



شناسایی ساختمان در مناطق شهری با استفاده از تلفیق ویژگی‌های تصاویر نوری و راداری در شبکه‌های عصبی

مریم تیموری^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، محمدجواد ولدان زوج^۳

۱- کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور-دانشکده مهندسی نقشه برداری-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استاد دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک- دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۵/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

چکیده

در این مقاله، تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با گشودگی ترکیبی (SAR) باهدف شناسایی ساختمان تلفیق شده‌اند. این تلفیق به منظور رفع نواقص و ضعف‌های مجموعه داده‌های تک منبعی می‌باشد. به همین منظور ابتدا سه مجموعه داده به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته است که از برخی ویژگی‌های ورودی پیشنهادی برای شناسایی ساختمان استفاده شده است. سپس این ویژگی‌ها در ترکیب‌های مختلف با یکدیگر تلفیق شده و نتایج مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در تمامی بررسی‌ها، شبکه عصبی مصنوعی اعمال شده و عملکرد آن‌ها در پوشش‌های مختلف سقف‌های ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که روش بهینه تلفیق شناسایی ساختمان‌ها، بیش از ۱۰٪ ضریب کاپا را افزایش می‌دهد. همچنین استراتژی تلفیق پیشنهادی منجر به حداقل ۸ برابر بهتر شدن همگنی نتایج شناسایی شده در انواع مختلف سقف شده است. بنابراین نتایج حاصل از روش پیشنهادی با دقت کلی، ضریب کاپا و دقت شناسایی ساختمان به ترتیب ۸۷.۱۱٪ و ۶۷.۹۹٪ و ۸۹.۰۸٪ مؤید توانایی این روش در شناسایی ساختمان داده‌های چند منبعی اپتیک و رادار می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شناسایی ساختمان، تلفیق، تصویر رادار، تصویر نوری، شبکه‌های عصبی

*نویسنده مسئول: مریم تیموری، آدرس پستی: تهران - خ ولیعصر - تقاطع میرداماد - دانشکده مهندسی نقشه برداری، کدپستی: ۱۵۴۲۳-۱۹۹۶۷، تلفن ۰۲۱۸۸۸۷۷۰۷۱

Email: mteimouri@mail.kntu.ac.ir

۱- مقدمه

به منظور مدیریت هرچه بهتر مناطق شهری و روستایی، داشتن اطلاعات دقیق و به هنگام از ساختمان‌ها مورد نیاز است. استخراج دستی ساختمان‌ها نیازمند اپراتورهای ماهر، افزایش زمان و هزینه است. به همین دلیل، در چند دهه اخیر رویکرد اتوماتیک سازی استخراج ساختمان از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است. برخی از الگوریتم‌های شناسایی و استخراج ساختمان برای منابع مختلف داده گسترش یافته است که تصاویر نوری، لیدار و رادار رایج ترین آن‌ها است. منابع مختلف داده مزایایی در موقعیت‌های مختلف فراهم می‌کنند. باین وجود، آن‌ها هنوز از مشکلاتی از قبیل سایه، انسداد، ناهمگونی سقف ساختمان‌ها و شباهت‌های طیفی عوارض شهری رنج می‌برند. اما وجود ویژگی‌های منحصربه‌فرد منابع مختلف داده، ایده‌ای برای به کارگیری مزایای هر منبع و بهبود نتایج به وسیله ترکیب آن‌ها ایجاد می‌کند. همچنین با توجه به بهبود چشمگیری که در قدرت تفکیک مکانی تصاویر نوری و راداری رخ داده است، این تحقیق بر تلفیق داده‌های موجود از این سنجنده‌ها به منظور شناسایی عارضه ساختمان متمرکز شده است.

تصاویر نوری یک منبع غنی از اطلاعات برای شناسایی و استخراج ساختمان فراهم می‌کنند. اطلاعات طیفی و بافت عموماً باهدف شناسایی اطلاعات لبه برای استخراج مرزهای ساختمان استفاده می‌شود. ژانگ در سال ۱۹۹۹ در تحقیقی با استفاده از اطلاعات طیفی و بافت به شناسایی ساختمان پرداخته است. در تحقیق مذکور، ابتدا اقدام به شناسایی پیکسل‌های مناطق مسکونی براساس اطلاعات طیفی شد. سپس با استخراج اطلاعات بافت تصویر از نتایج اولیه کشف ساختمان، اقدام به ناحیه بندی مجدد، ناحیه اولیه کرد. در ادامه ضمن تلفیق نتیجه حاصل از کشف مناطق مسکونی، توسط اطلاعات بافت و طیف به بهبود نتایج اقدام کرد [۱]. بندیکسون و همکاران در سال ۲۰۰۳ به

استخراج ویژگی و طبقه بندی تصاویر پانکروماتیک با به کارگیری توابع مورفولوژی و شبکه عصبی پرداختند [۲]. همچنین در سال ۲۰۰۳، شکلفورد و همکارانش روشی با استفاده از روش‌های لبه مبنا و شیء مبنا برای طبقه بندی تصاویر پن شارپند^۱ ارائه دادند. در تحقیق مذکور ابتدا توسط یک طبقه بندی کننده پیکسل مبنا اقدام به طبقه بندی تصویر کردند. سپس تصویر، بخش بندی شده و ویژگی‌ها از تصویر بخش بندی شده استخراج شدند. در نهایت نتایج طبقه بندی توسط یک طبقه بندی کننده پیکسل مبنای فازی بهبود داده شد [۳]. در سال ۲۰۰۵، جین و همکارانش روشی بر مبنای مشخصات مورفولوژیکی دیفرانسیل به استخراج ساختمان از تصاویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا ارائه دادند [۴]. در تحقیق ارائه شده توسط میانگا و همکاران در سال ۲۰۰۷، به ارائه روشی نیمه اتوماتیک به منظور استخراج ساختمان از تصاویر پانکروماتیک با استفاده از الگوریتم‌های منحنی فعال و ردیال کاستینگ پرداخته شد [۵]. در سال ۲۰۱۲، تورلپتی و همکارانش، روشی ترکیبی در استخراج سه بعدی ساختمان با در نظر گرفتن تصاویر ماهواره‌ای ورد و یو-۲^۲ با زوایای زوایای دید متفاوت را پیشنهاد دادند. آن‌ها در روش پیشنهادی شان با استفاده از تناظریابی الگو بر تصویر پن شارپند به استخراج ارتفاع نسبی ساختمان‌ها پرداختند. سپس از طبقه بندی کننده بردار پشتیبان برای استخراج ساختمان‌ها استفاده کردند [۶]. ژائو و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۲، با استفاده از عملگرهای ریاضی به بازسازی سه بعدی ساختمان پرداختند [۷]. در سال ۲۰۱۵، وانگ و همکاران روشی جهت استخراج ساختمان براساس شکل‌های هندسی اولیه مانند خطوط و خطوط متقاطع ارائه دادند. آن‌ها در سه مرحله پیش پردازش، استخراج خطوط لبه و در نهایت با استفاده از یک گراف جستجو ساختمان‌های

¹ Pansharpened² WorldView-2

روش‌های مورفولوژیکی به تفکیک مناطق ساخته شده از پس‌زمینه پرداختند. ضعف اصلی روش پیشنهادی وابستگی الگوریتم ارائه شده به انتخاب حد آستانه و نیاز روش پیشنهادی به داشتن منطقه‌ای با پراکنندگی‌های قوی است [۱۴]. وانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸، روشی بر مبنای اطلاعات ناحیه مینا و لبه مینا با استفاده از داده پلاریمتری با حد تفکیک بالا ارائه دادند [۱۵]. دانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، جهت استخراج ویژگی‌های بافتی از دو توصیفگر بافت، جذر اختلاف جفت ریشه ($SRPD^4$) و Gi^5 استفاده کردند. سپس از طریق این دو توصیفگر به استخراج ساختمان‌ها در مناطق شهری با استفاده از تصاویر تراسار-ایکس^۶ و کوسمو-اسکای مد^۷ اقدام کردند. در این روش وجود اغتشاش‌های نویزی به خصوص در نرده‌های فلزی و اشتباه گرفته شدن بافت متوسط $SRPD$ و Gi با بافت زبر منطقه شهری باعث ایجاد کاهش دقت شد [۱۶]. در مقاله ارائه شده توسط کائو و همکاران در سال ۲۰۱۲، با استفاده از اطلاعات بافت به تشخیص ساختمان از طریق طبقه‌بندی تصاویر تراسار-ایکس با حد تفکیک بالا پرداخته شد [۱۷]. در سال ۲۰۱۳، ژائو و همکارانش با استفاده از نشانگر تبدیل حوضه کنترل شده با ترکیب ویژگی‌ها و اطلاعات بافت به شناسایی ساختمان از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی اقدام کردند. این روش تنها برای ساختمان‌ها با اشکال ساده کاربرد دارد و همچنین وابسته به تعیین حد آستانه است [۱۸].

