

انتخاب ویژگی بر مبنای ترکیب روش حداقل افزونگی - حداکثر ارتباط و الگوریتم ژنتیک جهت طبقه بندی تصویر تلفیقی اپتیکی و رادار با روزنه مجازی

مریم تیموری^{۱*}، مهدی مختارزاده^۲، یزدان عامریان^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mteimouri@mail.kntu.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

m_mokhtarzade@kntu.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

amerian@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۶، تاریخ تصویب فروردین ۱۳۹۷)

چکیده

استفاده از داده‌های چند منبعی، به‌ویژه استفاده ترکیبی از تصاویر اپتیکی و راداری، روشی موفق در بهبود سطح تفسیرپذیری داده‌های سنجش از دور است. در این راستا، تولید و انتخاب ویژگی‌های مناسب از این داده‌ها، چالشی جدی در حوزه تحقیقات اخیر می‌باشد. در تحقیق حاضر، با هدف کاهش زمان دستیابی به ویژگی‌های بهینه، روشی جدید جهت انتخاب ویژگی از تصاویر تلفیقی اپتیکی و راداری ارائه شده است. در روش پیشنهادی، با ترکیب روش حداقل افزونگی - حداکثر ارتباط و الگوریتم ژنتیک، ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌شوند. در این راستا، ابتدا ویژگی‌های مختلفی از تصویر استخراج شده و از طریق دو روش الگوریتم ژنتیک و روش حداقل افزونگی - حداکثر ارتباط - ژنتیک ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌شوند. پس از آن تصویر توسط SVM طبقه‌بندی می‌شود. در نهایت نتایج نشان می‌دهد که دقت روش پیشنهادی با حصول دقت کلی ۹۷،۲۵٪ در حدود ۳ درصد بیشتر از دقت روش SVM با استفاده از تمام ویژگی‌ها است. همچنین دقت کلی روش پیشنهادی و روش ژنتیک نزدیک به یکدیگر می‌باشد. در حالی که سرعت عملکرد روش پیشنهادی تقریباً ۲،۵ برابر سرعت عملکرد انتخاب ویژگی توسط روش ژنتیک است. بنابراین نتایج حاصل مؤید کارایی روش پیشنهادی است.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی تصویر، تلفیق، انتخاب ویژگی، MRMR-GA

۱- مقدمه

امروزه به دلیل پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنجش از دور، طبقه‌بندی تصاویر به‌ویژه در مناطق شهری به‌عنوان یک مسئله چالش‌برانگیز به شمار می‌آید. به همین منظور در اختیار داشتن اطلاعات دقیق و به‌هنگام از پوشش‌ها و کاربری‌های زمین در برنامه‌ریزی و مدیریت این مناطق کمک شایانی می‌نماید. از آنجاکه مناطق شهری دارای تنوع طیفی و پیچیدگی بالایی می‌باشند به این خاطر استخراج این اطلاعات نیازمند داشتن تصاویر ماهواره‌ای است که به‌طور هم‌زمان دارای قابلیت طیفی و مکانی بالایی است اما به دلیل محدودیت‌های سیستم‌های تصویربرداری این مسئله امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا محققان برای به‌کارگیری توأمان از اطلاعات طیفی و مکانی اقدام به تلفیق تصاویر می‌کنند. از دیگر دلایل استفاده از تلفیق تصاویر امکان‌سنجی استفاده از داده‌های مختلف و بهبود الگوریتم‌های موجود در طبقه‌بندی تصاویری مانند نوری توسط تصاویر راداری می‌باشد. مکمل بودن دو داده‌ی راداری و نوری [۱] به‌عنوان یک فرضیه‌ای که قادر به ارائه پوشش‌های سطح زمین است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور مثال، در پوشش‌های سطح زمین انرژی نوری منعکس‌شده از پوشش‌های گیاهی وابسته به وجود ساختار برگ‌ها و رطوبت و رنگ‌دانه می‌باشد درحالی‌که انرژی ماکروویو پراکنده‌شده توسط پوشش گیاهی وابسته به اندازه، چگالی جهت‌گیری و خواص دی‌الکتریک است [۲]. در این راستا روش‌های مختلفی جهت تلفیق تصاویر پیشنهاد شده است که در مجموع می‌توان تلفیق در سطح پیکسل که در پایین‌ترین سطح صورت می‌گیرد را به سه گروه تقسیم نمود [۳]:

- ۱) الگوریتم‌های مبتنی بر سیستم تصویر و جانمایی مؤلفه‌ها مانند IHS، گرام اشمیت و PCA [۴]
 - ۲) الگوریتم‌های مبتنی بر نسبت بانندی و ترکیبات حسابی مانند SVR و 2SFIM [۵]
 - ۳) الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر و در حوزه فرکانس مانند موجک [۶] و 3NSCT Agrawal [۷، ۴]
- در روش‌های ارائه‌شده در سطح پیکسل، الگوریتم‌های مبتنی بر سیستم تصویر مانند IHS، PCA با به‌کارگیری تبدیل خطی در حوزه مکان عمل می‌کنند که مشکل

عمده این روش‌ها وجود اعوجاج طیفی در تصاویر ادغام‌شده است. در راستای بهبود آن‌ها روش‌هایی ارائه شد [۳، ۸]. همچنین در الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر تصاویر چندطیفی در زمان تلفیق با تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا دچار کمترین اعوجاج طیفی می‌شوند. عملکرد آن به این صورت است که اطلاعات فرکانس پایین تصویر چندطیفی حفظ و اطلاعات فرکانس بالای تصویر با قدرت تفکیک بالا به آن انتقال داده می‌شود [۳].

شاه‌دوستی و قاسمیان در سال ۲۰۱۶، با استفاده از ادغام دو روش Spectral PCA و Spatial PCA یک فیلتر بهینه ایجاد نمودند [۳]. سپس اقدام به تلفیق تصاویر Landsat، QuichBird و Worldview 2 کردند. صادقی در سال ۱۳۹۲ به بررسی تلفیق تصاویر فراطیفی با تصاویر نوری با قدرت تفکیک بالا پرداخت [۹]. او در این راستا به بررسی روش‌های مختلف تلفیق از قبیل IHS، PCA، Fast-IHS، Wavelet-IHS و FFT-IHS اقدام کرد و در نتیجه نشان داد که بهترین کیفیت طیفی از روش‌های FFT-IHS و Wavelet-IHS به دست می‌آید و بهترین کیفیت مکانی مربوط به روش Fast-IHS است. بشیرپور در سال ۱۳۹۴ به منظور تهیه نقشه تغییرات اقدام به ارائه دو روش FFT-PCA و Wavelet-PCA جهت تلفیق تصاویر فراطیفی و پانکروماتیک کرد [۸]. روش پیشنهادی‌اش دارای دقت بیشتری نسبت به HIS، PCA و دیگر روش‌های مورد بررسی داشت. دوبهال در سال ۲۰۰۸، به تلفیق تصاویر ابرطیفی و نوری با استفاده از روش‌های تبدیل گرام اشمیت، مؤلفه‌های اصلی و همچنین نرمالایز رنگی پرداخت [۱۰]. او در روش پیشنهادی‌اش نشان داد که تلفیق تصاویر باعث بهبود دقت طبقه‌بندی توسط روش SAM شده است.

ونگ و همکارش در سال ۲۰۱۶، با استفاده از روش موجک اقدام به تلفیق تصاویر نوری و راداری جهت طبقه‌بندی پوشش‌های زمین کرد [۱۱]. در این راستا آن‌ها دو روش پیکسل مینا و شیء مینا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل‌شده بیانگر این بود که روش پیکسل مینا عملکرد بهتری داشته است. کاساپوگ لو و التوفت در سال ۲۰۱۳، باهدف طبقه‌بندی پوشش زمین اقدام به تلفیق تصاویر Landsat، Radarsat و ALOS PALSAR کردند [۱۲]. در روش پیشنهادی‌شان با به‌کارگیری سطح اطمینان‌های مختلف برای خروجی‌های

طبقه‌بندی و یا کاهش ابعاد فضای ویژگی از روش‌های مختلف انتخاب ویژگی استفاده کردند.

چنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱، به‌منظور تولید فضای ویژگی بهینه، روشی بر مبنای ارتباط بین اطلاعات متقابل و اطلاعات متقابل مشروط را پیشنهاد دادند [۱۹].

کی و همکارانش در سال ۲۰۱۴ با به‌کارگیری الگوریتم درخت تصمیم‌گیری به ارائه‌ی روشی برای انتخاب ویژگی از تصاویر پلاریمتریک راداری پرداختند [۲۰]. همچنین در این راستا در سال ۱۳۹۴، خسروی و همکارانش با ترکیب الگوریتم درخت تصمیم‌گیری و ژنتیک ویژگی‌های بهینه را از تصاویر پلاریمتریک راداری انتخاب کردند [۲۱].

مقصودی و همکاران در سال ۲۰۱۲، جهت انتخاب ویژگی از دو روش غیرپارامتریک و کلاس مینا استفاده کردند [۲۲]. در روش کلاس مینا، انتخاب ویژگی به‌طور مجزا برای هر کلاس انجام‌شده و سپس بر هر مجموعه بردار ویژگی منتخب طبقه‌بندی صورت گرفته است. در نهایت تصمیم‌گیری نهایی از ترکیب نتایج طبقه‌بندی مرحله قبل به دست آمد. نتایج به‌دست‌آمده از روش کلاس مینا در مقایسه با روش غیرپارامتریک که بر روی تمام ویژگی‌ها انجام‌شده بود دارای دقت بالاتری بوده است. در سال ۱۹۹۴، پیویدیل و همکاران در جهت حل مشکلات SFS [۲۳] و SBS [۲۴]، دو جستجوی ترتیبی SFFS و SBFS را پیشنهاد دادند [۲۵]. قلی زاده و همکاران در سال ۲۰۱۱، به‌منظور کاهش ابعاد تصاویر فراطیفی از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۲۶]. آن‌ها در روش پیشنهادی‌شان تابع تناسب را براساس سطح زیر محنی تعریف کردند. صالحی و همکارانش در سال ۲۰۱۴، به‌منظور انتخاب ویژگی تصاویر پلاریمتریک، دو روش MOGA-SVM و MOGA-ANFIS را بکار بردند [۲۷]. آن‌ها در روش پیشنهادی‌شان در مرحله‌ی جستجو از الگوریتم چندهدفه^۲ NSGA-II و به‌منظور ارزیابی نتایج از دو طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی استفاده کردند. میر و بن تمپ در سال ۲۰۰۶، روشی بر مبنای نظریه اطلاعات و متغیر مکمل جهت انتخاب ویژگی را پیشنهاد دادند [۲۸]. پنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۵، روشی جهت دستیابی به حداکثر وابستگی آماری بر مبنای حداقل افزونگی و حداکثر ارتباط^۳ را ارائه دادند [۲۹].

مختلف به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی‌های مرحله قبل، اقدام به تلفیق در سطح تصمیم‌گیری کردند. در سال ۲۰۱۶، تیموری و همکارانش با استفاده از تلفیق تصاویر SAR و نوری در سطح ویژگی و تصمیم‌گیری، به ارائه روشی بهینه جهت شناسایی ساختمان را پیشنهاد دادند [۱۳]. قنبری و صاحبی در سال ۲۰۱۴، به ارائه روشی جهت بهبود کیفیت طیفی الگوریتم IHS بر اساس ادغام تصویر با حد تفکیک مکانی بالا (رادار) و تصویر شدت حاصله از تصویر نوری پرداختند [۱۴]. در سال ۱۳۹۲، خصالی و همکارانش جهت استخراج عارضه راه به تلفیق دانش‌پایه تصاویر نوری و راداری پرداختند [۱۵]. در این راستا ویژگی‌های بافت از تصاویر استخراج و به‌طور مجزا وارد شبکه عصبی شدند. سپس با اعمال دو فیلتر جهت شناسایی پیکسل‌های راه و گیاه به تصمیم‌گیری در مورد ماهیت پیکسل‌ها پرداخته‌شد. کلریکی و همکارانش در سال ۲۰۱۷، با استفاده از تصاویر Sentinel-1A و Sentinel-2A به طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از سه طبقه‌بندی کننده‌ی SVM، KNN و Random Forests پرداختند [۱۶]. در این راستا نیز بگان و همکارانش، در سال ۲۰۱۲ نشان دادند زمانی که از ترکیب داده‌ی AVNIR-2 و PALSAR و ماتریس کوهرنسی پلاریمتریک استفاده می‌شود روش subspace نسبت به روش SVM و MLC عملکرد بهتری خواهد داشت و در صورت وجود افزونگی داده، این روش دارای پایداری بیشتری نسبت به سایر روش‌ها است [۱۷]. در سال ۲۰۱۶، جوشی و همکارانش به بررسی ۱۱۲ مقاله‌ی چاپ‌شده در زمینه‌ی تلفیق تصاویر راداری و نوری در حیطه‌های مختلف پوشش زمین، تغییر کاربری زمین و غیره پرداختند [۲].

از دیگر قابلیت‌های پیشرفت‌های اخیر، تولید ویژگی‌های فراوان از تصاویر ماهواره‌ای است که به‌کارگیری همزمان تمامی این ویژگی‌ها باعث کاهش دقت طبقه‌بندی و افزایش حجم محاسبات می‌شود. همچنین افزایش تعداد ویژگی‌ها در صورت نبودن تعداد نمونه‌های آموزشی کافی، منجر به پراکندگی نمونه‌ها در فضایی با ابعاد بالا^۱ می‌شود. بنابراین کاهش فضای ویژگی به‌منظور جلوگیری از پراکندگی نمونه‌ها در فضایی با ابعاد بالا ضروری می‌باشد [۱۸]. در این راستا برخی محققان به‌منظور افزایش دقت

^۲ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm-II

^۳ Minimal Redundancy Maximal Relevance(MRMR)

^۱ curse of dimensionality

احتمال اشتراک بین دو بردار ویژگی افزایش یابد مقدار آن بیشتر می‌شود. اطلاعات متقابل بین دو متغیر x و y ، طبق رابطه (۱) بر اساس تابع چگالی احتمال $p(x)$ ، $p(y)$ و $p(x,y)$ به دست می‌آید:

$$I(x, y) = \sum_{y \in Y} \sum_{x \in X} p(x, y) \log \left(\frac{p(x, y)}{p(x)p(y)} \right) \quad (1)$$

در روش حداکثر ارتباط، انتخاب ویژگی x_i نیازمند این است که $I(x_i, c)$ بیشترین مقدار خود را با کلاس c داشته باشد. این روند بیانگر حداکثر وابستگی ویژگی x با کلاس c است. حداکثر ارتباط یکی از روش‌های جستجوی ویژگی‌های بهینه است که طبق رابطه (۲) بر مبنای مقدار میانگین همه مقادیر اطلاعات متقابل بین ویژگی‌های مجزای x_i و کلاس c به دست می‌آید.

$$\max D(S, c), \quad D = \frac{1}{|S|} \sum_{x_i \in S} I(x_i; c) \quad (2)$$

طبق رابطه (۲) ویژگی‌هایی که بیشترین وابستگی را به کلاس دارند، انتخاب می‌شوند؛ اما این وابستگی ممکن است بین ویژگی‌ها زیاد باشد. بنابراین برای حداقل کردن افزونگی، اطلاعات متقابل بین ویژگی‌ها را طبق رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$\min R(S), \quad R = \frac{1}{|S|^2} \sum_{x_j, x_i \in S} I(x_j; x_i) \quad (3)$$

حال به منظور دستیابی به ویژگی بهینه از طریق حداقل افزونگی-حداکثر ارتباط دو رابطه (۲) و (۳) با یکدیگر ترکیب شده و رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\max_{x_j \in X - S_{m-1}} [I(x_j; c) - \frac{1}{m-1} \sum_{x_i \in S_{m-1}} I(x_j; x_i)] \quad (4)$$

در رابطه (۴)، m بیانگر تعداد ویژگی انتخاب شده از مجموعه ویژگی k و X بردار ویژگی می‌باشد.

