

بهبود شناسایی تغییرات در مناطق شهری با انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه مبتنی بر الگوریتم ژنتیک

وحید صادقی^۱

حمید عنایتی^۲

حمید عبادی^۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۰۹/۲۲

چکیده

آنالیز تصاویر چندزمانه سنجش از دور، تکنیک کارآمدی برای شناسایی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در مناطق شهری می‌باشد. جدا از تکنیک بکار رفته برای شناسایی تغییرات، فضای ویژگی تأثیر بسیار زیادی در صحت نتایج دارد. حصول نتایج رضایت‌بخش در شناسایی تغییرات مناطق شهری، مستلزم بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی (بافت) بهینه می‌باشد. اگرچه جستجوی سراسری تنها تضمین دستیابی به مجموعه ویژگی‌های بهینه است، ولی در عمل فرآیندی بسیار زمانبر و غیرعملی است. در تکنیک‌های کاهش بعد همچون تکنیک PCA تنها استقلال آماری داده‌ها برای رسیدن به مؤلفه‌هایی جدید با وابستگی کمتر مدنظر بوده و بهبود صحت شناسایی تغییرات بطور مستقیم دنبال نمی‌شود. تعیین حدآستانه مناسب برای انتخاب ویژگی‌های بهینه در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری (SAA) با فاصله JM نیز عملاً از کارایی این تکنیک می‌کاهد. تمرکز اصلی مقاله حاضر، انتخاب ویژگی‌های طیفی و بافت بهینه با الگوریتم ژنتیک و طبقه‌بندی‌کننده بیزین می‌باشد. جهت بررسی کارایی تکنیک پیشنهادی، تغییرات شهر جدید سهند (شمال غرب ایران) با بکارگیری تصاویر سنجنده‌های IRS-P6 و Geo-Eye1 اخذ شده در ۱۴ جولای ۲۰۰۶ و ۱ سپتامبر ۲۰۱۳ مورد بررسی قرار گرفت. تمامی تکنیک‌های مذکور در محیط برنامه‌نویسی MATLABR2013a پیاده‌سازی شدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد ویژگی‌های بافت می‌تواند به عنوان منبع اطلاعاتی مکمل، سبب بهبود نتایج شناسایی تغییرات در مناطق شهری شود. انتخاب ویژگی یک فرآیند تأثیرگذار در شناسایی تغییرات مبتنی بر ویژگی‌های طیفی و بافت می‌باشد. هریک از تکنیک‌های انتخاب ویژگی، محدودیت‌ها و مزایای خاص خودشان را داشته ولی در کل بهبود صحت شناسایی تغییرات را دنبال دارند. مقایسه کارایی تکنیک‌های انتخاب ویژگی نشان داد، تکنیک پیشنهادی در مقایسه با دو تکنیک متداول PCA و SAA (که نتایج مشابهی داشتند) از کارایی و صحت بالاتری برخوردار است. با بکارگیری روش پیشنهادی، ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات به ترتیب از ۵۳/۶۶٪ به ۸۸/۴۹٪ و از ۵۸/۹۴٪ به ۹۰/۳۹٪ (در مقایسه با بکارگیری باندهای اصلی تصاویر)، افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: شناسایی تغییرات، تصاویر سنجش از دور، ویژگی‌های مکانی (بافت)، الگوریتم ژنتیک، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، فاصله JM.

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی Vahid.Sadeghi.1985 @ gmail.com

۲- کارشناس ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی enayati_hamid@yahoo.com

۳- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ebadi@kntu.ac.ir

مقدمه

شده از هریک از تصاویر چندزمانه، هم‌پوشانی و مقایسه می‌شوند. نتیجه این مقایسه، یک نقشه تغییرات می‌باشد که اطلاعات کاملی در خصوص محل و ماهیت تغییرات ارائه می‌دهد (Radke et al., 2005; Sallaba, 2009). به دلیل طبقه‌بندی مجزای دو تصویر و وجود نمونه‌های آموزشی در هر یک از دو تصویر، الگوریتم طبقه‌بندی قابلیت یادگیری الگوهای طیفی هر یک از کلاس‌ها را داشته و ضرورتی برای انجام تصحیحات اتمسفری در این تکنیک آشکارسازی تغییرات وجود ندارد (Chen et al., 2012; Hussain, 2013; Li et al., 2008).

