطه 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 و به‌عنوان دستاورد اصلی تحقیق ارائه گردیده است [۱۲]. نتایج حاصل به روشنی اهمیت استفاده از اطلاعات بافت در تفسیر تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

با بررسی الگوریتم‌های مختلف استخراج راه، بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی به‌عنوان یکی از ابزارهای موفق هوش مصنوعی نتایج رضایت‌بخشی به همراه داشته است [۱۲]. از این رو در تحقیق حاضر نیز استفاده از این ابزار جهت تلفیق تصاویر نوری و راداری به‌منظور استخراج راه در برنامه کار قرار گرفته است.

^۱ Markov Random Field

۲-۲. آنالیز بافت

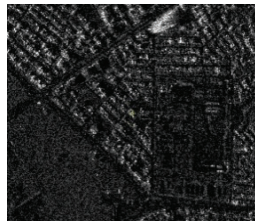
انتخاب الگوریتم مناسب و یا انطباق پارامترهای استخراج کمک کننده باشد. در تصاویر راداری با حد تفکیک بالا اشیاء و موانع اطراف راه‌ها، مانند علائم ترافیکی و پل‌ها، تأثیر مستقیم می‌گذارند و مدل کردن بافت محلی در این تصاویر ضروری می‌باشد.

۲-۴. مشخصات داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهر شیراز واقع در بخش مرکزی استان فارس در جنوب ایران و در منطقه کوهستانی زاگرس می‌باشد. ارتفاع این شهر 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 کیلومتر مربع است. داده مورد استفاده 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 می‌باشد، که در تاریخ ۳۱ دسامبر سال ۲۰۱۱ گرفته شده است. منطقه مطالعاتی با ابعاد ۸۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل انتخاب گردید. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود این منطقه، انواع راه‌ها را با ضخامت‌های مختلف در برمی‌گیرد و برای اجرای الگوریتم بسیار مناسب می‌باشد.



(الف) (ب)



(ج)

شکل ۲. داده‌های منطقه مورد مطالعه

(الف) تصویر آیکونوس، (ب) تصویر TerraSAR-X با پلاریزاسیون HH، (ج)

تصویر TerraSAR-X با پلاریزاسیون VV

جهت امکان ارزیابی نتایج، قبل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، در اولین گام، یک تصویر باینری از شبکه فرانس راه توسط عامل انسانی، ایجاد گردید. در این تصویر، کلیه پیکسل‌های راه با عدد ۱ و پیکسل‌های زمینه با عدد ۰ مقداردهی شدند. این تصویر که با عنوان Reference Map شناخته می‌شود، جهت برآورد پارامترهای ارزیابی دقت و کیفیت نتایج حاصل کاربرد دارد، در شکل ۳ نمایش داده شده است که در آن راه‌ها با خطوط سیاه رنگ مشخص شده‌اند.

آنالیز بافت، یکی از رایج‌ترین روش‌های ایجاد توصیف‌گرهای عوارض سطحی، در تصاویر رقومی می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت تمایز بین اشیاء مختلف موجود در تصویر مورد استنباط قرار گیرد. در اجرای روند آنالیز بافت تصویر، روابط درجات خاکستری بین پیکسل مورد بررسی و پیکسل‌های همسایه آن مورد تجزیه تحلیل واقع شده و سپس یک یا چند معیار مشخص و تعریف شده از اطلاعات بافت برای آن منطقه محاسبه می‌شود.