۲-۲- تبدیل موجک گسسته یا DWT

در تبدیل موجک گسسته، سیگنال مربوطه که متشکل از فیلترهای بالاگذر جهت تجزیه و تحلیل فرکانس‌های بالا و فیلترهای پایین گذر برای تجزیه و تحلیل فرکانس‌های پایین، عبور داده می‌شود. بنابراین سیگنال اصلی در هر

با نگاه کلی بر تحقیقات انجام شده روش‌های انتخاب ویژگی به دو گروه کلی فیلتر^۱ مبنا و پوششی^۲ دسته‌بندی می‌شوند [۳۰]. در این راستا روش‌های فیلتر مبنا نیز به سه دسته تقسیم می‌گردند: (۱) روش‌هایی که هدف آن‌ها افزایش جدایی‌پذیری کلاس‌ها می‌باشد مانند روش PCA (۲) روش‌هایی که هدف آن‌ها کاهش همبستگی بین کلاس‌ها است مانند روش LDA (۳) روش‌هایی که هدف آن‌ها تقویت اطلاعات متقابل بین ویژگی و کلاس می‌باشد مانند روش حداقل افزونگی-حداکثر ارتباط [۲۹]. در روش-های فیلتر مبنا که انتخاب ویژگی با سرعت بالا و مستقل از عملکرد طبقه‌بندی انجام می‌شود، این امکان وجود دارد که زیر مجموعه‌ای بهینه از ویژگی حاصل نگردد [۳۱]. در حالی که در روش‌های پوششی (مانند الگوریتم ژنتیک^۳) هدف دستیابی به زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌هایی است که منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود. اما با وجود دقت بالای این روش‌ها دارای پیچیدگی و هزینه محاسباتی بالاتری نسبت به روش‌های فیلتر مبنا را دارند [۳۱].

به منظور بهره‌گیری از مزیت‌های دو دسته روش فیلتر مبنا و پوششی که منجر به کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت و دقت طبقه‌بندی شود، در این مقاله الگوریتم ترکیبی از روش حداقل افزونگی-حداکثر ارتباط و الگوریتم ژنتیک (MRMR-GA)، با هدف دستیابی به ویژگی‌های بهینه از تصویر تلفیقی اِپتیک و رادار با روزه مجازی جهت طبقه بندی پیشنهاد شده است.

ادامه ساختار مقاله به شرح زیر است: بخش دوم، مواد و روش‌ها توضیح داده می‌شود. بخش سوم، معرفی داده‌های ورودی و پیش‌پردازش. بخش چهارم، تلفیق تصاویر نوری و راداری، استخراج و انتخاب ویژگی ارائه شده است و سپس به طبقه‌بندی تصویر پرداخته شده است. بخش پنجم خلاصه و نتیجه‌گیری بیان شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- الگوریتم MRMR

عملکرد الگوریتم MRMR [۲۹] بر اساس عملکرد اطلاعات متقابل^۴ بین دو فضای ویژگی می‌باشد که هرچه

^۱ filter

^۲ wrapper

^۳ Genetic Algorithm (GA)

^۴ Mutual Information

مرحله به دو سیگنال Approximation و Detail تجزیه می‌شود. سیگنال تقریب aj حاوی مؤلفه‌های مقیاس بالا (فرکانس پایین) و سیگنال جزئیات dj حاوی مؤلفه‌های مقیاس پایین و یا فرکانس بالای سیگنال است.

$$b_i^* = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} \mu_{i,j} b_j^* \quad (6)$$

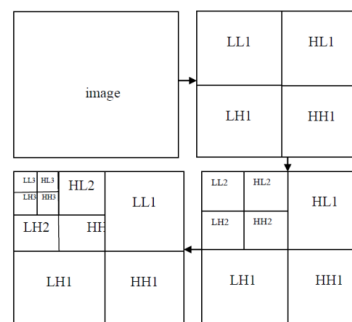
$$\mu_{i,j} = \frac{b_i, b_j^*}{b_j, b_j^*} \quad (7)$$

توسط تبدیل گسسته ویولت می‌توان سیگنال اصلی $a_0(t)$ (رابطه ۵) را در سطوح مختلف تجزیه کرد. بنابراین سیگنال اصلی از جمع سیگنال‌های حاصل شده به دست می‌آید. به عبارت دیگر اگر سیگنال را به n سطح تجزیه کرد سیگنال اولیه را می‌توان سیگنال Approximation در آخرین سطح و جمع توابع جزئیات در سطوح مختلف به دست آوریم.

$$a_0(t) = a_n(t) + \sum_{j=1}^n d_j(t) \quad (5)$$

با توجه به اینکه تصاویر متشکل از دو بعد می‌باشند، اگر یک تصویر توسط تبدیل موجک گسسته مورد تجزیه قرار گیرد، چهار تصویر به دست می‌آید: یک تصویر مربوط به کلیات و سه تصویر مربوط به جزئیات (جزئیات افقی، عمودی و قطری).

بنابراین ابتدا روی هر کدام از سطرها و ستون‌ها به‌طور مجزا تبدیل موجک یک‌بعدی اعمال می‌شود و به ترتیب ستون‌ها و سطرها با نرخ ۲، downsample می‌شوند؛ بنابراین ۴ زیر تصویر (LL, LH, HL, HH) به‌عنوان ضرایب تبدیل حاصل می‌شود که ضرایب تقریب (LL) مشابه تصویر اولیه است و بیانگر کلیات تصویر است و ۳ تصویر دیگر که به‌عنوان ضرایب جزئیات (LH, HL, HH) شناخته می‌شوند و بیانگر جزئیات تصویر به ترتیب در راستای افقی، عمودی و قطری است. شکل (۱) تجزیه تصویر در سه سطح را نشان می‌دهد.



شکل ۱- تجزیه تصویر در سه سطح [۳۲]

۳- مشخصات داده‌های مورد استفاده و پیش پردازش

منطقه مطالعاتی شهر شیراز در جنوب ایران با عرض جغرافیایی بین $29^{\circ} 36' 56''$ و $29^{\circ} 37' 47''$ و طول جغرافیایی $52^{\circ} 29' 51''$ و $52^{\circ} 30' 19''$ می‌باشد که شامل کلاس‌های ساختمان، راه، درخت و زمین بایر است. شکل (۲) نقشه منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در این تحقیق جهت بررسی روش پیشنهادی از تصاویر دو سنجنده Ikonos و Terrasar-x استفاده شده است. تصاویر سنجنده Ikonos متشکل از دو تصویر پانکروماتیک و چندطیفی با قدرت تفکیک به ترتیب ۱ و ۴ متر می‌باشد. تصویر Terrasar-x در مد اسپات لایت و در دو پلاریزاسیون افقی عمودی و عمودی عمودی با قدرت تفکیک یک متر اخذ شده است. اختلاف زمانی تصاویر فوق در حدود ۷ سال می‌باشد. لذا تلاش بر این شد که منطقه‌ای از تصاویر فوق در نظر گرفته شود که تغییراتی در طول این بازه زمانی نداشته است. بنابراین منطقه مطالعاتی در این پژوهش، دارای ابعاد 600×600 پیکسل از منطقه شهری می‌باشد. شکل (۳) تصاویر مورد استفاده را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۱) تعدادی نمونه‌های آموزشی و تست بکار گرفته شده، جهت آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

پیش‌پردازش‌های اعمال شده بر تصاویر شامل هم بعد سازی و هم مرجع سازی می‌باشد. در این راستا به‌منظور هم بعد سازی تصویر چند طیفی با دیگر تصاویر جهت دستیابی به حد تفکیک یک متر از روش نزدیک‌ترین همسایگی

۳-۲- روش گرام اشمیت^۱

تبدیل گرام اشمیت، روشی آماری جهت ایجاد مجموعه‌ای از متغیرهای ناهمبسته و متعامد

^۱ Gram Schmidt

بنابراین از حذف نویز اسپیکل چشم‌پوشی می‌شود. همچنین هم مرجع سازی تصاویر فوق توسط ۶ نقطه کنترل با دقت زیر پیکسل در نرم‌افزار PCI انجام شده است.