برای تصاویری که دارای شرایط فنولوژیکی متفاوت، زاویه دید سنجنده متفاوت و زاویه تابش متفاوت خورشید و یا حتی سنجنده‌های مختلف هستند این روش توصیه می‌شود (Huss et al., 2008; Jensen, 2004). با وجود تمام مزایا و قابلیت‌ها روش مقایسه پس از طبقه‌بندی که معمولاً از آن به عنوان پرکاربردترین تکنیک آشکارسازی تغییرات یاد می‌شود، وابستگی صحت نهایی به صحت هر یک از طبقه‌بندی‌های مستقل کارایی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sallaba, 2009).

در خصوص اهمیت و ضرورت تحقیق باید گفت؛ علاوه بر تکنیک بکار رفته برای شناسایی تغییرات مناطق شهری، نوع و کیفیت داده‌های ورودی به الگوریتم‌های شناسایی تغییرات، تأثیر بسیار زیادی در صحت نتایج دارد. با توجه به خصوصیات مناطق شهری، تولید و بکارگیری ویژگی‌های مکانی (بافت) در کنار ویژگی‌های طیفی، راه حلی مناسب برای بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و متعاقباً بهبود آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری می‌باشد (Erener, 2009; Mhangara et al., 2013; Tassetti et al., 2010). بافت از خصوصیات بارز اشیاء تصویر، هم از لحاظ بصری و هم از لحاظ پردازش تصویر بوده و به توزیع مکانی مقادیر درجه خاکستری بستگی دارد (Tuceryan et al., 1993). آنالیز بافت تشخیص ناهمگونی ساختاری کلاس‌ها را فراهم می‌آورد و شامل اطلاعاتی راجع به کتراست، همگونی، چین‌خوردگی، منظم بودن و غیره است که می‌تواند در تفکیک بهتر عوارضی که شباهت طیفی بالایی دارند مؤثر

در طی سالیان گذشته تعامل بشر با طبیعت و استفاده از منابع طبیعی برای بهبود کیفیت زندگی یکی از دلایل مهم ایجاد تغییرات در پوشش‌ها و کاربری‌های سطح زمین و خصوصاً گسترش بی‌رویه شهرها بوده است. تعیین حدود مرزی و تغییرات پوشش و کاربری اراضی و تعیین ساختار رشد شهر در فواصل زمانی برای برنامه‌ریزی مسئولانه و آگاهانه در مورد آن‌ها امری ضروری است. قابلیت سنجنده‌های ماهواره‌ای برای ثبت پرتوهای تابشی یا بازتابشی از سطح عوارض در طول موج‌های مختلف و امکان شناسایی بخش عمده‌ای از خصوصیات عوارض از طریق انجام آنالیزهای طیفی و مکانی، امکان استفاده از این تصاویر را برای استخراج اطلاعات موضوعی فراهم می‌نماید. از سوی دیگر سنجنده‌های ماهواره‌ای قادرند به آسانی تصاویر مربوط به منطقه مورد نظر را در دوره‌های زمانی منظم اخذ و در اختیار کاربران قرار دهند. لذا استفاده از تصاویر سنجنش از دور به عنوان روش مناسبی برای شناسایی تغییرات مربوط به پدیده‌ها از جمله تغییرات مناطق شهری محسوب می‌گردد. تکنیک‌های متعددی برای شناسایی تغییرات با بکارگیری تصاویر سنجنش از دوری چندزمانه توسعه داده شده است. این تکنیک‌ها را می‌توان از جنبه‌های مختلف دسته‌بندی نمود: از نظر ماهیت نتایج، برخی روش‌ها، تنها محل تغییرات را مشخص نموده و برخی دیگر علاوه بر محل تغییرات، قابلیت تعیین ماهیت تغییرات را به صورت نقشه تغییرات (شامل اطلاعات تغییرات بین کلاس‌های پوشش و کاربری اراضی) دارند. روش‌هایی که به تولید نقشه ماهیت تغییرات می‌انجامند، معمولاً از یک طرح طبقه‌بندی برای مشخص کردن تغییرات بین کلاسی استفاده می‌کنند. تکنیک مقایسه پس از طبقه‌بندی از پر کاربردترین و عملی‌ترین روش‌های موجود در زمینه شناسایی تغییرات با قابلیت تولید نقشه ماهیت تغییرات است. در این روش، طبقه‌بندی مستقل هر یک از تصاویر چندزمانه به طور جداگانه انجام می‌شود. سپس نقشه‌های موضوعی تهیه

ماهیت تغییرات رخ داده در منطقه است و استقلال آماری داده‌های ورودی تنها شرط کافی برای این امر نیست. در مقابل روش‌های نظارت‌شده، از طریق بهینه‌سازی یک معیار طبقه‌بندی اقدام به تعیین ویژگی‌های بهینه می‌نمایند. در تکنیک آماری بررسی تفکیک‌پذیری با آنالیز فاصله JM که جزء تکنیک‌های نظارت‌شده می‌باشد، شناسایی و انتخاب ویژگی‌های بهینه به عنوان یک مسئله تخمین برآورد چگالی احتمال در نظر گرفته می‌شود (Mhangara et al., 2013). بر اساس داده‌های آموزشی نماینده هر کلاس موضوعی، توزیع احتمال برای کلاس متناظر، برآورد شده و فاصله JM برای محاسبه تفکیک‌پذیری بین دو کلاس محاسبه و بر آن اساس ویژگی‌های بهینه انتخاب می‌گردد (Mhangara et al., 2013).