تعداد اندکی از روش‌های پیشنهادی توسط محققان با استفاده از تلفیق تصاویر نوری و راداری به شناسایی و استخراج ساختمان اقدام شده است. در سال ۲۰۰۳، توپین و همکارش به استخراج اتوماتیک ردپاهای سقف ساختمان‌های مسطح براساس ویژگی‌های خطی

مسطحی شکل را استخراج کردند [۸]. همچنین در تحقیق صورت گرفته، توسط ترکر و کوک سن در سال ۲۰۱۵، روشی اتوماتیک جهت استخراج ساختمان‌های مستطیلی و دایره‌ای شکل از تصاویر نوری با قدرت تفکیک بالا با استفاده از تبدیل هاف، طبقه‌بندی کننده ماشین بردار پشتیبان و گروه‌بندی ادراکی ارائه شد [۹].

شناسایی ساختمان از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی (SAR^1) به دلیل آشفتگی‌های هندسی (مانند سایه، وارونگی) و نویز اسپیکل دشوار است [۱۰]. با این وجود ماهیت متفاوت این تصاویر (هندسی و رادیومتریکی) حاوی اطلاعات منحصر به فرد در مورد اشیاء است. با توجه به این دلایل و برخی دیگر از مزایای تصاویر رادار (مانند مستقل از شرایط آب و هوایی)، داده‌های مکمل بسیار مناسبی برای شناسایی ساختمان است. در همین راستا توپین و همکاران در سال ۱۹۹۸، روشی برای استخراج ویژگی خطوط روشن از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی توسط یک آشکارساز را پیشنهاد دادند که این خطوط روشن می‌توانند ویژگی از ردپاهای^۲ بخشی از ساختمان باشند [۱۱]. همچنین در سال ۱۹۹۸، شلاپا با استفاده از روش نرخ هشدار کاذب ثابت ($CFAR^3$) و تبدیل هاف به شناسایی خطوط روشن ساختمان‌ها پرداخت. سپس بخش‌بندی بیش‌ترین احتمال را برای شناسایی سایه ساختمان‌ها به کار برد و در نهایت از مجموع این اطلاعات برای شناسایی ساختمان استفاده کرد [۱۲]. دل آکوا و همکارش در سال ۲۰۰۳، با استفاده از ترکیب ویژگی‌های بـافتی و طبقه‌بندی کننده عصبی فازی به شناسایی مناطق شهری پرداختند [۱۳]. استاسلا و همکارش در سال ۲۰۰۸، با کمک ویژگی‌های محلی همبستگی مکانی و

⁴ Square Root Pair Difference

⁵ Getis-Ord

⁶ TerraSAR-X

⁷ COSMO/SkyMed

¹ Synthetic Aperture Radar

² Footprints

³ Constant False Alarm Rate

علاوه بر این، روش‌های لبه مبنا و اپراتورهای مورفولوژیکی رایج‌ترین ابزار برای استخراج مرزهای ساختمان است. اما با این حال هنوز انسداد، سایه و شباهت‌های طیفی چالش اصلی در شناسایی ساختمان از تصاویر نوری است.

شناسایی ساختمان از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی اغلب نیازمند داشتن تصاویری با قدرت تفکیک یک متر یا کمتر از آن است. در این راستا، اکثر مطالعات انجام‌شده متکی بر شناسایی پیکسل‌های روشن، اطلاعات بافت، آنالیز سایه و روش‌های مورفولوژیکی می‌باشند. روش‌های پیشنهادشده از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی یا تلفیقی با تصاویر نوری بر ساختمان‌های بزرگ، ساده، مجزا و بدون پیچیدگی شهری تست شده است.

در این تحقیق علاوه بر شناسایی نقاط ضعف هر منبع داده، به بررسی حالتی متفاوت از روش‌های تلفیقی تصاویر نوری و راداری پیشنهادی توسط محققین تا به امروز، در زمینه‌ی بهبود تصاویر نوری توسط تصویر راداری پرداخته شده است. لذا سهم این مقاله تلفیق بهینه تصاویر نوری و راداری برای شناسایی ساختمان‌ها در هر دو حالت مجزا و بلوک‌های ساختمانی از یک منطقه پیچیده شهری است. علاوه بر آن، با وجود تنوع بام‌پوش‌ها در ایران در این تحقیق تلاش شده است به بررسی پوشش‌های مختلف ساختمانی و بررسی توانایی هر منبع داده در شناسایی آن‌ها پرداخته شود.

ادامه ساختار مقاله به شرح زیر است: بخش دوم، معرفی داده‌های ورودی و پیش‌پردازش. بخش سوم، طبقه‌بندی تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با استفاده از شبکه عصبی ارائه شده است و سپس به تلفیق در سطح ویژگی تصاویر پرداخته شده است. بخش چهارم خلاصه و نتیجه‌گیری بیان شده است.

با استفاده از تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی و نوری پرداختند. آن‌ها از خطوط روشن در تصاویر رادار با گشودگی ترکیبی، جهت اعتباربخشی ساختمان‌های شناسایی‌شده توسط تصاویر نوری استفاده کردند، به این دلیل که خطوط روشن قادر به پیش‌بینی جهت ساختمان‌ها و همچنین بخشی از قسمت‌های ساختمان می‌باشد [۱۹]. اسپاراتاش و همکارانش در سال ۲۰۱۱، با استفاده از تصاویر نوری و راداری به استخراج سه‌بعدی ساختمان در سه مرحله شناسایی، برآورد ارتفاع و صلاحیت ساختمان‌ها پرداختند. این روش تنها توانایی استخراج ساختمان‌های بزرگ و مستطیلی شکل را داشت [۲۰]. پالین و همکارانش در سال ۲۰۱۱، با استفاده از تصاویر نوری و رادار با گشودگی ترکیبی به تولید و بروز رسانی ساختمان‌ها در یک پایگاه داده پرداختند. در این روش تنها ویژگی مورد استفاده از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی کنتراست می‌باشد که از نسبت میانگین وارونگی و سایه منطقه به دست آورده شد و دیگر ویژگی‌های به کار گرفته‌شده از تصویر نوری استخراج شد [۲۱]. قنبری و صاحبی در سال ۲۰۱۴، روشی جدید به منظور بهبود کیفیت طیفی الگوریتم آی اچ اس (IHS)^۱ برای تلفیق تصاویر راداری و نوری در مناطق شهری پیشنهاد دادند. در این راستا تصویر با حد تفکیک مکانی بالاتر و تصویر شدت براساس اطلاعات آماری‌شان تلفیق شدند. سپس تصویر تلفیقی جایگزین تصویر شدت شده و تبدیل معکوس آی اچ اس اعمال شد [۲۲].

در نگاه کلی بر تحقیقات صورت گرفته در شناسایی و استخراج ساختمان نشان می‌دهد که بیشتر روش‌ها بر تصاویر نوری توسعه یافته است. در این موارد شناسایی ساختمان عمدتاً از طریق الگوریتم‌های طبقه‌بندی با استفاده از اطلاعات طیف و بافت انجام شده است.

^۱ Intensity-Hue-Saturation

شناسایی ساختمان در مناطق شهری با استفاده از تلفیق...

مریم تیموری، مهدی مختارزاده و محمدجواد ولدان زوج

تک ساختمان‌ها و بلوک‌های ساختمانی با انواع بام‌پوش‌های مختلف (آسفالت، ایزوگام، بتن) می‌باشد. در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌ی نوری و راداری استفاده شده است.



۲- مشخصات داده‌های مورد استفاده و پیش‌پردازش

منطقه مورد مطالعه، بخشی از شهر شیراز واقع در جنوب ایران (شکل (۱)) است. منطقه انتخابی شامل



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه، شهر شیراز

با حد تفکیک ۱ متر و در ابعاد 395×205 پیکسل است. شکل (۲) تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. تصویر باینری از ساختمان‌های موجود به صورت دستی از تصویر پن شارپند و نقشه‌های موجود تولید شده است که به عنوان داده مرجع در ارزیابی نتایج استفاده شده است که در آن مقادیر صفر و یک به ترتیب بیانگر پیکسل زمین و ساختمان (شکل (۲-ث)) است. از میان پیکسل‌های ساختمان و پس زمینه تعدادی نمونه‌های آموزشی و تست به ترتیب برای آموزش شبکه و ارزیابی نتایج انتخاب شد. جدول (۱) تعداد داده‌های آموزشی و تست، برای هر کلاس را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که تمام پوشش سقف‌های ساختمانی، صرف نظر از ماهیت و رفتارهای طیفی‌شان در کلاس ساختمان قرار گرفته‌اند.