روش‌های آماری که ویژگی‌های بافت نظیر نرمی، زبری، سختی و... را توصیف می‌کنند، رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در آنالیز بافت تصاویر ماهواره‌ای به حساب می‌آیند [۱۲]. پر استفاده‌ترین روش‌های آنالیز آماری بافت به شرح زیر می‌باشد:

- توصیف‌گرهای آماری مرتبه اول (استفاده از هیستوگرام یک بعدی)
- توصیف‌گرهای آماری مرتبه اول براساس هیستوگرام تصویر و یا به‌عبارت دیگر، براساس احتمال رخداد درجات خاکستری در سطح تصویر، اقدام به برآورد پارامترهای مختلف می‌کنند.
- توصیف‌گرهای آماری مرتبه دوم براساس ماتریس رخداد توأم^۱ روش ماتریس رخداد توأم درجات خاکستری، رایج‌ترین روش آماری آنالیز بافت است که نه تنها توزیع درجات خاکستری را در نظر می‌گیرد، بلکه موقعیت پیکسل‌ها را نیز نسبت به یکدیگر لحاظ می‌کند. جهت بیان موقعیت نسبی یک زوج پیکسل از همدیگر، می‌توان از دو پارامتر فاصله (d) و توجیه (φ) استفاده نمود. پارامتر فاصله، بیانگر اختلاف مکانی پیکسل‌های مورد بررسی و پارامتر توجیه جهت این اختلاف مکانی را نشان می‌دهد. جزئیات بیشتر در این باره را در [۱۳] جستجو کنید.
- پس از تشکیل ماتریس رخداد توأم در منطقه از قبل تعیین شده و براساس پارامترهای معین φ و d می‌توان اقدام به محاسبه پارامترهای بافت برای هر یک از پیکسل‌های تصویر نمود.

۲-۳. مدل راه در تصاویر نوری و راداری

در تصاویر اپتیک با حد تفکیک بالا، راه‌ها به‌صورت سطوح مستطیلی کشیده با طول بلند، دارای بافتی منظم و یکنواخت و از نظر طیفی متفاوت با زمینه تصویر ظاهر می‌شوند [۱۴].

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

^۱ Co-Occurrence Matrix

برای آموزش شبکه، تعداد ۲۰۰۰ پیکسل آموزشی به صورت تصادفی ولی با توزیع همگن از تصویر در نظر گرفته شد که از این بین، تعداد ۱۰۰۰ پیکسل آموزشی برای کلاس راه و ۱۰۰۰ پیکسل آموزشی برای کلاس غیرراه انتخاب شده‌اند. در پیاده‌سازی این شبکه عصبی مصنوعی، از نرخ آموزش و پارامتر اینرسی تطابق‌پذیر استفاده شد. تعداد نورون‌های لایه‌های ورودی و میانی، نرخ آموزش، پارامتر اینرسی و ساختار شبکه عصبی، از جمله مواردی است که باید تعیین گردد تا مناسب‌ترین پاسخ از شبکه دریافت گردد. با توجه به اینکه استخراج راه دارای پیچیدگی خاصی نمی‌باشد، تنها از یک لایه میانی استفاده شد. نورون‌های لایه ورودی، به تعداد ویژگی‌های منتخب می‌باشد که در مورد تصاویر TerraSAR-X ۶ نورون و در تصویر اپتیک ۶ نورون می‌باشد.

برای لایه میانی تعداد نورون‌ها ۱۰، ۱۵ و ۲۰ انتخاب و ملاحظه گردید که بهترین نتایج مربوط به انتخاب ۲۰ نورون در لایه میانی می‌باشد. پس چون این مسئله پیچیدگی خاصی ندارد و تنها دو کلاس راه و زمینه دارد و از آنجایی که تعداد نورون بیشتر، پیچیدگی و زمان محاسباتی را بالا می‌برد، لزومی به استفاده از تعداد نورون بیشتر نمی‌باشد. لایه خروجی هم شامل یک نورون می‌باشد که پاسخ شبکه عصبی برای پیکسل‌های راه، ۰ و برای پیکسل‌های زمینه، ۱ می‌باشد.