فرض اصلی این روش مبنی بر نرمال بودن تابع توزیع کلاس‌ها، محل ایراد بوده و همچنین تعیین حدآستانه مناسب برای فاصله JM امری دشوار بوده و نتایج حاصل از این تکنیک، کاملاً وابسته به تعیین مناسب حدآستانه می‌باشد.

تعیین حدود مرزی و تغییرات پوشش و کاربری اراضی و تعیین ساختار رشد شهر در فواصل زمانی برای برنامه‌ریزی مسئولانه و آگاهانه در مورد آن‌ها، امری ضروری است. از طرفی سنجنده‌های ماهواره‌ای قابلیت بالایی در اخذ اطلاعات مکانی ارزشمند و به‌روز در دوره‌های زمانی منظم از مناطق شهری را داشته و همین امر سبب شده است تا آنالیز تصاویر سنجش از دور به عنوان روشی کارآمد برای شناسایی مناطق شهری مورد توجه قرار گیرد (Imhoff et al., 2010; Taubenböcka et al., 2009; Xie et al., 2011).

با توجه به خصوصیات مناطق شهری، تولید و بکارگیری ویژگی‌های مکانی (بافت) در کنار ویژگی‌های طیفی، راه حلی مناسب برای بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و متعاقباً بهبود آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری می‌باشد (Erener, 2009; Mhangara et al., 2013). بافت از خصوصیات بارز اشیاء تصویر، هم از لحاظ بصری و هم از لحاظ پردازش تصویر بوده و به توزیع مکانی مقادیر درجه خاکستری بستگی دارد (Tuceryan et al., 1993). مطالعات نشان می‌دهد

واقع شود (Mhangara et al., 2013; Tassetti et al., 2010). در تصاویر سنجش از دوری همبستگی بالایی بین باندهای طیفی مشاهده می‌گردد. این همبستگی نه تنها در بین باندهای اصلی تصاویر، بلکه در بسیاری از موارد، بطور شدیدتر، بین ویژگی‌های طیفی و مکانی جدید تولید شده از روی باندهای اصلی نیز مشاهده می‌گردد (Brumby et al., 1999).

وجود ویژگی‌های تکراری و غیرمرتبط با مسأله، علاوه بر این که باعث بهبود صحت و یا کاهش پیچیدگی مسأله نمی‌شوند بلکه زمان لازم برای انجام محاسبات را نیز افزایش می‌دهند (Brumby et al., 1999). هر ویژگی، اثر خاص خود را در تفکیک عوارض داشته و بنابراین انتخاب بهترین مجموعه از ویژگی‌ها، تأثیر قابل توجهی بر نتیجه طبقه‌بندی و متعاقباً نتیجه شناسایی تغییرات خواهد داشت.

با توجه به مسائل مطرح شده، لازم است پس از استخراج ویژگی‌های مکانی و طیفی، انتخاب ویژگی‌ها به گونه‌ای صورت گیرد که صحت طبقه‌بندی و متعاقباً صحت شناسایی تغییرات افزایش یابد. اگرچه جستجوی سراسری تنها تضمین دستیابی به مجموعه ویژگی‌های بهینه است، ولی در عمل فرآیندی بسیار زمانبر و غیرعملی است. استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی به منظور تولید ویژگی‌هایی جدید با ارزش اطلاعاتی بالا و تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM، راه‌حلی است که برای این منظور در تحقیقات پیشین پیشنهاد شده است (Erener, 2009; Mhangara et al., 2013).