استفاده شد. در این تحقیق به جهت به‌کارگیری دامنه تصاویر راداری حذف نویز اسپیکل تأثیر چشم‌گیری نداشته و باعث از دست دادن اطلاعات مکانی می‌شود [۱۳].



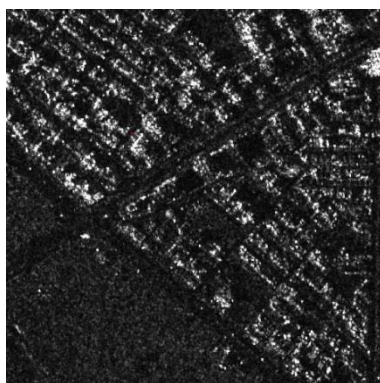
شکل ۲- منطقه مطالعاتی شهر شیراز



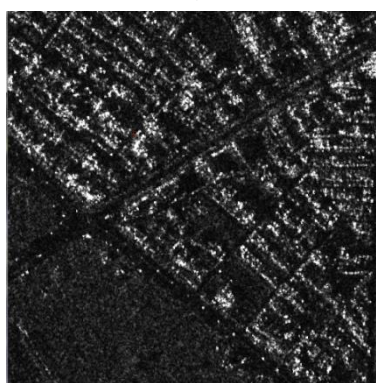
(الف)



(ب)



(پ)



(ت)

شکل ۳- (الف) تصویر پانکروماتیک ماهواره Ikonos (ب) تصویر چندطیفی ماهواره Ikonos (پ) تصویر SAR در پلاریزاسیون افقی (ت) تصویر SAR در پلاریزاسیون عمودی عمودی

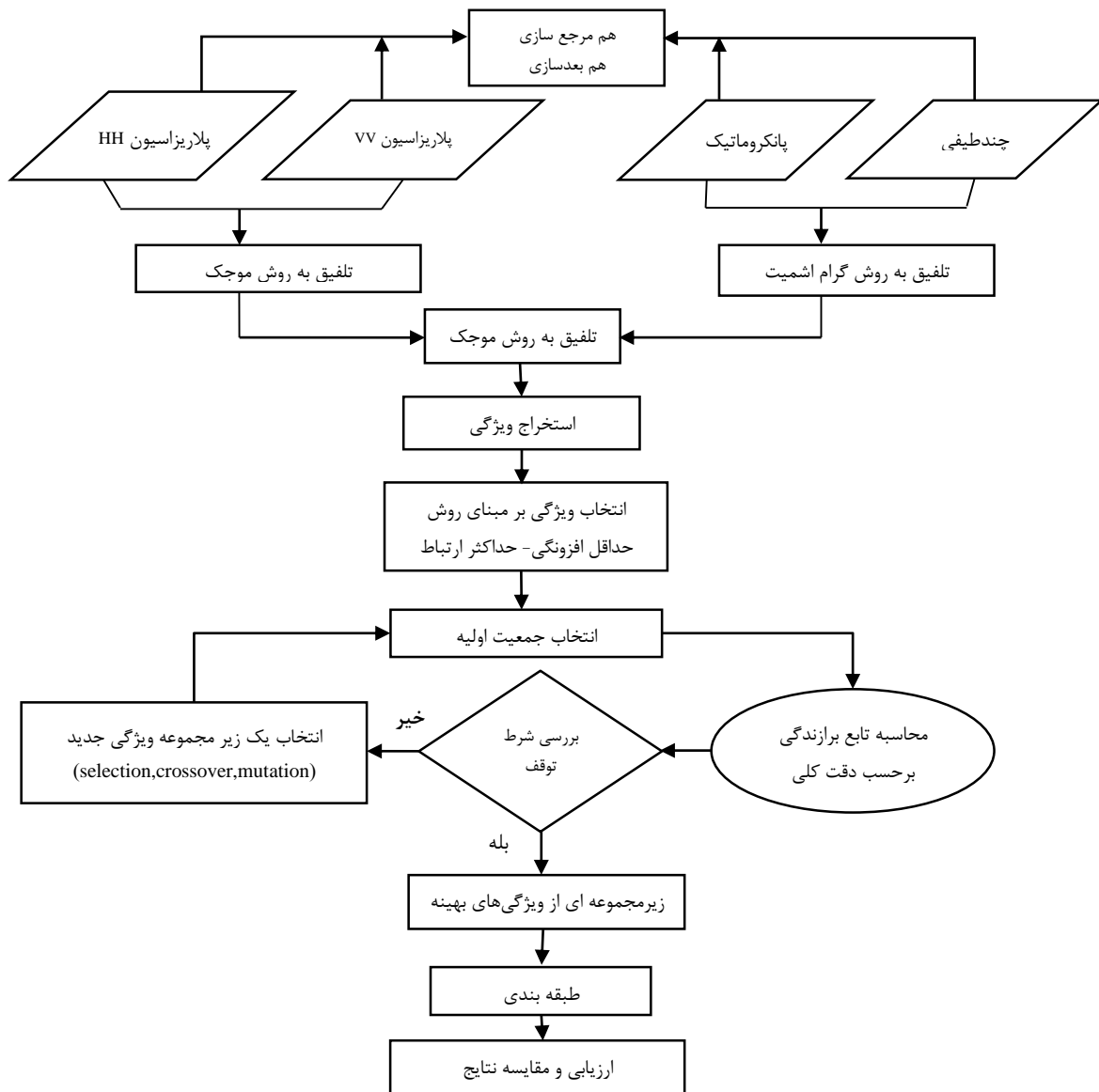
جدول ۱- تعداد داده‌های آموزشی و تست برای هر کلاس

تعداد پیکسل‌های تست	تعداد پیکسل‌های آموزشی	کلاس
۴۰۰	۲۰۰	راه
۴۰۰	۲۰۰	ساختمان
۴۰۰	۲۰۰	درخت
۴۰۰	۲۰۰	زمین بایر
۱۶۰۰	۸۰۰	مجموع

۴- روش تحقیق

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره شد هدف اصلی روش پیشنهادی (شکل ۴) افزایش سرعت عملکرد روش انتخاب ویژگی، از طریق به‌کارگیری توأمان از پتانسیل روش‌های فیلتر مبنای و پوششی است. روش فیلتر مبنای استفاده‌شده در این تحقیق روش حداقل افزونگی-حداکثر ارتباط می‌باشد. در روش مذکور با شرط حداقل‌سازی اطلاعات متقابل بین دو ویژگی به ماکزیمم سازی اطلاعات متقابل بین ویژگی و کلاس پرداخته می‌شود. انجام این فرآیند باعث دستیابی به ویژگی‌های مستقل خواهد شد که کلاس‌ها را به خوبی توصیف خواهند کرد و در نهایت باعث کاهش ابعاد فضای ویژگی می‌شود. سپس بعد از

دستیابی به یک مجموعه ویژگی بهینه از طریق روش حداقل افزونگی-حداکثر ارتباط، ویژگی‌های منتخب وارد الگوریتم ژنتیک می‌شوند که تابع برازندگی آن بر اساس مقدار دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی می‌باشد. در این راستا به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، به تولید فضای ویژگی با ابعاد بالا پرداخته می‌شود. سپس خروجی حاصل از انتخاب ویژگی از تصویر تلفیقی ایتیکی و راداری به طبقه‌بندی کننده SVM داده می‌شود. پارامترهای بکار گرفته‌شده در این تحقیق جهت ارزیابی نتایج، دقت کلی و دقت کلاسی می‌باشد و همین‌طور در این تحقیق به مقایسه سرعت و دقت روش پیشنهادی با روش ژنتیک پرداخته می‌شود.