در این تحقیق قصد داریم دو منبع را مقایسه و نقاط قوت و ضعف هر یک را بررسی کنیم تا بتوانیم الگوریتمی تلفیقی در جهت رفع نقاط ضعف هر یک ارائه دهیم. بنابراین ابتدا دو شبکه عصبی جداگانه برای هر یک از تصاویر طراحی گردید. پس از این که هر یک از دو شبکه عصبی توسط داده‌های آموزشی، مورد آموزش قرار گرفت، برای بقیه پیکسل‌ها، فراخوانی و اجرا خواهد شد. خروجی هر یک از دو الگوریتم که برای دو تصویر راداری و نوری طراحی شدند، به صورت شبکه‌های کشف شده می‌باشد و عددی بین صفر و یک است. تصمیم‌گیری نهایی در مورد راه یا زمینه بودن هر پیکسل به صورت فازی می‌باشد؛ بدین صورت که مقادیر بیشتر از ۰/۵ به سمت ۱ و مقادیر کمتر از ۰/۵ به سمت صفر رند می‌شوند.

گیاهان در تصویر راداری دارای بافت تقریباً مشابهی با راه هستند که در شکل ۴ می‌توان این شباهت را به وضوح دید؛ بنابراین آنها به عنوان راه استخراج می‌گردند، اما در تصویر نوری بافت گیاه کاملاً متفاوت با راه بوده و به خوبی پیکسل‌های گیاه از راه تشخیص داده می‌شوند.

روش تلفیق بدین صورت است که با قرار دادن فیلتر گیاه - که از روی مقادیر درجات خاکستری تصویر، اقدام به شناسایی پیکسل‌های گیاه می‌کند - تصمیم‌گیری در مورد این پیکسل‌ها را بر عهده تصویر نوری می‌گذاریم و در واقع خروجی شبکه عصبی مربوط به تصویر نوری در مورد این پیکسل‌ها، تعیین‌کننده ماهیت پیکسل مورد نظر خواهد بود.



شکل ۳. شبکه راه‌های استخراج شده توسط عامل انسانی مورد استفاده در ارزیابی دقت و کیفیت نتایج کشف 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 فلوچارت الگوریتم پیشنهادی که در شکل ۴ ارائه شده است، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم از جمله هم‌مرجع‌سازی میان دو تصویر انجام می‌پذیرد. این مرحله با استفاده از نرم‌افزار Geomatica PCI انجام پذیرفت، با توجه به اینکه در این تحقیق تنها از دامنه تصویر راداری استفاده می‌شود، حذف نویز اسپیکل تأثیر بسزایی در داده ندارد و باعث از دست دادن اطلاعات مکانی می‌گردد، بنابراین 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 [۱۵] بهترین پارامترهای بافت در استخراج راه از تصاویر اپتیک، توصیف‌گرهای آماری مرتبه اول، شامل چهار پارامتر کنتراست، انترپی، همگنی و انرژی می‌باشند که در مورد تصویر آیکونوس این چهار پارامتر در یک پنجره ۳ در ۳ محاسبه شده و به همراه باندهای طیفی شامل سه باند قرمز، سبز و آبی، به شبکه عصبی معرفی شده‌اند.

با تحقیقاتی که صورت پذیرفت و با توجه به تحقیق Al-Ali در سال ۲۰۱۱، استخراج توصیف‌گرهای آماری مرتبه دوم در تصاویر TerraSAR-X نمی‌تواند در طبقه‌بندی آب مؤثر باشد و با توجه به شباهت دو عارضه آب و راه در تصاویر راداری، مشاهده گردید که این ویژگی‌ها برای طبقه‌بندی راه نیز مناسب نبوده و نتیجه درستی ارائه نمی‌دهد [۱۶]؛ بنابراین از توصیف‌گرهای آماری مرتبه اول استفاده شد.