تصویر راداری تراسار-یکس در مد اسپات لایت^۱ با حد تفکیک ۱ متر در دو پلاریزاسیون افقی افقی^۲ و عمودی عمودی^۳ می‌باشد. تصویر نوری، شامل تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی سنجنده آیکونوس با قدرت تفکیک به ترتیب ۱ و ۴ متر از ماهواره آیکونوس می‌باشد.

جهت هم‌بعدسازی تصویر چندطیفی با دیگر تصاویر (پانکروماتیک و رادار) به حد تفکیک یک متر، از روش نزدیک‌ترین همسایگی برای نمونه‌برداری مجدد استفاده شده است. هم مرجع کردن تصاویر توسط ۱۲ نقطه کنترل با ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)^۴، ۰.۵۷ پیکسل انجام شده است. تصاویر نهایی

¹ Spotlight

² HH

³ VV

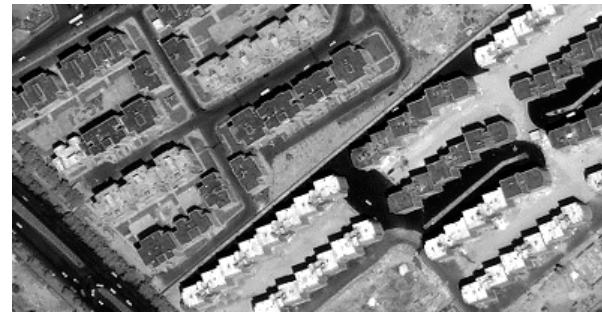
⁴ Root Mean Square Error

جدول ۱: تعداد داده‌های آموزشی و تست برای هر کلاس

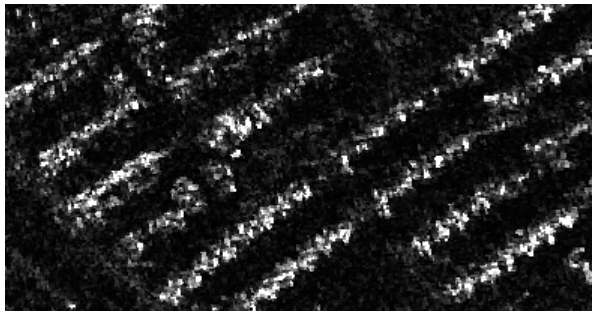
| کلاس | داده آموزشی | داده تست |
|-----------|-------------|----------|
| ساختمان | ۱۷۲ | ۱۹۲۴۳ |
| پس زمینه | ۱۸۱ | ۶۱۷۳۲ |
| جمع نهایی | ۳۵۳ | ۸۰۹۷۵ |



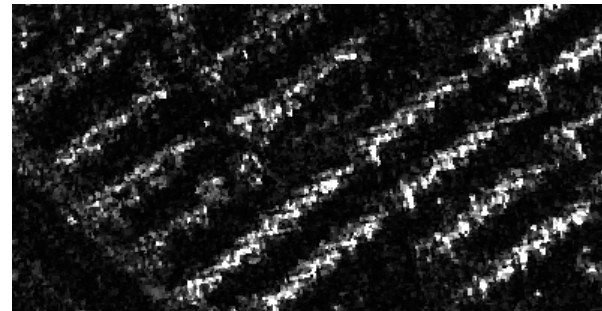
(ب)



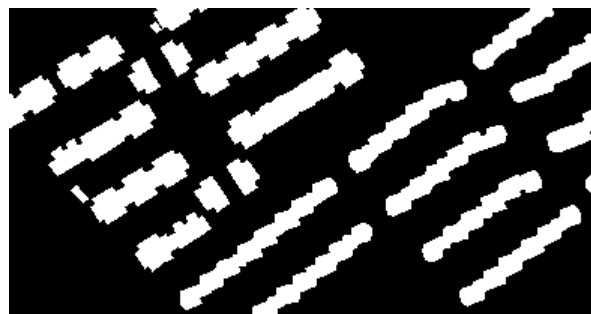
(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۲: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکونوس ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی ث) تصویر باینری تولیدشده جهت ارزیابی دقت

ویژگی‌های گوناگونی (جدول ۲)) از تصاویر تولید شد. سپس ویژگی‌های بهینه برای هر مجموعه داده از بررسی‌های زیادی که توسط آزمون سعی و خطا بر روی ویژگی‌های تولیدشده از منابع داده حاصل شد.

۳- روش تحقیق

در تحقیق حاضر، ابتدا از منابع مختلف داده شامل تصاویر نوری (پانکروماتیک و چندطیفی) و راداری اقدام به شناسایی ساختمان شد. به همین منظور

در جهت بهبود دقت و نتایج حاصل از شناسایی ساختمان اقدام به تلفیق تصاویر در سطح ویژگی شد.

سپس ویژگی‌های بهینه وارد شبکه عصبی شد. سپس ضمن تجزیه و تحلیل نقاط ضعف و قوت هر منبع، با استفاده از ویژگی‌های مکمل داده‌های نوری و راداری

جدول ۲: ویژگی‌های به کار برده شده در این تحقیق

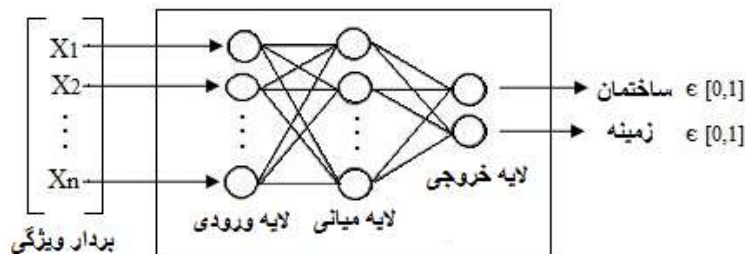
| | | |
|--|------------------------------------|------|
| دامنه داده | توصیفگرهای آماری مرتبه اول | بافت |
| میانگین | | |
| واریانس | | |
| آنتروپی | | |
| عدم تقارن | | |
| آنتروپی | توصیفگرهای آماری مرتبه دوم | |
| کنتراست | | |
| واریانس | | |
| عدم شباهت | | |
| همگنی | | |
| میانگین | | |
| ممان مرتبه دوم | فیلتر گابور | |
| هم‌بستگی | | |
| در مقیاس و جهت متفاوت | پراکندگی دوگانه | |
| پلاریزاسیون افقی افقی | | |
| پلاریزاسیون عمودی عمودی | | |
| پلاریزاسیون افقی افقی | دامنه تصویر رادار با گشودگی ترکیبی | |
| پلاریزاسیون عمودی عمودی | | |
| اطلاعات طیفی ۴ باند (قرمز، آبی، سبز، مادون قرمز نزدیک) تصویر چندطیفی | | |
| درجات خاکستری باند پانکروماتیک | | |

جهت شناسایی ساختمان است. در این راستا به منظور داشتن یک شبکه عصبی بهینه، تعیین مناسب تعداد لایه میانی و نرون‌های موجود در آن‌ها، انتخاب بردار ورودی جهت ارسال به شبکه در لایه ورودی و غیره مورد نیاز است. بر طبق تحقیقات صورت گرفته توسط ریچارد [۲۳] طراحی یک لایه میانی برای اهداف طبقه‌بندی کفایت می‌کند. لذا در این تحقیق از یک شبکه عصبی پیشرو متشکل از یک لایه میانی، انتخاب و طراحی شد. در این راستا تعداد نرون‌های ۱ تا ۴۰ در لایه میانی انتخاب تا به نرونی با بهترین عملکرد دست‌یافته شود. همچنین لایه ورودی برحسب تعداد ویژگی‌های بهینه هر منبع داده تنظیم شده است،

در تمام استراتژی‌های شناسایی ساختمان در این مقاله، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN^۱) به عنوان یک طبقه‌بندی کننده دو کلاسه استفاده شده است. ویژگی اصلی شبکه عصبی قابلیت پذیرش و پردازش داده‌های ورودی غیر متجانس و دارای اهمیت متفاوت می‌باشد که شبکه عصبی قادر به تعیین اتوماتیک سطح تأثیر هر یک از منابع ورودی در تصمیم‌گیری نهایی است. بنابراین انعطاف‌پذیری بالای شبکه عصبی دلیلی برای انتخاب آن به عنوان طبقه‌بندی کننده مناسب

¹ Artificial Neural Network

عده‌دارند. شکل (۳) ساختار شبکه عصبی با هدف شناسایی ساختمان را نشان می‌دهد.



شکل ۳: ساختار شبکه عصبی باهدف شناسایی ساختمان

ویژگی‌های گوناگونی از هر منبع داده تولید شد و بهترین آن‌ها با بررسی‌های صورت گرفته توسط روند سعی و خطا انتخاب شدند. سپس ویژگی‌های منتخب به شبکه عصبی معرفی شدند و تعداد نرون‌ها در لایه میانی از ۱ تا ۴۰ مورد آزمون قرار گرفتند. در نهایت نتایج شناسایی ساختمان در هر مرحله مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت هر تصویر شناسایی شد. شکل (۴) روند کلی ارائه‌شده را نشان می‌دهد.