شکل ۴- فلوجارت روش پیشنهادی

۴-۱- تولید تصویر تلفیقی نوری و راداری

۴-۱-۱- تلفیق تصاویر نوری

به منظور در اختیار داشتن تصویر نوری که به طور همزمان دارای اطلاعات طیفی و مکانی بالایی باشد اقدام به تلفیق تصاویر پانکروماتیک و چندطیفی توسط الگوریتم گرام اشمیت شد. تصویر تولید شده دارای ۴ باند می باشد که دارای قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالایی است.

۴-۱-۲- تلفیق تصاویر راداری

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق یک محدوده شهری است. بنابراین متشکل از اجسام با توجیه افقی و توجیه عمودی است. بنابراین اجسامی که توجیه عمودی دارند باز پراکنش عمودی عمودی بیشتر و اجسامی که توجیه افقی دارند دارای پراکنش افقی افقی بیشتر می باشند [۳۵]. از آنجاکه تصویر راداری بکار گرفته شده در این تحقیق دارای دو پلاریزاسیون افقی افقی و عمودی عمودی است، تبدیل موجک گزینه‌ی مناسبی جهت تلفیق این دو پلاریزاسیون از بین دیگر روش‌های تلفیق در سطح پیکسل می باشد، به این دلیل که این روش در راستای افقی و عمودی جزئیات را در اختیار می گذارد و تصویر خروجی متشکل از اطلاعات موجود در هر دو جهت می باشد. بنابراین به منظور به کارگیری از دو خصوصیت منحصر به فرد این دو پلاریزاسیون اقدام به تلفیق آن‌ها توسط تبدیل موجک می شود. در نهایت تصویر حاصل شده دارای یک باند می باشد.

۴-۱-۳- تلفیق تصاویر نوری و راداری

وجود شباهت‌های طیفی زیاد در مناطق شهری شناسایی برخی کلاس‌ها را از تصاویر نوری دشوار می سازد [۳۶]. از طرفی دیگر میزان بازگشت امواج ماکروویو از عوارض دست ساز مانند ساختمان جهت گیری مناسبی نسبت به موج ارسالی داشته و به ماکزیمم مقدار خود می رسد بنابراین در تصویر نقاط روشن ظاهر می شود، در حالی عوارضی مانند راه به دلیل صاف بودن سطح آن و ارسال سیگنال به سمتی غیر از جهت سنجنده، سطح راه تیره می کند. در نتیجه این اتفاق عاملی جهت تفکیک پذیری کلاس راه از ساختمان می شود [۱۴].

بنابراین به کارگیری همزمان از داده‌های راداری و نوری بستری جهت بهره‌گیری از پتانسیل هر دو منبع جهت تفکیک پذیری کلاس‌ها فراهم می نماید. به همین منظور در این تحقیق تصاویر اپتیک و راداری تلفیقی ایجاد شده از مرحله اول و دوم باهدف تفکیک پذیری بیشتر کلاس‌ها توسط تبدیل موجک با یکدیگر تلفیق شدند که در نهایت تصویر حاصل شده دارای ۴ باند می باشد.

۴-۲- استخراج ویژگی از تصاویر

ویژگی‌های بکار برده شده در این تحقیق، مطابق جدول (۲) شامل توصیفگرهای آماری مرتبه اول، توصیفگرهای آماری مرتبه دوم، فیلتر گابور و اطلاعات موجود در هر باند تصویر می باشد. روند استخراج ویژگی‌ها از هر باند تصویر بدین شرح است. ابتدا پارامترهای فیلتر گابور در ۵ مقیاس و ۸ جهت مختلف ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$) تولید شدند، سپس از جهات مختلف میانگین گرفته شد و در نهایت ۵ ویژگی از هر باند تصویر تولید شد. سپس جهت تولید دیگر اطلاعات بافت، ۶ پارامتر از توصیفگرهای مرتبه دوم و ۴ پارامتر از توصیفگرهای مرتبه اول از هر باند استخراج شدند. در نهایت از هر باند تصویر، ۱۶ ویژگی تولید می شود. بنابراین طبق توضیحات ذکر شده، می توان نتیجه گرفت که از تصاویر پانکروماتیک، چندطیفی، پلاریزاسیون HH و پلاریزاسیون VV به ترتیب ۱۶، ۶۴، ۱۶ و ۱۶ ویژگی و از تصاویر تلفیقی نوری، راداری و نوری-راداری به ترتیب ۶۴، ۱۶ و ۶۴ ویژگی استخراج می شود. همچنین جهت هم رنج کردن بازه‌ی مقادیر هر بردار ویژگی، این مقادیر بین اعداد صفر و یک نرمالایز شدند.

جدول ۲- ویژگی‌های مورد استفاده در این تحقیق

ویژگی	توصیف	روابط
اطلاعات طیفی	باندهای طیفی	-
توصیفگرهای آماری مرتبه اول	دامنه داده	ماکزیمم مقدار منهای حداقل مقدار در هر کرنل
	میانگین	$M = \sum_{i=0}^{N_g-1} i \cdot P(i)$
	واریانس	$\sum_{i=0}^{N_g-1} (i - M)^2 P(i)$
	آنتروپی	$- \sum_{i=0}^{N_g-1} P(i) * \ln P(i)$
توصیفگرهای آماری مرتبه دوم	آنتروپی	$- \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) \log(P(i, j))$
	کنتراست	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j)(i - j)^2$
	واریانس	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} (i - u)^2 * P(i, j)$
	عدم شباهت	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i, j) i - j $
	همگنی	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2}$
	میانگین	$\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} i * P(i, j)$
	فیلتر گابور	در مقیاس و جهات متفاوت

بافت

حداقل افزونگی- حداکثر ارتباط شده و ویژگی‌های اضافی و غیر مهم از مجموعه ویژگی بر مبنای ماکزیمم سازی اطلاعات متقابل بین دو ویژگی و حداقل سازی اطلاعات متقابل بین ویژگی و کلاس (طبق بخش ۲-۱) و کاهش دقت کلی طبقه‌بندی حذف می‌شود که این عملکرد باعث کاهش بار محاسباتی و ورود ویژگی‌هایی با حداقل وابستگی به یکدیگر در مرحله بعد می‌شود. سپس در مرحله دوم از یک فرآیند پیچیده‌تری جهت انتخاب ویژگی استفاده می‌شود که در این مرحله با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بررسی جامع‌تری از میان ویژگی‌های منتخب مرحله قبل پرداخته می‌شود تا به یک زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌های بهینه که باعث افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شوند دست یابند.

در روابط آورده شده در جدول (۲)، پارامتر $p(i)$ احتمال وجود درجه خاکستری i و N_g تعداد درجات خاکستری تصویر می‌باشد. پارامتر i و z معرف سطر و ستون ماتریس می‌باشد. در رابطه فرمول فیلتر گابور، δ_x و δ_y به ترتیب انحراف معیار در راستای x و y و همچنین δ_u ، δ_v انحراف معیار در راستای u و v می‌باشد. w بیانگر فرکانس تابع سینوسی است. $g(x, y)$ به‌عنوان موجک اساسی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳- انتخاب ویژگی

هدف از این بخش، طراحی الگوریتمی مؤثر و کارآمد جهت انتخاب یک مجموعه ویژگی بهینه است. الگوریتم پیشنهادی از دو مرحله اصلی تشکیل شده است. در ابتدا مجموعه ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر وارد الگوریتم

کرنل گوسین است که همان طور که رابطه (۸) مشاهده می شود دارای پارامتر σ می باشد. بنابراین برای دستیابی به مقدار بهینه پارامتر σ و پارامتر C در SVM، از الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

$$K(x, x') = \exp\left(-\frac{|x - x'|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

در ابتدا قبل از ارزیابی الگوریتم پیشنهادی لازم می باشد که به بررسی عملکرد روش تلفیقی گرام اشمیت برای تصاویر اپتیکی و روش ویولت برای تصاویر راداری پرداخت. در این راستا ویژگی های معرفی شده در بخش ۲-۴ (بدون انتخاب ویژگی) به طبقه بندی کننده SVM داده شد. نتایج حاصل شده در جدول (۳) آورده شده است.