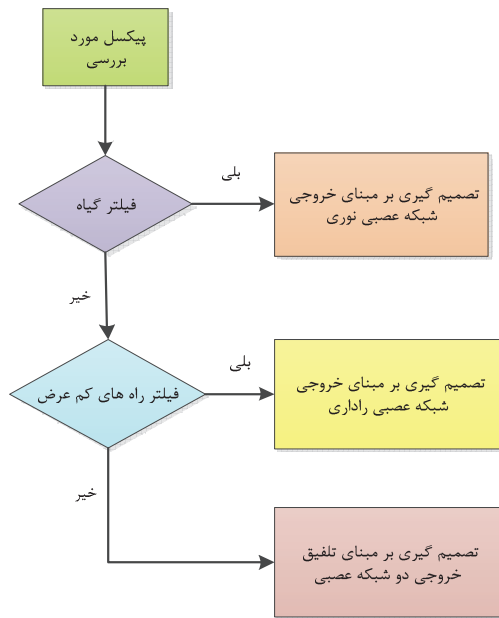
در مورد تصاویر TerraSAR-X دو ویژگی Data range و Mean مفید می‌باشند. این دو پارامتر از هر کدام از دو پلاریزاسیون استخراج و در کنار دامنه تصاویر در دو پلاریزاسیون در استخراج راه استفاده گردید. پس از مرحله انتخاب ویژگی، ویژگی‌های انتخاب شده وارد طبقه‌بندی کننده می‌شوند. در این تحقیق از شبکه عصبی مصنوعی بازپس‌خور خطا^۱ با یک لایه میانی استفاده شد.

^۱ Back Propagation Neural Network

بنابراین تصمیم‌گیری در مورد پیکسل‌هایی را که از این فیلتر رد می‌شوند به عهده تصویر راداری گذاشته و از روی خروجی شبکه عصبی مربوط به تصویر رادار، در مورد ماهیت آن تصمیم‌گیری می‌شود و در نهایت اگر پیکسلی شامل هیچ‌یک از این موارد نباشد و گیاه و راه کم عرض، تشخیص داده نشود، در مورد ماهیت آن پیکسل بر مبنای تلفیق خروجی دو شبکه عصبی تحت شبکه عصبی سوم تصمیم گرفته می‌شود. بدین صورت که خروجی دو شبکه عصبی اول، به عنوان ورودی به شبکه عصبی سوم معرفی می‌گردند. روند تلفیق دانش پایه در شکل ۶ نشان داده شده است.

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 BCC، RCC و RMSE انجام گرفت. به این منظور، در اولین گام، یک تصویر باینری از شبکه فرانس راه که توسط عامل انسانی تهیه می‌شود، ایجاد می‌گردد. در این تصویر، کلیه پیکسل‌های راه با عدد ۱ و پیکسل‌های زمینه با عدد ۰ مقداردهی می‌شوند.



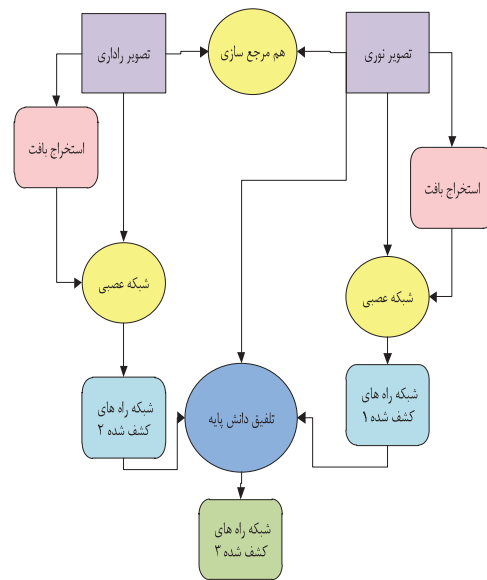
شکل ۶. روند تلفیق دانش پایه

با ضرب نظریه‌نظیر درایه‌های ماتریس خروجی در تصویر باینری پیش گفته و محاسبه میانگین حاصل ضرب‌های فوق، معیاری با عنوان "ضریب صحت کشف راه" حاصل می‌گردد. معیار RCC^۱ را می‌توان به عنوان معیاری از میانگین توانایی شبکه عصبی در تشخیص پیکسل‌های راه موجود در تصویر به حساب آورد. با معکوس کردن مقادیر مربوط به تصویر باینری حاصل از شبکه برداری فرانس و تکرار عملیات تشریح شده جهت محاسبه RCC، معیاری مشابه با عنوان "ضریب صحت کشف زمینه" به دست می‌آید.