۳-۱-۱- تصویر پانکروماتیک

به دلیل کمبود اطلاعات طیفی این تصویر، از اطلاعات باند پانکروماتیک و بافت استفاده شده است. آنالیز بافت یکی از رایج‌ترین روش‌های ایجاد توصیفگرهای عوارض سطحی در تصاویر رقومی است که می‌تواند به‌عنوان معیاری جهت تمایز بین اشیاء مختلف موجود در تصویر مورد استنباط قرار گیرد. بنابراین با استفاده از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم [۲۴] و فیلتر گابور [۲۵] به استخراج بافت از تصویر اقدام شده است. استفاده از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم در استخراج ساختمان از تصاویر نوری مناسب است [۱]. توصیفگرهای آماری مرتبه دوم، علاوه بر در نظر گرفتن توزیع درجات خاکستری، موقعیت پیکسل‌ها نسبت به یکدیگر را نیز لحاظ می‌کنند.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، پارامترهای بافت در ۸ جهت مختلف ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ$)

درحالی‌که لایه خروجی در این شبکه متشکل از دو نرون (ساختمان، زمینه) بوده است که وظیفه تصمیم‌گیری درباره ماهیت پیکسل ورودی را به

جهت ارزیابی نتایج، سه معیار دقت کلی، ضریب کاپا و دقت شناسایی ساختمان در نظر گرفته شده است. همچنین به‌منظور بررسی توانایی الگوریتم در شناسایی ساختمان‌ها با بام‌پوش‌های مختلف، پشت‌بام‌های منطقه مورد مطالعه به سه نوع پوشش مختلف آسفالت، ایزوگام و بتن تفکیک شده است. در این راستا انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان مربوط به بام‌پوش‌های مختلف در هر مرحله محاسبه شده تا میزان پراکندگی نتایج، مورد بررسی قرار گرفته شود. بدیهی است هرچه در انحراف معیار مربوطه کمتر باشد، مؤید عملکرد همگن تر الگوریتم بر روی منطقه و مطلوب‌تر است.

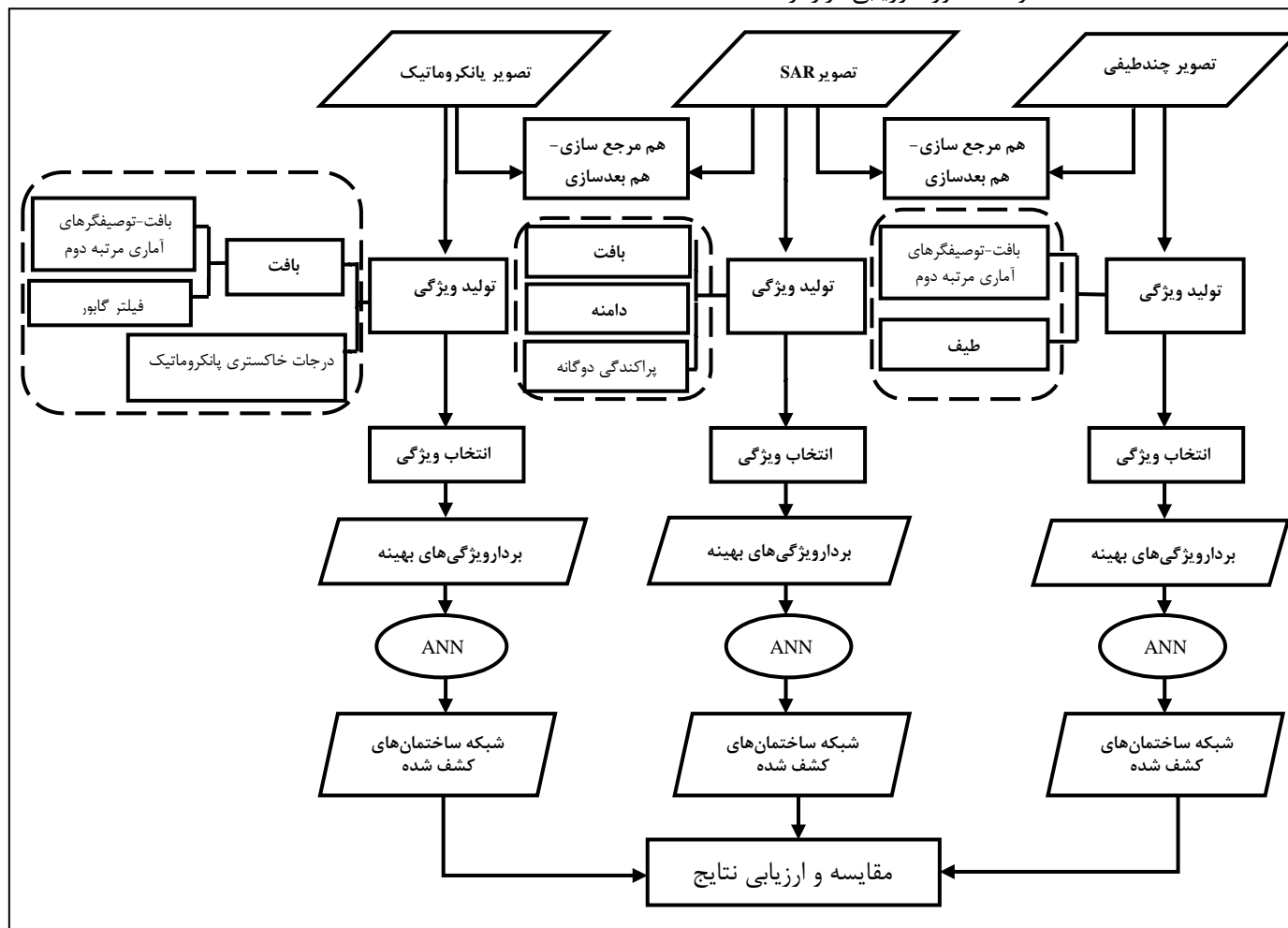
در ادامه به شناسایی ساختمان به‌طور مجزا از منبع مختلف داده پرداخته شده است. سپس اقدام به بررسی راهکارهای بهبود نقاط ضعف داده‌های مستقل شده است. در این راستا ابتدا هر یک از تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی به‌صورت جداگانه و سپس یکجا با تصویر رادار در سطح ویژگی تلفیق شده‌اند.

۳-۱- استفاده مجزا از تصاویر نوری و راداری

در الگوریتم‌های مبتنی بر ویژگی لازم است که از تصویر ورودی، آن دسته از بردار ویژگی که توانایی ارائه خصلت‌های تصویر را داشته باشند استخراج و سپس در این فضا به پردازش پردازند. هرچه بردارهای ویژگی مستخرج از تصویر کارایی بهتری داشته باشند بازده کلی طبقه‌بندی بهبود می‌یابد. در این راستا،

ابعاد پنجره با ابعاد 3×3 نتایج به مراتب بهتری را داشته است.

270° و 315° تولیدشده و سپس از جهات مختلف میانگین گرفته شده است. همچنین پنجره‌هایی با ابعاد مختلف، 3×3 ، 5×5 و 7×7 مورد ارزیابی قرار گرفته که



شکل ۴: روند کلی بررسی جداگانه تصاویر

انتخاب شده است.

بنابراین بردار ورودی، متشکل از ۷ ویژگی بهینه (درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر فیلتر گابور و میانگین) از تصویر پانکروماتیک در نظر گرفته شده است. این ویژگی‌ها به شبکه عصبی با تعداد نرون‌های متفاوتی از ۱ تا ۴۰ در لایه میانی معرفی شده و شبکه با ۵ نرون در لایه میانی بالاترین دقت کلی را داشته است. نتایج حاصل شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

به منظور انتخاب ویژگی‌های بافت بهینه، بررسی‌های جامعی از طریق روند سعی و خطا صورت گرفته است. در این بررسی‌ها، ترکیبات مناسبی از پارامترهای بافت منجر به دستیابی به بالاترین دقت کلی شده است. بر طبق این بررسی‌ها، پارامتر میانگین به عنوان تنها ویژگی مؤثر پارامترهای بافت مرتبه دوم انتخاب شده است. همچنین پارامترهای فیلتر گابور تأثیر بسزایی داشته است، در این راستا فیلتر گابور در ۵ مقیاس و در ۸ جهت تولید شده است، سپس از تمامی جهات میانگین گرفته شده و در انتها ۵ ویژگی بافت بهینه

جدول ۳: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر پانکروماتیک

| بردار ویژگی بهینه | دقت شناسایی پوشش‌ها | | | دقت کلی | ضریب کاپا | دقت شناسایی ساختمان |
|---|---------------------|---------|------|---------|-----------|---------------------|
| | آسفالت | ایزوگام | بتن | | | |
| درجات خاکستری باند پانکروماتیک ۵ پارامتر فیلتر گابور پارامتر میانگین از ماتریس هم رخداد | ۵۷.۷۱ | ۶۱.۱۹ | ۱.۶۵ | ۷۹ | ۳۹.۷۴ | ۵۰.۲۸ |

را داشته‌اند. بنابراین این دو ویژگی در پنجره‌ای با ابعاد 3×3 و برای دو پلاریزاسیون افقی افقی و عمودی عمودی استخراج شده‌اند.