تابع هدف در نظر گرفته شده در الگوریتم ژنتیک مقدار دقت کلی حاصل از طبقه بندی می باشد. هر مجموعه بردار ویژگی انتخابی که باعث افزایش دقت طبقه بندی شود به عنوان بردار ویژگی بهینه انتخاب می گردد. در این راستا جمعیت اولیه برابر با ۸۰ کروموزوم به صورت تصادفی تولید می گردد، همچنین به منظور انتخاب والدین از روش Tournament و تقاطع تک نقطه ای با نرخ ۰.۶ و جهش یکنواخت استفاده می شود. همچنین شرط توقف الگوریتم زمانی رخ می دهد که اختلاف بین بهترین نتیجه به دست آمده از ده نسل متوالی کمتر از ۰.۰۰۰۱ باشد.

۴-۴- طبقه بندی

به منظور طبقه بندی تصاویر، از طبقه بندی کننده SVM استفاده شد. کرنل در نظر گرفته شده در SVM

جدول ۳- پارامترهای ارزیابی طبقه بندی مجزا و تلفیقی تصاویر اپتیکی و راداری

تصویر	دقت کلی	ضریب کاپا	ساختمان	درخت	راه	زمین بایر
پانکروماتیک	۷۳,۲۵	۶۴,۳۳	۶۱,۰۰	۸۴,۵۰	۶۲,۰۰	۸۵,۵۰
چندطیفی	۹۱,۳۱	۸۸,۴۲	۷۴,۷۵	۱۰۰,۰۰	۹۴,۲۵	۹۶,۲۵
تلفیق تصاویر پانکروماتیک-چندطیفی	۹۳,۰۶	۹۰,۷۵	۸۴,۵۰	۱۰۰,۰۰	۸۹,۵۰	۹۸,۲۵
پلاریزاسیون HH	۳۹,۱۲	۱۸,۸۳	۴۱,۲۵	۷۱,۵۰	۳۵,۵۰	۸,۲۵
پلاریزاسیون VV	۳۵,۵۶	۱۴,۰۸	۵۸,۲۵	۵۵,۵۰	۲۸,۰۰	۰,۵۰
تلفیق پلاریزاسیون HH-VV	۴۲,۵۶	۲۳,۴۲	۴۸,۰۰	۷۲,۲۵	۴۸,۰۰	۲,۰۰

ضعیف بوده است. پس به طور کل می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل شده، عملکرد موفقیت آمیز تلفیق در هر دو بخش اپتیک و رادار را نشان می دهد.

در مرحله بعد به بررسی فرآیند تلفیق دو تصویر راداری و نوری توسط روش ویولت پرداخته می شود. در این فرآیند به دلیل تفاوت در هندسه دو تصویر نوری و راداری انحرافات طیفی رخ خواهد می دهد و از آنجاکه در تلفیق این دو داده ویژگی طیفی تأثیر مستقیمی در طبقه بندی دارد [۱۴]. در این راستا جهت بررسی کیفیت طیفی تصویر تلفیقی اپتیکی و راداری از معیار ضریب همبستگی (CC) طبق رابطه (۹) استفاده شد.

$$CC = \frac{\sum_i^n \sum_j^m (F_k(i, j) - \bar{F}_k) (M_k(i, j) - \bar{M}_k)}{\sqrt{\sum_i^n \sum_j^m (F_k(i, j) - \bar{F}_k)^2 (M_k(i, j) - \bar{M}_k)^2}} \quad (9)$$

F_k و M_k معرف پیکسل های K امین باند تصویر تلفیقی اپتیکی و تلفیقی اپتیکی و راداری و \bar{F}_k و \bar{M}_k بیانگر میانگین پیکسل های K امین باند تصاویر تلفیقی اپتیکی و تلفیقی اپتیکی و راداری می باشد. n و m ابعاد تصویر است.

همان طور که نتایج به دست آمده از طبقه بندی در جدول نشان می دهد، استراتژی بکار برده شده در تلفیق تصاویر اپتیک و رادار عملکرد مناسبی داشته است و باعث افزایش دقت کلی در حدود حداقل ۲ و ۳ درصد به ترتیب در تصاویر اپتیک و رادار شده است. همچنین پارامتر ضریب کاپا در حدود ۳ و ۵ درصد افزایش دقت در تصویر تلفیقی اپتیکی و تصویر تلفیقی راداری داشته است.

در این راستا نیز، از مقایسه دقت کلاسی در تصاویر تلفیقی می توان بهبود چشمگیری در دقت کلاس ساختمان در حدود حداقل ۸ درصد در تصویر اپتیکی و افزایشی در حدود ۱۲ درصد در دقت کلاس راه در تصویر راداری مشاهده نمود. همچنین هر کدام یک از پلاریزاسیون HH و VV توانایی بیشتری به ترتیب در شناسایی کلاس درخت و ساختمان دارند. اما با توجه به نوع مکانیزم پراکندگی، جنس و نوع زبری زمین بایر و محدودیت ویژگی های استفاده شده در این تحقیق در تصاویر رادار (به دلیل در اختیار داشتن تنها دامنه ی دو پلاریزاسیون HH و VV) عملکرد این کلاس

از آنجا که اعداد بدست آمده به عدد یک نزدیک می باشند بنابراین همبستگی بالایی بین این دو تصویر نسبت به یکدیگر وجود دارد. پس بطور کل می توان گفت، تصویر تلفیقی اپتیک و راداری دارای کیفیت طیفی بالایی می باشد. در مرحله آخر، به بررسی دقت، سرعت و کارایی الگوریتم پیشنهادی پرداخته می شود. به همین منظور ویژگی های بهینه حاصل شده از بخش ۳-۴ به طبقه بندی کننده SVM داده شد. در این راستا الگوریتم پیشنهادی با روش ژنتیک نیز مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. جدول (۵) و شکل (۵) نتایج و خروجی حاصل شده را نشان می دهند.

هر چه ضریب همبستگی میان باندهای تصویر تلفیقی اپتیک و راداری و تصویر تلفیقی گرام اشمیت بالاتر باشد نشان دهنده شباهت طیفی این دو تصویر خواهد بود. در این راستا نتایج به دست آمده در جدول (۴) آورده شده است.

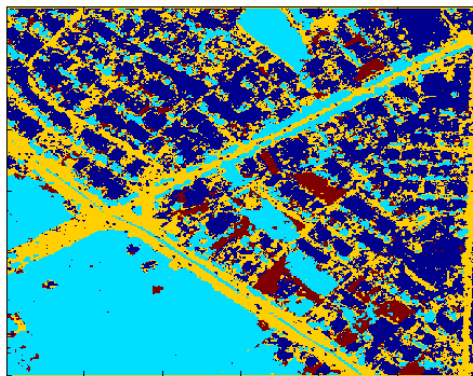
جدول ۴- ضریب همبستگی بین تصویر تلفیقی اپتیک و تصویر

تلفیقی اپتیک و راداری

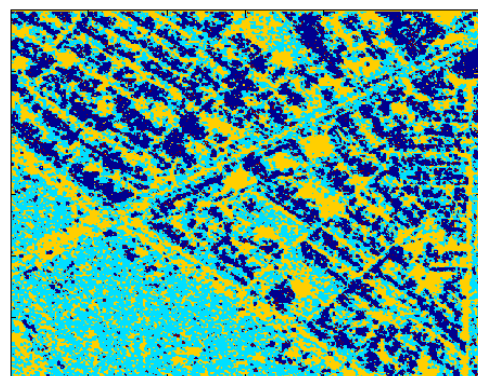
باند	۱	۲	۳	۴
ضریب همبستگی	۰,۹۷	۰,۹۷	۰,۹۷	۰,۹۶