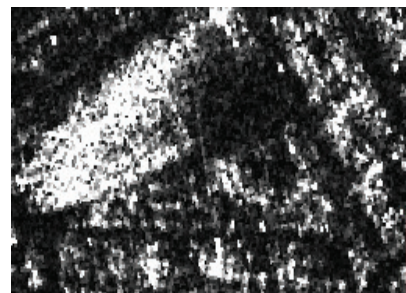
عملکرد فیلتر گیاه بدین صورت است که با توجه به بازتاب طیفی پیکسل‌های گیاه در تصویر نوری و مقادیر درجات خاکستری گیاه در این تصویر، پس از آنکه درجات خاکستری پیکسلی در این محدوده قرار گرفت، تصمیم‌گیری در مورد ماهیت آن پیکسل را به عهده تصویر نوری می‌گذارد.

همچنین راه‌های باریک در تصویر نوری، بافت متفاوتی نسبت به راه‌های عریض دارند و در اکثر مناطق، این تصاویر قادر به تشخیص این پیکسل‌ها از پیکسل‌های زمینه نخواهند بود. در حالی که در تصویر رادار به دلیل Corner Reflector بودن گوشه ساختمان‌های اطراف، حتی باریک‌ترین راه‌ها دارای بافتی مشابه با راه‌های عریض بوده و قابل تشخیص می‌باشند.

بر اساس نمونه‌برداری از پیکسل‌های راه باریک، محدوده‌ای برای مقادیر درجه خاکستری این پیکسل‌ها در سه باند طیفی تعیین و به صورت فیلتری برای سایر پیکسل‌ها تعریف می‌گردد.

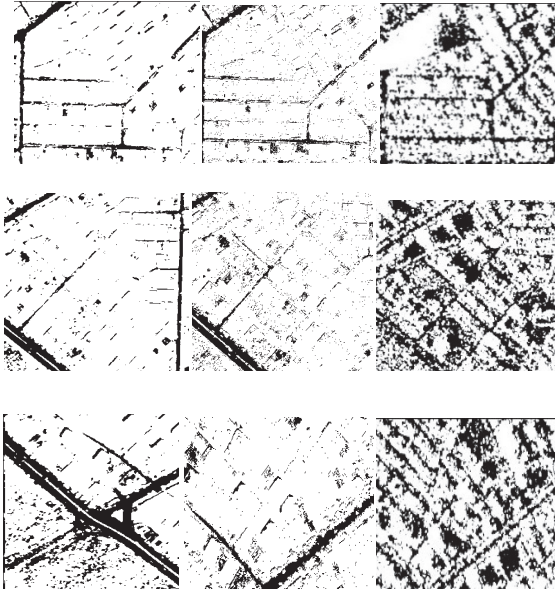


شکل ۴. فلوچارت روش پیشنهاد شده در پژوهش حاضر



شکل ۵. شباهت بافت عارضه راه در سمت راست و چپ تصویر و گیاه در وسط تصویر

^۱ Road Detection Correctness Coefficient



شکل ۸. مقایسه نتایج کشف راه‌های کم عرض به ترتیب از سمت راست به چپ، در الگوریتم‌های مربوط به تصویر راداری، الگوریتم مربوط به تصویر نوری و الگوریتم تلفیق

جدول ۲. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۱

| ناحیه ۱ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| TerraSAR | ۵۸/۸۲ | ۵۷/۶۹ | ۰/۶۰ |
| IKONOS | ۳۷/۰۸ | ۹۶/۳۶ | ۰/۳۲ |
| تلفیق دانش‌پایه | ۵۱/۲۰ | ۹۴/۰۱ | ۰/۳۱ |

جدول ۳. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۲

| ناحیه ۲ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| rraSARTe | ۶۳/۷۰ | ۴۹/۵۳ | ۰/۶۱ |
| IKONOS | ۳۴/۷۴ | ۹۶/۲۹ | ۰/۳۲ |
| تلفیق دانش‌پایه | ۵۱/۳۱ | ۹۵/۲۰ | ۰/۲۹ |