اثر پراکندگی دوگانه به‌عنوان ویژگی مفید استخراج شده از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در نظر گرفته شد. پراکندگی دوگانه در ساختمان‌ها، به‌وسیله‌ی بازتابندگی گوشه‌ای ناشی از دیوارهای جلویی ساختمان و زمین‌های اطراف آن ایجاد می‌شود که نقش مهمی در تشخیص ساختمان‌ها ایفا می‌کند [۲۷] که این اثر وابسته به ارتفاع ساختمان و زاویه انحراف است [۲۸]. همچنین عاملی برای ایجاد پیکسل‌های روشن با دامنه بزرگ در تصویر می‌باشد.

در تحقیق حاضر از الگوریتم OS-CFAR^۲ [۱۸] با پنجره متحرک 55×55 پیکسل با منطقه محافظ 53×53 پیکسل و همچنین نرخ هشدار کاذب $4-10$ برای شناسایی پیکسل‌های روشن ساختمان‌ها استفاده شده است. بنابراین علاوه بر ویژگی‌های بافت، پراکندگی دوگانه و دامنه تصاویر در هر دو پلاریزاسیون به‌عنوان ویژگی‌های ورودی در نظر گرفته شدند.

۸ ویژگی بهینه به‌عنوان پارامترهای ورودی به شبکه عصبی معرفی شدند. تعداد نرون‌های مختلفی برای لایه میانی مورد بررسی قرار گرفته است. بهترین دقت کلی، توسط شبکه با ۲۰ نرون در لایه میانی به‌دست آمد. جدول (۴) نشان حاصل شده را نشان می‌دهد.

همان‌طور که از جدول بالا و شکل (۵-الف) مشخص است عملکرد شبکه در کل تصویر به‌خصوص در پشت‌بام‌هایی از جنس بتن بسیار ضعیف بوده و تنها 1.65% از ساختمان‌های مربوطه شناسایی شده است. همچنین پشت‌بام‌ها از جنس آسفالت به دلیل نزدیکی بافت این پشت‌بام‌ها با راه، قسمتی از راه به اشتباه ساختمان شناسایی شده است، بنابراین شبکه عصبی در این ناحیه عملکرد مناسبی نداشته است. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در سه ناحیه موردنظر 33.42 است که بیانگر عملکرد ضعیف در همگنی نتایج می‌باشد.

۳-۱-۲- تصویر راداری

تفسیر عوارض سطح زمین در تصاویر راداری بر اساس شکل، تن، اندازه اشیاء و ساختار اشیاء است. بافت یکی از جنبه‌های مهم در تفسیر تصاویر راداری است. بنابراین در این راستا از توصیفگرهای مرتبه اول [۲۶] در تصویر تراسار-یکس استفاده شده است.

توصیفگرهای مرتبه اول بر اساس هیستوگرام تصویر و یا به‌عبارت‌دیگر، احتمال رخداد درجات خاکستری در سطح تصویر، اقدام به برآورد پارامترهای مختلف می‌کنند. بر اساس سعی و خطاهای گسترده‌ای که بر روی پارامترهای بافت و در ابعاد پنجره‌های مختلف انجام شده است، دو ویژگی میانگین و دامنه داده^۱ از توصیفگرهای مرتبه اول دارای بیش‌ترین تأثیر در شناسایی ساختمان از تصویر رادار با گشودگی ترکیبی

^۲ Order Statistics - Constant False Alarm Rate

^۱ data range

جدول ۴: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر رادار

| دقت شناسایی ساختمان | ضریب کاپا | دقت کلی | دقت شناسایی پوشش‌ها | | |
|---------------------|-----------|---------|---------------------|---------|--------|
| | | | بتن | ایزوگام | آسفالت |
| ۷۱.۷۸ | ۵۵.۶۴ | ۸۳.۱۲ | ۵۸.۱۵ | ۸۶.۹۵ | ۶۷.۲۰ |

میانگین مرتبه اول (افقی افقی - عمودی عمودی)
 دامنه داده مرتبه اول (افقی افقی - عمودی عمودی)
 پراکندگی دوگانه (افقی افقی - عمودی عمودی)
 دامنه (افقی افقی - عمودی عمودی)

می‌باشند. اما استفاده تنها از اطلاعات طیفی در طبقه‌بندی عوارض در مناطق شهری به دلیل شباهت طیفی عوارض شهری کافی نمی‌باشد. در این راستا برای بهبود طبقه‌بندی از اطلاعات بافت تصویر نیز استفاده شد.

به‌منظور انتخاب پارامترهای بافت مناسب تعداد وسیعی از آن‌ها برای دستیابی به بالاترین دقت کلی مورد آزمایش قرار گرفت. در این بررسی‌ها، پارامترهای میانگین و واریانس از توصیفگرهای آماری مرتبه دوم عملکرد مناسب‌تری در شناسایی بام‌پوش‌های مختلف داشته‌اند. این دو پارامتر، در پنجره‌ای با ابعاد ۳×۳ از ۴ باند طیفی استخراج شدند. درنهایت بردار ورودی متشکل از ۱۲ نرون، حاوی اطلاعات ۴ باند طیفی و ۸ پارامتر بافت در نظر گرفته شد. این ویژگی‌ها به شبکه عصبی با نرون‌های مختلف در لایه میانی وارد شده و درنهایت ۷ نرون به‌عنوان نرون بهینه در لایه میانی منجر به بیش‌ترین دقت کلی شد. جدول (۵) نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.

از مقایسه پارامترهای ارزیابی در جدول (۳ و ۴) مشاهده می‌شود که تصاویر رادار در شناسایی ساختمان‌ها نسبت به تصویر پانکروماتیک توانا تر بوده است. با اینکه در بام‌پوش‌های بتنی تصویر رادار عملکرد به‌مراتب بهتری نسبت به تصویر پانکروماتیک داشته است اما عملکرد آن به‌مراتب ضعیف‌تر از بام‌پوش‌های دیگر است. با این حال استفاده از داده‌های رادار باعث همگونی بیشتر پاسخ‌ها در نواحی مختلف شده است که انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در تصویر رادار ۱۴.۷۳ و در تصویر پانکروماتیک ۳۳.۴۲ بیانگر این موضوع است. شکل (۵-ب) پاسخ شبکه عصبی را نشان می‌دهد و همان‌طور که از شکل مربوطه مشخص است پشت‌بام‌ها با پوشش‌های مختلف مربوط به تصویر رادار نسبت به تصویر پانکروماتیک عملکرد بهتری داشته است.

۳-۱-۳- تصویر چندطیفی

اطلاعات طیفی، چهار باند تصویر ایکونوس استفاده شد که حاوی اطلاعات مفیدی جهت شناسایی ساختمان

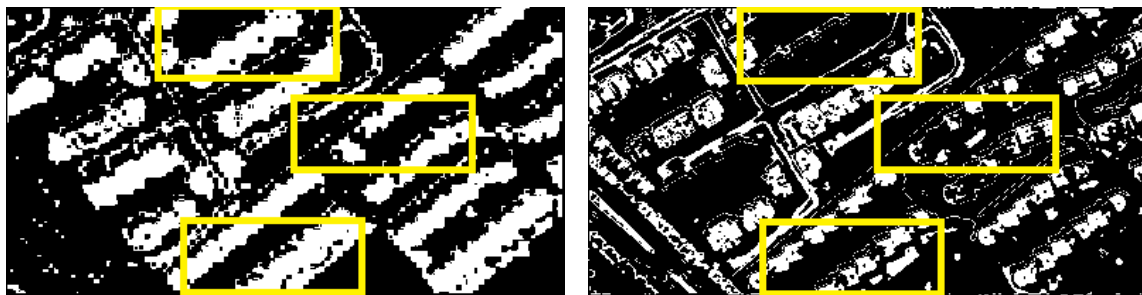
جدول ۵: پارامترهای ارزیابی الگوریتم شناسایی ساختمان مربوط به تصویر چندطیفی

| دقت شناسایی ساختمان | ضریب کاپا | دقت کلی | دقت شناسایی پوشش‌ها | | |
|---------------------|-----------|---------|---------------------|---------|--------|
| | | | بتن | ایزوگام | آسفالت |
| ۸۲.۳۱ | ۵۸.۵۳ | ۸۳.۱۴ | ۸۷.۶۸ | ۹۱.۴۴ | ۷۵.۷۹ |