جدول ۵- پارامترهای ارزیابی طبقه بندی تصاویر تلفیقی

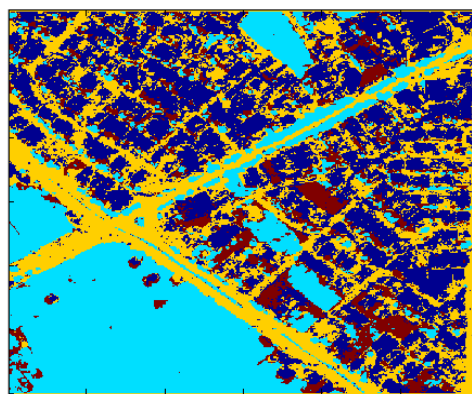
استراتژی تلفیق	تعداد ویژگی ورودی	طبقه بندی کننده	انتخاب ویژگی	زمان (ثانیه)	دقت کلی	ضریب کاپا	ساختمان	درخت	راه	زمین بایر
رادار-اپتیک	۶۴	SVM	MRMR-GA	۱۷۶,۶۳"	۹۷,۲۵	۹۶,۳۳	۹۲,۲۵	۱۰۰,۰۰	۹۷,۲۵	۹۹,۵۰
			GA	۳۹۸,۳۲"	۹۶,۷۵	۹۵,۶۷	۹۱,۲۵	۱۰۰,۰۰	۹۶,۷۵	۹۹,۰۰
			-	-	۹۴,۳۱	۹۲,۴۲	۸۷,۰۰	۱۰۰,۰۰	۹۱,۵۰	۹۸,۷۵
اپتیک	۶۴	SVM	MRMR-GA	۱۲۹,۳۵"	۹۵,۰۰	۹۳,۳۳	۸۹,۵۰	۱۰۰,۰۰	۹۲,۰۰	۹۸,۵۰
			GA	۲۴۶,۳۰"	۹۴,۵۶	۹۲,۷۵	۸۵,۲۵	۱۰۰,۰۰	۹۳,۷۵	۹۹,۲۵
			-	-	۹۳,۰۶۳	۹۰,۷۵	۸۴,۵۰	۱۰۰,۰۰	۸۹,۵۰	۹۸,۲۵
رادار	۱۶	SVM	MRMR-GA	۳۳۶,۰۰"	۴۴,۹۳	۲۶,۵۷	۳۵,۷۵	۷۰,۰۰	۶۷,۰۰	۶,۰۰
			GA	۴۸۳,۹۲"	۴۴,۸۱	۲۶,۴۱	۳۶,۰۰	۶۹,۷۵	۶۷,۲۵	۶,۲۵
			-	-	۴۲,۵۶	۲۳,۴۲	۴۸,۰۰	۷۲,۲۵	۴۸,۰۰	۲,۰۰



(ب)



(الف)

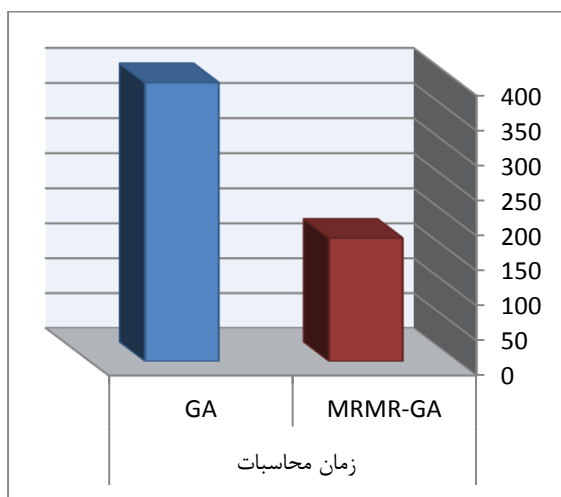


(پ)

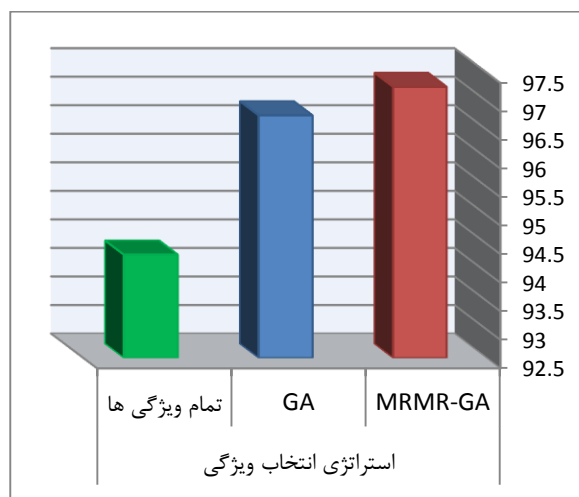
شکل ۵- خروجی حاصل شده از الگوریتم پیشنهادی (MRMR-GA) (الف تصویر تلفیقی رادار (ب) تصویر تلفیقی اپتیک (پ) تصویر تلفیقی اپتیک و راداری

می‌باشد که نسبت به روش پیشنهادی پایین‌تر می‌باشد که این مسئله بیانگر آن است که روش پیشنهادی در سه کلاس ساختمان، راه و زمین بایر قابل اعتماد تر است. همچنین دقت کلی به دست آمده از روش‌های انتخاب ویژگی MRMR-GA و روش ژنتیک به ترتیب توانسته‌اند در حدود ۳ و ۲,۵ درصد افزایش دقت نسبت به طبقه‌بندی کننده SVM با تمام ویژگی‌ها را به دست آورند. اما دقت کلی طبقه‌بندی صورت گرفته با انتخاب ویژگی MRMR-GA و روش ژنتیک تا حدودی مشابه یکدیگر می‌باشد. در حالی که سرعت عملکرد روش انتخاب ویژگی پیشنهادی در این تحقیق (شکل ۶) تقریباً ۲,۵ برابر بیشتر از سرعت اجرای روش ژنتیک در تصویر تلفیقی نوری-راداری می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت الگوریتم پیشنهادی توانسته است با سرعت بالاتری به اطلاعات مفیدتری دست یابد که این فرآیند باعث تفکیک پذیری مناسب‌تر و قابل اعتمادتر کلاس‌ها شده است.

از مقایسه نتایج جدول (۵) می‌شود فرآیند تلفیق تصاویر راداری و نوری با افزایش حداقل ۲,۲۵ درصد باعث بهبود دقت کلی نسبت به حالت‌های پایه خود شده است. این نتایج بیانگر آن است که نتایج به دست آمده در هر کلاس از تصویر تلفیقی نوری و راداری قابل اعتمادتر از نتایج طبقه‌بندی مجزای این تصاویر است. علاوه بر این نتایج حاصل از طبقه‌بندی کننده SVM با ویژگی‌های منتخب از روش پیشنهادی MRMR-GA در تمامی کلاس‌ها افزایش دقت را نسبت به طبقه‌بندی کننده SVM با تمام ویژگی‌ها داشته است. این افزایش دقت در کلاس ساختمان، راه و زمین بایر به ترتیب در حدود ۵، ۶ و ۱ درصد می‌باشد، در حالی که دقت کلاس درخت یکسان است و توانسته است تمامی نمونه‌های تست را شناسایی نمایند. در این راستا نیز افزایش دقت کلاسی، الگوریتم ژنتیک نسبت به طبقه‌بندی کننده SVM با تمام ویژگی‌ها در کلاس ساختمان و راه به ترتیب در حدود ۴ و ۵ درصد



ب) زمان محاسبات بر حسب ثانیه



الف) دقت کلی

شکل ۶: الف) دقت کلی بر مبنای استراتژی‌های مختلف انتخاب ویژگی ب) مقایسه زمان محاسبات روش‌های انتخاب ویژگی

با بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق مشخص شد که تلفیق تصاویر نوری و راداری عملکرد موفقیت‌آمیزی در شناسایی کلاس‌ها به خصوص کلاس راه و ساختمان نسبت به استفاده مجزا از منابع داده داشته است. همچنین روش انتخاب ویژگی پیشنهادی در قیاس با روش GA عملکرد مشابهی در دقت کلی نسبت به یکدیگر داشتند، در حالی که سرعت عملکرد روش پیشنهادی در حدود ۲,۵ برابر روش GA-SVM در تصویر تلفیقی نوری و راداری است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور دستیابی به یک زیرمجموعه ویژگی بهینه در کمترین زمان، روشی ترکیبی GA-MRMR پیشنهاد شد. در این راستا، ابتدا تصویر تلفیقی نوری و راداری تولید شد. سپس ویژگی‌های بهینه از دو روش انتخاب ویژگی GA و MRMR-GA انتخاب شدند و در نهایت طبقه‌بندی توسط SVM صورت گرفت.