جدول ۴. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۳

| ناحیه ۳ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| TerraSAR | ۵۸/۱۸ | ۵۰/۵۱ | ۰/۶۳ |
| IKONOS | ۲۶/۵۲ | ۹۷/۱۷ | ۰/۳۰ |
| تلفیق دانش‌پایه | ۵۴/۶۵ | ۹۴/۵۰ | ۰/۳۲ |

پارامتر BCC^۱ معیاری جهت نمایش نحوه عملکرد شبکه عصبی در تمایز و تشخیص پیکسل‌های زمینه راه به حساب می‌آید. به عبارت دیگر BCC را می‌توان به عنوان درصد عملکرد صحیح شبکه عصبی در تمایز پیکسل‌های زمینه از پیکسل‌های راه در نظر گرفت.

پارامتر RMSE را می‌توان به عنوان معیاری از قابلیت عمومی شبکه عصبی در کشف اتوماتیک راه تفسیر نمود. 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، به عنوان مقادیر خطا در نظر گرفته شد [۱۲]. خروجی حاصل از اجرای الگوریتم در شکل ۷ نشان داده شده است. همچنین نتایج ارزیابی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲ تا ۴ به مقایسه کمی پارامترهای ارزیابی در سه ناحیه مشخص شده در شکل ۸ می‌پردازد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، راه‌های باریک در الگوریتم تلفیقی با شبکه عصبی به مراتب بهتر استخراج شده‌اند.

همچنین از مقایسه نتایج آماری حاصل از اجرای الگوریتم در هر یک از این نواحی با مقادیری که از تصویر نوری و راداری به‌طور جداگانه به دست آمده بود، ملاحظه می‌گردد که مقادیر RCC در این نواحی بهبود یافته و در واقع الگوریتم تلفیقی، موفق عمل نموده و از مزایای تصویر راداری برای رفع نواقص تصویر نوری به‌خوبی بهره‌برداری شده است. مقادیر بهبود یافته در جداول پررنگ شده‌اند.

جدول ۱. پارامترهای ارزیابی الگوریتم تلفیقی با دانش کارشناسی

| نورون شبکه عصبی سوم | نورون تصویر نوری | نورون تصویر راداری | RCC% | BCC% | RMSE |
|---------------------|------------------|--------------------|-------|-------|------|
| ۵ | ۲۰ | ۱۵ | ۷۵/۴۷ | ۹۳/۷۴ | ۰/۲۸ |
| ۵ | ۲۰ | ۲۰ | ۷۹/۴۲ | ۹۳/۵۱ | ۰/۲۷ |
| ۵ | ۱۵ | ۲۰ | ۷۵/۱۸ | ۹۱/۹۵ | ۰/۳۱ |
| ۵ | ۱۰ | ۱۰ | ۷۲/۱۹ | ۹۰/۸۰ | ۰/۳۲ |



شکل ۷. خروجی الگوریتم پیشنهادی

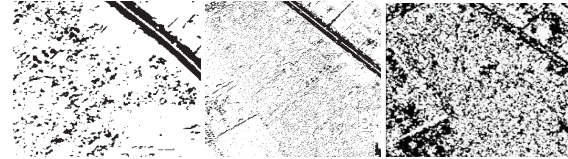
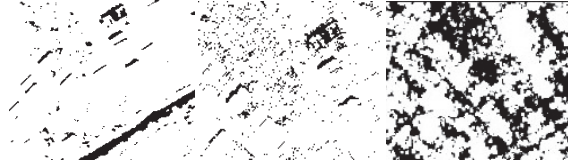
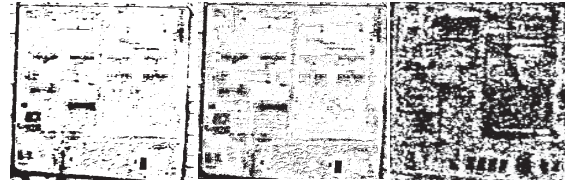
^۱ Background Detection Correctness Coefficient