میانگین مرتبه دوم از ۴ باند طیفی
 واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی
 اطلاعات ۴ باند طیفی

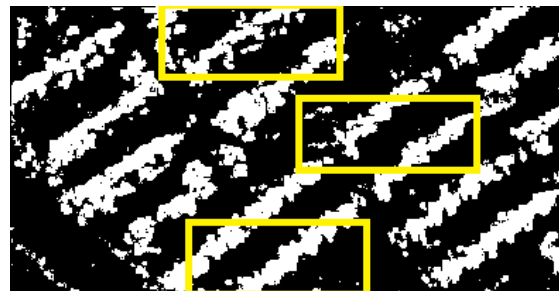
نسبت به پاسخ تصویر پانکروماتیک و رادار که به ترتیب ۳۳.۴۲ و ۱۴.۷۳ است عملکرد بهتری داشته است. همان طور که از شکل (۵-پ) مشاهده می‌گردد پاسخ خروجی این مرحله نیز مانند پاسخ شبکه عصبی تصویر پانکروماتیک در تفکیک برخی راه‌ها از پشت‌بام‌ها ناتوان بوده است، پس می‌توان نتیجه گرفت بافت برخی راه‌ها در تصاویر نوری مشابه با بافت پشت‌بام‌ها است.

همان طور که نتایج حاصل از پاسخ شبکه عصبی برای پشت‌بام‌ها با پوشش‌های مختلف نشان می‌دهد، پشت‌بام‌های ایزوگام و بتن نسبت به پشت‌بام‌های آسفالت عملکرد مناسبی تری داشته‌اند. بنابراین می‌توان از توانایی تصویر چندطیفی در شناسایی پشت‌بام‌هایی از جنس بتن، در تلفیق تصاویر سود برد. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان در این تصویر ۸.۱۷ است که



(ب)

(الف)



(پ)

شکل ۵: پاسخ شبکه عصبی الف: تصویر پانکروماتیک ب: تصویر رادار پ: چندطیفی

۳-۲-۱- تلفیق تصاویر پانکروماتیک و رادار

در این مرحله از تلفیق، تمام ویژگی‌های بهینه از تصاویر پانکروماتیک و رادار به‌طور همزمان به شبکه عصبی معرفی شدند. ۱۵ نرون در لایه ورودی در نظر گرفته شد که ۸ نرون مرتبط با تصویر رادار و ۷ نرون برای تصویر پانکروماتیک است. با بررسی‌های صورت گرفته، ۲۶ نرون در لایه میانی دقت کلی بیشتری نسبت به دیگر نرون‌ها داشته است. جدول (۶-الف) نتایج حاصل شده را نشان می‌دهد.

۳-۲-۲- تلفیق در سطح ویژگی

تلفیق در سطح ویژگی، نیازمند استخراج ویژگی مناسب از تصاویر ورودی است. بنابراین ویژگی‌های گوناگونی وابسته به طبیعت تصویر و کاربرد تلفیق در نظر گرفته می‌شوند [۲۹]. در این سطح از تلفیق، بردار ویژگی‌های مختلف از هر منبع داده با یکدیگر ادغام شده و بردار ویژگی جدیدی ایجاد می‌کنند. در این راستا ویژگی‌های بهینه تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی به‌صورت جداگانه و سپس یکجا با تصویر رادار در سطح ویژگی تلفیق شدند. شکل (۶) روند اجرایی کلی این مراحل را نشان می‌دهد.

جدول ۶: پارامترهای ارزیابی الگوریتم تلفیق در سطح ویژگی

| دقت شناسایی ساختمان | ضریب کاپا | دقت کلی | دقت شناسایی پوشش‌ها | | | #نرون در لایه میانی | بردار ویژگی‌های بهینه |
|---------------------|-----------|---------|---------------------|---------|--------|---------------------|--|
| | | | بتن | ایزوگام | آسفالت | | |
| ۷۴.۵۰ | ۶۱.۸۶ | ۸۵.۷۵ | ۵۵.۲۷ | ۹۳.۱۵ | ۶۹.۵۶ | ۲۶ | پانکروماتیک |
| | | | | | | | درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر میانگین از ماتریس هم رخداده‌فیلتر گابور، میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی - عمودی عمودی |
| ۸۸.۱۷ | ۶۶.۴۴ | ۸۶.۴۴ | ۹۲.۴۱ | ۹۵.۴۸ | ۸۲.۹۷ | ۳۰ | چندطیفی |
| | | | | | | | میانگین و واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی، اطلاعات ۴ باند طیفی میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی - عمودی عمودی |
| ۸۹.۰۸ | ۶۷.۹۹ | ۸۷.۱۱ | ۸۷.۶۱ | ۸۹.۸۹ | ۸۹.۰۵ | ۳۰ | پانکروماتیک |
| | | | | | | | پانکروماتیک |
| | | | | | | | درجات خاکستری باند پانکروماتیک، ۵ پارامتر میانگین از ماتریس هم رخداده‌فیلتر گابور، میانگین مرتبه اول، دامنه داده مرتبه اول، پراکندگی دوگانه و دامنه از دو پلاریزاسیون افقی - عمودی عمودی |
| | | | | | | | چندطیفی |
| | | | | | | | میانگین و واریانس مرتبه دوم از ۴ باند طیفی، اطلاعات ۴ باند طیفی |

همان‌طور که در جدول (۶-الف) نشان داده شده است دقت پارامترهای ارزیابی از تلفیق دو تصویر، بهبود چشمگیری در تمامی پارامترها نسبت به استفاده مجزا از دو تصویر (پانکروماتیک، رادار) داشته است. با این وجود، هنوز در شناسایی پشت‌بام‌های بتنی ضعف وجود دارد. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان با پوشش‌های مختلف ۱۹.۱۳ است که دلیل بالا بودن انحراف معیار، اختلاف زیاد دقت شناسایی پشت‌بام‌های بتنی نسبت به پشت‌بام‌های ایزوگام و آسفالت است.

۳-۲-۲- تلفیق تصاویر چندطیفی و راداری

به‌منظور تلفیق این تصاویر، ویژگی‌های بهینه از تصاویر راداری و چندطیفی هم‌زمان وارد شبکه عصبی شدند. تعداد نرون‌های بردار ورودی شبکه عصبی شامل ۸ نرون مربوط به ویژگی‌های تصویر راداری و ۱۲ نرون

مرتبط با ویژگی‌های بهینه تصویر چندطیفی است. تعداد نرون‌های متفاوتی برای لایه میانی طراحی شد که شبکه عصبی با داشتن ۳۰ نرون در لایه میانی دارای عملکرد بهتری بوده است. نتایج حاصل از تلفیق این دو تصویر در جدول (۶-ب) آورده شده است. همان‌طور که از جدول مربوطه مشخص است، تلفیق ویژگی تصاویر رادار و چندطیفی باعث افزایش دقت در تمامی پارامترهای ارزیابی نسبت به استفاده مجزا از تصاویر راداری و چندطیفی شده است. پاسخ تلفیق این دو تصویر در پشت‌بام‌های بتنی عملکرد بسیار مناسبی از خود نشان داده است. میزان انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان با پوشش‌های مختلف نیز برابر با ۶.۵۲ است.

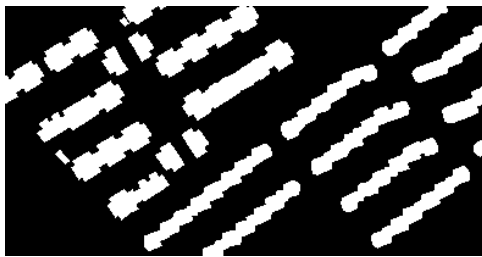
۳-۲-۳- تلفیق تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی

و راداری

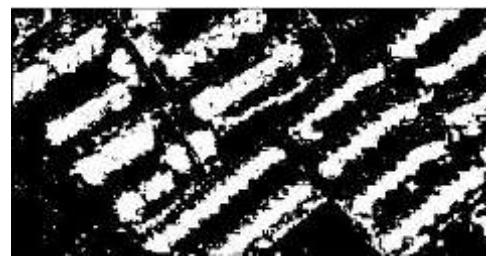
در این مرحله از تلفیق کلیه ویژگی‌های بهینه از سه منبع داده (پانکروماتیک، چندطیفی و راداری) به‌طور همزمان به شبکه عصبی معرفی شدند، بردار ورودی شامل ۲۷ ویژگی می‌باشد که ۱۲ ویژگی از تصویر چندطیفی، ۸ ویژگی از تصویر رادار و در نهایت ۷ ویژگی از تصویر پانکروماتیک می‌باشد. سپس با بررسی‌های صورت گرفته مشخص شد نتایج آماری حاصل از اجرای این الگوریتم برای لایه میانی با ۳۰ نرون دارای نتیجه بالاتری است که در جدول (۶-پ) آورده شده است.