تلفیقی نوری و راداری اعمال گردید. در این راستا پیشنهاد می‌شود این روش بر تصاویر فراطیفی که دارای باندهای بسیاری است، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

که روش پیشنهادی، با کمترین زمان به ویژگی‌های مناسب‌تری جهت تفکیک‌پذیری کلاس‌ها دست‌یافته است. در این تحقیق روش پیشنهادی انتخاب ویژگی بر تصویر

مراجع

- [1] U. Soergel, Radar remote sensing of urban areas vol. 15: Springer Science & Business Media, 2010.
- [2] N. Joshi, M. Baumann, A. Ehammer, R. Fensholt, K. Grogan, P. Hostert, M. R. Jepsen, T. Kuemmerle, P. Meyfroidt, and E. T. Mitchard, "A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring," *Remote Sensing*, vol. 8, p. 70, 2016.
- [3] H. R. Shahdoosti and H. Ghassemian, "Combining the spectral PCA and spatial PCA fusion methods by an optimal filter," *Information Fusion*, vol. 27, pp. 150-160, 2016.
- [4] R. Gharbia, A. T. Azar, A. E. Baz, and A. E. Hassanien, "Image fusion techniques in remote sensing," *arXiv preprint arXiv:1403.5473*, 2014.
- [5] J. Liu, "Smoothing filter-based intensity modulation: A spectral preserve image fusion technique for improving spatial details," *International Journal of remote sensing*, vol. 21, pp. 3461-3472, 2000.
- [6] R. MOGHIMI, S. KHAZAI, and H. EBADI, "UNSUPERVISED CHANGE DETECTION USING MULTI-TEMPORAL SARIMAGES BASED ON IMPROVEMENT OF LEVEL SET METHODS," 2016.
- [7] P. Mangalraj and A. Agrawal, "Fusion of multi-sensor satellite images using non-subsampled contourlet transform," *Procedia Computer Science*, vol. 54, pp. 713-720, 2015.
- [8] M. Bashirpour, "Optimization of fusion methods of hyperspectral and high spatial resolution images in order to increase the accuracy of change detection in the urban areas," *K.N. Toosi University of Technology*, 1394.
- [9] R. Sadeghi, "Assessment and evaluation of the fusion results of high spatial resolution images with a Hyperion hyperspectral image," *K. N. Toosi University of Technology*, 1392.
- [10] S. Dobhal, "Performance analysis of high-resolution and hyperspectral data fusion for classification and linear feature extraction," 2008.
- [11] X. Wang, Y. Guo, J. He, and L. Du, "Fusion of HJ1B and ALOS PALSAR data for land cover classification using machine learning methods," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 52, pp. 192-203, 2016.
- [12] N. G. Kasapoğlu and T. Eltoft, "Decision fusion of classifiers for multifrequency PolSAR and optical data classification," in *Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, 2013 6th International Conference on, 2013, pp. 411-416.
- [13] M. Teimouri, M. Mokhtarzade, and M. J. Valadan Zoj, "Optimal fusion of optical and SAR high-resolution images for semiautomatic building detection," *GIScience & Remote Sensing*, vol. 53, pp. 45-62, 2016.
- [14] 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.
- [15] E. KHESALI, Z. M. VALADAN, and M. MOKHTARZADE, "KNOWLEDGE BASED FUSION OF HIGH RESOLUTION RADAR AND OPTICAL IMAGES FOR ROAD EXTRACTION IN URBAN AREAS," 2013.
- [16] N. Clerici, C. A. Valbuena Calderón, and J. M. Posada, "Fusion of Sentinel-1A and Sentinel-2A data for land cover mapping: a case study in the lower Magdalena region, Colombia," *Journal of Maps*, vol. 13, pp. 718-726, 2017.
- [17] H. Bagan, T. Kinoshita, and Y. Yamagata, "Combination of AVNIR-2, PALSAR, and polarimetric parameters for land cover classification," *IEEE Transactions on Geoscience and remote Sensing*, vol. 50, pp. 1318-1328, 2012.
- [18] M. Cui, "Genetic algorithms based feature selection and decision fusion for robust remote sensing image analysis," *Mississippi State University*, 2012.
- [19] H. Cheng, Z. Qin, C. Feng, Y. Wang, and F. Li, "Conditional mutual information-based feature selection analyzing for synergy and redundancy," *Etri Journal*, vol. 33, pp. 210-218, 2011.
- [20] Z. Qi, A. G.-O. Yeh, X. Li, and Z. Lin, "A novel algorithm for land use and land cover classification using RADARSAT-2 polarimetric SAR data," *Remote Sensing of Environment*, vol. 118, pp. 21-39, 2012.

- [21] I. KHOSRAVI, M. M. MOUSAVI, and J. AMINI, "PRESENTING A FEATURE SELECTION METHOD BASED ON GENETIC ALGORITHM AND DECISION TREE FOR CLASSIFYING FULLY POLARIMETRIC SAR IMAGES," 2015.
- [22] Y. Maghsoudi, M. Collins, and D. G. Leckie, "Polarimetric classification of Boreal forest using nonparametric feature selection and multiple classifiers," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 19, pp. 139-150, 2012.
- [23] A. W. Whitney, "A direct method of nonparametric measurement selection," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 100, pp. 1100-1103, 1971.
- [24] T. Marill and D. Green, "On the effectiveness of receptors in recognition systems," *IEEE transactions on Information Theory*, vol. 9, pp. 11-17, 1963.
- [25] P. Pudil, F. Ferri, J. Novovicova, and J. Kittler, "Floating search methods for feature selection with nonmonotonic criterion functions," in *Pattern Recognition, 1994. Vol. 2-Conference B: Computer Vision & Image Processing., Proceedings of the 12th IAPR International. Conference on, 1994*, pp. 279-283.
- [26] H. Gholizadeh, M. J. V. Zoej, and B. Mojaradi, "Impact of informative band selection on target detection performance," in *Proc. SPIE*, 2011, p. 81801C.
- [27] M. Salehi, M. R. Sahebi, and Y. Maghsoudi, "Improving the accuracy of urban land cover classification using Radarsat-2 PolSAR data," *IEEE Journal of selected topics in applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 7, pp. 1394-1401, 2014.
- [28] P. E. Meyer and G. Bontempi, "On the use of variable complementarity for feature selection in cancer classification," in *Workshops on Applications of Evolutionary Computation, 2006*, pp. 91-102.
- [29] H. Peng, F. Long, and C. Ding, "Feature selection based on mutual information criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 27, pp. 1226-1238, 2005.
- [30] R. Kohavi and G. H. John, "Wrappers for feature subset selection," *Artificial intelligence*, vol. 97, pp. 273-324, 1997.
- [31] Z. Zhu, Y.-S. Ong, and M. Dash, "Wrapper-filter feature selection algorithm using a memetic framework," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 37, pp. 70-76, 2007.
- [32] P. Sharma and S. Swami, "Digital image watermarking using 3 level discrete wavelet transform," in *Conference on Advances in Communication and Control Systems, 2013*, pp. 3-24.
- [33] Y. Gong, T. Lim, and B. Farhang-Boroujeny, "Adaptive least mean square CDMA detection with Gram-Schmidt pre-processing," *IEE Proceedings-Communications*, vol. 148, pp. 249-254, 2001.
- [34] R. Zoleikani, "Urban change detection using hyperspectral and high-resolution image fusion," *K.N. Toosi University of Technology*, 1392.
- [35] Y. Maghsoudi and S. Mahdavi, *Principles of RADAR Remote Sensing*. IRAN: K. N. T University publication, 1394.
- [36] J. Zhang, "Multi-source remote sensing data fusion: status and trends," *International Journal of Image and Data Fusion*, vol. 1, pp. 5-24, 2010.