جدول ۶. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۵

| ناحیه ۵ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| TerraSAR | ۳۰/۱۰ | ۴۶/۹۲ | ۰/۷۴ |
| IKONOS | ۱۶/۷۵ | ۹۵/۴۲ | ۰/۳۴ |
| تلفیق دانش‌بایه | ۹۵/۶۱ | ۸۸/۱۲ | ۰/۳۴ |

جدول ۷. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۶

| ناحیه ۶ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| TerraSAR | ۳۰/۱۰ | ۴۶/۹۲ | ۰/۷۴ |
| IKONOS | ۱۶/۷۵ | ۹۵/۴۲ | ۰/۳۴ |
| تلفیق دانش‌بایه | ۵۸/۷۴ | ۹۴/۸۳ | ۰/۲۳ |



شکل ۹. مقایسه نتایج الگوریتم کشف راه در مناطقی با پوشش گیاهی انبوه، به ترتیب از سمت راست به چپ در الگوریتم‌های مربوط به تصویر راداری، الگوریتم مربوط به تصویر نوری و الگوریتم تلفیق

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش به تلفیق تصاویر راداری و نوری برای استخراج راه پرداخته شد. بدین منظور از طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی بازپس‌خور خطا، با یک لایه میانی استفاده گردید و پارامترهای بافت به‌عنوان ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم نشان می‌دهد که بخشی از نواقص موجود در تصاویر اپتیک می‌توانند با تصاویر راداری پوشش داده شوند و بالعکس. به‌عنوان مثال، الگوریتم‌های نوری به مناطقی از تصویر که دارای ویژگی‌های طیفی و بافتی مشابه با راه می‌باشند، از جمله محل پارکینگ‌ها و سقف‌های بزرگ حساس هستند، در صورتی‌که این مناطق در تصاویر راداری روشن ظاهر شده و دارای بافت متفاوتی باشند، تصاویر راداری در مناطقی با بافت شهری توأم به‌خصوص راه‌های کم‌عرض و کوچه‌ها، بسیار مناسب می‌باشند. از طرفی دیگر، تصاویر راداری در مناطقی که دارای پوشش گیاهی انبوه هستند، به‌خوبی عمل نمی‌کنند، در حالی‌که تصاویر اپتیک به‌خوبی قادر به تمایز این مناطق از راه‌ها هستند. خروجی حاصل از تلفیق دو منبع از لحاظ آماری و بصری، نتایج به مراتب بهتری را ارائه می‌دهد و هم در تشخیص راه‌های باریک و هم پیکسل‌های مربوط به زمینه، عملکرد بهتری دارد. پیکسل‌های مربوط به گیاه که در تصویر راداری به‌عنوان راه تشخیص داده می‌شدند در الگوریتم‌های تلفیقی به‌درستی طبقه‌بندی شدند. راه‌های باریک که در تصویر نوری به‌خوبی تشخیص داده نمی‌شدند، در این الگوریتم‌های تلفیقی به‌خوبی استخراج گردیدند. بعد از پیاده‌سازی الگوریتم ارائه‌شده، مقادیر ۷۹/۴۲ درصد برای پارامتر RCC، ۹۳/۵۱ درصد برای پارامتر BCC و مقدار ۰/۲۷ برای پارامتر RMSE به‌دست آمد.

جدول ۵ تا ۷ به مقایسه کمی پارامترهای ارزیابی در سه ناحیه مشخص شده در شکل ۹ می‌پردازد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، پیکسل‌های زمینه در الگوریتم تلفیقی با شبکه عصبی به مراتب بهتر استخراج شده‌اند. همچنین از مقایسه نتایج آماری حاصل از اجرای الگوریتم در هر یک از این نواحی با مقادیری که از تصویر نوری و راداری به‌طور جداگانه به‌دست آمده بود، مشاهده می‌شود که مقادیر BCC در این نواحی بهبود یافته و در واقع الگوریتم تلفیقی موفق عمل نموده و از مزایای تصویر نوری برای رفع نواقص تصویر راداری به‌خوبی بهره‌جویی شده است. این مقادیر بهبود یافته شده در جدول به‌صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

همچنین از مقایسه دو الگوریتم این نتیجه حاصل شد که آب در هر دو تصویر راداری و اپتیک تیره ظاهر شده 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 نمود.