نتایج ارائه شده در جدول (۵-پ) نشان می‌دهد که تلفیق سه تصویر در سطح ویژگی، انتظار ما را

در برطرف کردن ضعف هر یک از تصاویر تا حدودی برطرف و باعث افزایش دقت در ساختمان‌های شناسایی شده و دیگر پارامترهای ارزیابی شده است. انحراف معیار دقت شناسایی ساختمان ۱.۱۵ می‌باشد که بهبود چشمگیری نسبت به مراحل قبلی حاصل شده است. در کل فرآیند اجرایی، این تلفیق نسبت به حالت استفاده از داده‌های تک منبعی، حداقل ۸ برابر بهبود در انحراف معیار دقت ساختمان را به همراه داشته است که این مسئله بیانگر همگن تر شدن نتایج حاصل شده در پوشش‌های مختلف پشت‌بام‌های مورد بررسی است. لذا این تلفیق به‌عنوان بهینه‌ترین روش تلفیق در سطح ویژگی انتخاب شد. شکل (۷) تصویر خروجی حاصل از این تلفیق را نشان می‌دهد.



ب



الف

شکل ۷: الف) پاسخ شبکه عصبی از تلفیق در سطح ویژگی تصاویر نوری و راداری ب: تصویر باینری تولید شده

ساختمان و پس‌زمینه انتخاب شده‌اند. تمامی الگوریتم‌های تلفیقی بر این منطقه به‌طور مجدد پیاده‌سازی شدند. در همه موارد تعداد بهینه نرون‌ها در لایه میانی شبکه عصبی با جستجوی ۱ تا ۴۰ نرون به‌دست آمدند. نتایج حاصل شده مجدداً برتری تلفیق بر سطح ویژگی تصاویر نوری و راداری را نشان دادند. جدول (۷) نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

به‌منظور ارزیابی روش تلفیقی پیشنهادی بر منطقه‌ای بزرگ‌تر و پیچیده‌تر، منطقه‌ای با ابعاد 1560×770 پیکسل (شکل ۸) انتخاب شد. در این راستا کورجیستر تصاویر با ۳۹ نقطه کنترل با ریشه میانگین مربعات خطا، ۰.۵۲ پیکسل انجام شد. برای ارزیابی دقت، ۳۰۰۰ پیکسل (شامل ۲۰۰۰ پیکسل ساختمان و ۱۰۰۰ پیکسل پس‌زمینه) به‌طور تصادفی از بخش‌های مختلف تصویر برای کلاس‌های

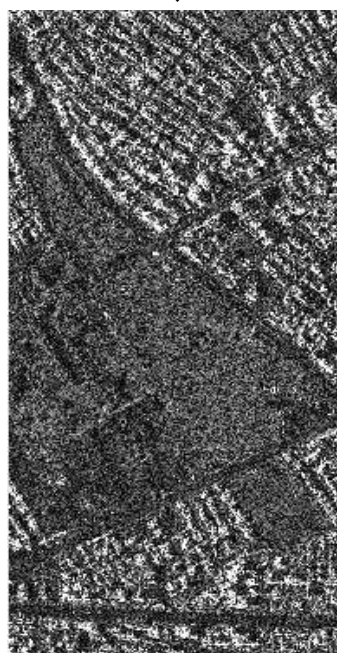
شناسایی ساختمان در مناطق شهری با استفاده از تلفیق...
 مریم تیموری، مهدی مختارزاده و محمدجواد ولدان زوج



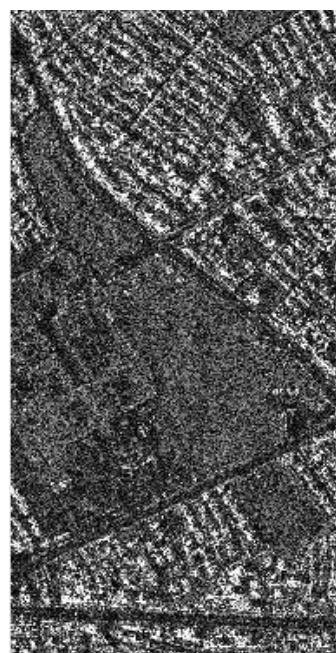
(ب)



(الف)



(ت)



(پ)

شکل ۸: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکونوس ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی افقی ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی
 در این مرحله به مقایسه‌ی سه روش مختلف تلفیق تصاویر شامل تلفیق در سطح ویژگی (روش پیشنهادی ما)، آی اچ اس (روش پیشنهادشده توسط قنبری و صاحبی (۲۰۱۴)) و آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۱ بر بخشی از منطقه‌ی بالا (شکل ۹)) پرداخته شده است.

¹ Principal Component Analysis

جدول ۷: پارامترهای ارزیابی منطقه ۷۷۰ × ۱۵۶۰

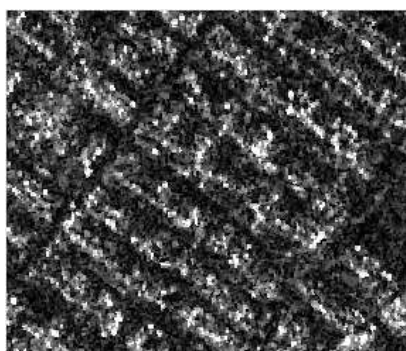
| تلفیق در سطح ویژگی | | | استفاده مجزا از داده | | | استراتژی |
|---------------------------|---------------|-------------------|----------------------|-------|-------------|---------------------|
| پانکروماتیک+رادار+چندطیفی | رادار+چندطیفی | پانکروماتیک+رادار | چندطیفی | رادار | پانکروماتیک | داده ورودی |
| ۲۳ | ۳۳ | ۲۴ | ۲۳ | ۱۸ | ۲۵ | نرون |
| ۹۰.۲۰ | ۸۹.۸۴ | ۸۵.۱۶ | ۸۶.۱۶ | ۷۸.۵۲ | ۷۵.۶۰ | دقت کلی |
| ۸۰.۴۰ | ۷۹.۶۸ | ۷۰.۳۲ | ۷۲.۳۲ | ۵۷.۰۴ | ۵۱.۲۰ | ضریب کاپا |
| ۹۱.۱۲ | ۹۰.۲۴ | ۸۴.۱۶ | ۸۴.۵۶ | ۸۲.۸ | ۶۸.۴۰ | دقت شناسایی ساختمان |



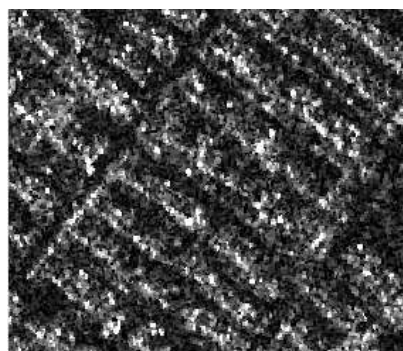
ب



الف



ت



پ

شکل ۹: الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره آیکونوس (ب) تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس (پ) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون افقی افقی (ت) تصویر رادار با گشودگی ترکیبی در پلاریزاسیون عمودی عمودی

دو روش آی اچ اس و PCA در پی داشته است. جدول (۸) نتایج به دست آمده از الگوریتم‌های مختلف را نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی ما، جهت تلفیق تصاویر نتایج بهتری را چه در مرحله تلفیق در سطح ویژگی تصاویر رادار+چندطیفی و همچنین تلفیق ویژگی تصاویر پانکروماتیک+رادار+چندطیفی نسبت به

جدول ۸: مقایسه‌ی پارامترهای ارزیابی روش پیشنهادی با روش قنبری و صاحبی در مقاله [۲۲] و آنالیز مؤلفه‌های اصلی

| دقت شناسایی ساختمان | ضریب کاپا | دقت کلی | الگوریتم پیاده‌سازی شده | |
|---------------------|-----------|---------|---|--|
| | | | رادار+چندطیفی | تلفیق در سطح ویژگی (الگوریتم پیشنهادی) |
| ۹۱.۹۰ | ۸۲.۴۵ | ۹۲.۰۳ | رادار+چندطیفی | تلفیق در سطح ویژگی (الگوریتم پیشنهادی) |
| ۹۰.۸۵ | ۸۴.۳۹ | ۹۲.۸۰ | پانکروماتیک+رادار+چندطیفی | |
| ۸۵.۰۰ | ۷۲.۶۰ | ۸۷.۱۷ | آی اچ اس (روش پیشنهادشده توسط قنبری و صاحبی (۲۰۱۴)) | |
| ۸۳.۰۰ | ۷۱.۳۵ | ۸۶.۴۰ | آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) | |

۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

ساختمان از پوشش‌های گیاهی نبوده است درحالی‌که تصاویر نوری توانایی بیشتری در تمایز بین این دو دارد. با بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق مشخص شد که استفاده توأمان از تصاویر راداری و نوری باعث افزایش دقت در شناسایی ساختمان‌ها شده است و تلفیق در سطح ویژگی با استفاده از شبکه عصبی بر روی بردار ورودی متشکل از ویژگی‌های تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی و راداری، روش بهینه‌ای برای شناسایی ساختمان می‌باشد. نتایج حاصل نشان داد که روش بهینه تلفیق شناسایی ساختمان‌ها، حداقل ۱۰٪ ضریب کاپا، ۴٪ دقت کلی و ۷٪ دقت شناسایی ساختمان‌ها را نسبت به استفاده مجزا از منابع داده افزایش داده است. همچنین استراتژی تلفیق پیشنهادی منجر به حداقل ۸ برابر همگنی نتایج شناسایی شده در انواع مختلف پشت‌بام‌ها شده است. در مطالعات آینده، ما به بررسی روش تلفیق در سطح تصمیم‌گیری تصاویر رادار و اپتیک می‌پردازیم.