جدول ۵. پارامترهای ارزیابی الگوریتم آشکارسازی راه در ناحیه ۴

| ناحیه ۴ | RCC% | BCC% | RMSE |
|-----------------|-------|-------|------|
| TerraSAR | ۵۳/۴۸ | ۳۱/۳۱ | ۰/۸۳ |
| IKONOS | ۹۳/۰۴ | ۹۱/۲۴ | ۰/۲۹ |
| تلفیق دانش‌بایه | ۹۶/۰۲ | ۹۰/۷۴ | ۰/۳۰ |

۵. مراجع

- [9] Mohammadzadeh, A. M., Automatic Main Road Extraction from High Resolution Satellite Imageries by Means of Self-Learning Fuzzy-GA Algorithm. *Journal of Applied Sciences*, 8(19):3431-3438, 2008.
- [10] Mohammadzadeh, A. M., A Self Organizing Fuzzy Segmentation Method for Road Detection from High Resolution Satellite Images. *PE&RS*, 76 (1): 27-35, 2010.
- [11] Mohammadzadeh, A. M., Automatic Main Road Extraction from High Resolution Satellite Imageries by Means of Particle Swarm Optimization Applied to a Fuzzy Based Mean Calculation Approach. *IJSRS*, 37:173-184, June 2009.
- [12] Mokhtarzade, M., Integration of Textural and Spectral Information in Neural Networks for Automatic Road Extraction from High Resolution Satellite Images, PHD thesis, Department of Geomatics KNTU University of Technology, 2008.
- [13] Haralick, R., Shanmugam, K., Textural features for image classification. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. Vol.3.No.6, pp.610-621, 1973.
- [14] Hoheisel, S., Automated Road extraction from radar and optical imagery, diploma thesis, Institute of Photogrammetry and GeoInformation University of Hannover, Germany, 2003.
- [15] Mokhtarzade, M., Valadan Zoj. M.J., Road detection from high resolution satellite images using artificial neural networks, *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 9 (1), 32-40, 2007.
- [16] Al-Ali, M., Assessment of high resolution SAR imagery for mapping floodplain water bodies: a comparison between Radarsat-2 and TerraSAR-X, PHD thesis, Department of Geography Durham University, 2011.
- [1] Wessel, B., Road network extraction from SAR imagery supported by context information Photogrammetry and remote sensing, Technische universitaet Muenchen, 80290 Muenchen, Germany, 2004.
- [2] Lee, J. S., Digital enhancement and noise filtering by use of local statistics, *IEEE Trans. PAMI*, V01.2 No. 2, pp.165-168, 1980.
- [3] Rob J. Dekker, 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, 2008.
- [4] Bolon, P., Chanussot, J., Issa, I., Lambert, P., Comparison of prefiltering operators for road network extraction in SAR images. *Proc. Of ICIP 99*, 24-28, Vol. 2, pp. 924-928, 1999.
- [5] Hedman, K., Wessel, B., Stilla, U., A fusion strategy for extracted road networks from multi aspect SAR images. *Photogrammetry and Remote Sensing*, Technische Universitaet Muenchen, Arcisstrasse 21, 80333 Muenchen, Germany, 2005.
- [6] Tupin, F., Maitre, H., Mangin, J. F., Nicolas, J. M., and Pechersky, E., 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, 1998.
- [7] Mena, J. B., "State of the art on automatic road extraction for GIS update: a novel classification" *Pattern Recognition Letters*, 24 3037-58, 2003.
- [8] Mohammadzadeh, A., Tavakoli, A., Valadan Zoj. M.J., Road Extraction Based on Fuzzy Logic and Mathematical Morphology from Pan-Sharpned IKONOS Images, *The Photogrammetric Record* 21(113), 44-60, 2006.