در این مقاله، به بررسی حالت‌های مختلف تلفیق در سطح ویژگی داده‌های پانکروماتیک، چندطیفی و رادار با گشودگی ترکیبی با استفاده از ویژگی‌های استخراج‌شده از هر یک از تصاویر به‌منظور تشخیص ساختمان با حد تفکیک بالا پرداخته شد. نتایج حاصل از مقایسه کیفی و کمی الگوریتم‌ها نشان داد که هر یک از الگوریتم‌ها دارای نواقصی در شناسایی ساختمان می‌باشد. درحالی‌که هر یک از آن‌ها در کنار این نواقص دارای توانایی‌هایی می‌باشند که می‌توانند توسط تصویر دیگر پوشش داده شوند. همان‌طور که در تحقیق نشان داده شده است در تصاویر نوری در برخی مناطق پیکسل‌های راه به‌اشتباه به‌عنوان پیکسل ساختمان شناسایی شده است و این به دلیل بافت و طیف نزدیک این دو عارضه در تصاویر نوری می‌باشد درحالی‌که تصاویر رادار دارای بافت متفاوت می‌باشد. تصاویر رادار در برخی مناطق قادر به تفکیک

مراجع

- [1] Y. Zhang, "Optimisation of building detection in satellite images by combining multispectral classification and texture filtering," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, pp. 50-60, 1999.
- [2] J. A. Benediktsson, M. Pesaresi, and K. Amason, "Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 1940-1949, 2003.
- [3] A. K. Shackelford and C. H. Davis, "A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 2354-

- 2363, 2003.
- [4] X. Jin and C. H. Davis, "Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, vol. 2005, pp. 2196-2206, 2005.
- [5] S. Mayunga, D. Coleman, and Y. Zhang, "A semi-automated approach for extracting buildings from QuickBird imagery applied to informal settlement mapping," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 28, pp. 2343-2357, 2007.
- [6] A. Turlapaty, B. Gokaraju, Q. Du, N. H. Younan, and J. V. Aanstoos, "A hybrid approach for building extraction from spaceborne multi-angular optical imagery," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 5, pp. 89-100, 2012.
- [7] J. Zhao, Q. Zhu, Z. Du, T. Feng, and Y. Zhang, "Mathematical morphology-based generalization of complex 3D building models incorporating semantic relationships," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 68, pp. 95-111, 2012.
- [8] J. Wang, X. Yang, X. Qin, X. Ye, and Q. Qin, "An Efficient Approach for Automatic Rectangular Building Extraction From Very High Resolution Optical Satellite Imagery," 2015.
- [9] M. Turker and D. Koc-San, "Building extraction from high-resolution optical spaceborne images using the integration of support vector machine (SVM) classification, Hough transformation and perceptual grouping," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 34, pp. 58-69, 2015.
- [10] E. Simonetto, H. Oriot, and R. Garelo, "Rectangular building extraction from stereoscopic airborne radar images," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 43, pp. 2386-2395, 2005.
- [11] F. Tupin, H. Maitre, J.-F. Mangin, J.-M. Nicolas, and E. Pechersky, "Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 36, pp. 434-453, 1998.
- [12] R. Chellappa, "Advanced Automatic Target Recognition," *DTIC Document* 1998.
- [13] F. Dell'Acqua and P. Gamba, "Texture-based characterization of urban environments on satellite SAR images," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 41, pp. 153-159, 2003.
- [14] M. Stasolla and P. Gamba, "Spatial indexes for the extraction of formal and informal human settlements from high-resolution SAR images," *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of*, vol. 1, pp. 98-106, 2008.
- [15] Y. Wang, F. Tupin, C. Han, and J.-M. Nicolas, "Building detection from high resolution POLSAR data by combining region and edge information," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International*, 2008, pp. IV-153-IV-156.
- [16] Y. Dong, H. Chen, D. Yu, Y. Pan, and J. Zhang, "Building extraction from high resolution SAR imagery in urban areas," *Geo-spatial Information Science*, vol. 14, pp. 164-168, 2011.
- [17] Y. Cao, C. Su, and J. Liang, "High resolution SAR building detection with scene context priming," in *Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE 11th International Conference on*, 2012, pp. 1791-1794.
- [18] L. Zhao, X. Zhou, and G. Kuang, "Building detection from urban SAR image using building characteristics and contextual

- information," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, vol. 2013, pp. 1-16, 2013.
- [19] F. Tupin and M. Roux, "Detection of building outlines based on the fusion of SAR and optical features," ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 58, pp. 71-82, 2003.
- [20] H. Sportouche, F. Tupin, and L. Denise, "Extraction and three-dimensional reconstruction of isolated buildings in urban scenes from high-resolution optical and SAR spaceborne images," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 3932-3946, 2011.
- [21] V. Poulain, J. Inglada, M. Spigai, J.-Y. Tourneret, and P. Marthon, "High-resolution optical and SAR image fusion for building database updating," Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 2900-2910, 2011.
- [22] Z. Ghanbari and M. R. Sahebi, "Improved IHS Algorithm for Fusing High Resolution Satellite Images of Urban Areas," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 42, pp. 689-699, 2014.
- [23] J. Richards Remote Sensing Digital Image Analysis: Introduction, Second ed. New York: Springer, 1993.
- [24] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. H. Dinstein, "Textural features for image classification," Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, pp. 610-621, 1973.
- [25] M. Haghghat, S. Zonouz, and M. Abdel-Mottaleb, "Identification Using Encrypted Biometrics," Computer Analysis of Images and Patterns, pp. 440-448, 2013.
- [26] H. Anys, A. Bannari, D. He, and D. Morin, "Texture analysis for the mapping of urban areas using airborne MEIS-II images," in Proc. First International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, Strasbourg, France, 1994, pp. 231-245.
- [27] D. Brunner, L. Bruzzone, A. Ferro, and G. Lemoine, "Analysis of the reliability of the double bounce scattering mechanism for detecting buildings in VHR SAR images," in Radar Conference, 2009 IEEE, 2009, pp. 1-6.
- [28] R. Guida, G. Franceschetti, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, and U. Stilla, "Building feature extraction via a deterministic approach: Application to real high resolution SAR images," in IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008, pp. 2681-2684.
- [29] F. A. Al-Wassai, N. Kalyankar, and A. A. Al-Zaky, "Multisensor Images Fusion Based on Feature-Level," arXiv preprint arXiv:1108.4098, 2011.



Building Detection in Urban Areas using Features Fusion of Optical and Radar Images in Neural Networks

Maryam. Teimouri¹, Mehdi Mokhtarzade², Mohamad Javad Valadan Zouj³

1- MSc in Remote Sensing, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

2- Associate Professor in Photogrammetry and Remote Sensing, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

3- Professor in Photogrammetry and Remote Sensing, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

In this paper high-resolution SAR, panchromatic and multispectral images are fused for building detection purposes. This fusion is aimed to compensate the defects and shortcomings of these individual data sets. For this reason at first these three data sets are considered individually where some proposed input features are used for building detection. Then these features are fused in different combinations and the results are compared. In all experiments neural networks are applied and their performances are evaluated over different cover types of building roofs. It was discovered that the optimum fusion solution improves the building detection for more than 10% kappa coefficient. Also the proposed fusion strategy caused at least 8 times better homogeneity of detection results over different roof types. The proposed method enjoying overall accuracy, kappa coefficient and building detection accuracy of% 87.11, % 67.99 and%89.08 respectively confirms the ability to detect buildings of multi-resource radar and optical data.

Key words: building detection, fusion, radar image, optical image, neural networks