تکنیک‌های کاهش بعد همچون تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تنها استقلال آماری داده‌ها را در نظر گرفته و اقدام به تولید مؤلفه‌هایی می‌نماید که در آنها میزان واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های نخستین، بیشتر و وابستگی بین مؤلفه‌های نخستین این تصویر، کمتر از وابستگی بین ویژگی‌های اولیه است. هرچند تکنیک مذکور بطور اتوماتیک اقدام به تولید ویژگی‌های جدید با محتوای اطلاعاتی بالا در مؤلفه‌های نخستین می‌نماید و از این نظر حائز اهمیت است ولی حصول صحت بالا در یک الگوریتم شناسایی تغییرات منوط به انتخاب ویژگی‌های متناسب با

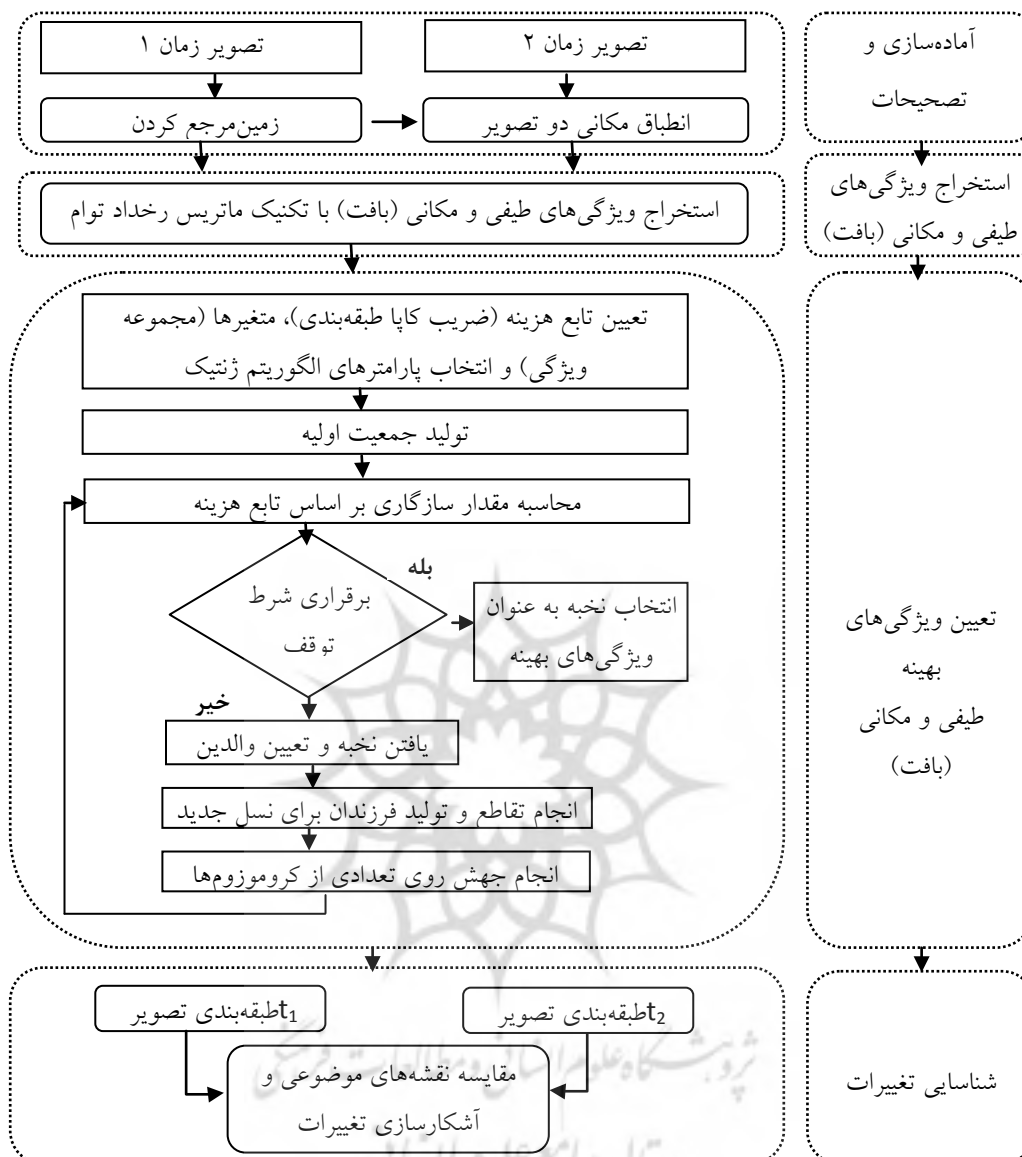
این تحقیق ادعا شده که تحلیل طیفی-بافتی برای تمایز دقیق‌تر کلاس‌ها هنگامی که عوارض خیلی ناهمگون باشند، ضروری است و در این حالت اطلاعات طیفی به تنهایی برای طبقه‌بندی کفایت نمی‌کند. مانگارا و ادینی (Mhangara et al., 2013) با علم به اهمیت آنالیز بافت در طبقه‌بندی تصاویر هوایی چندطیفی مناطق شهری و از آن مهم‌تر اهمیت فرآیند انتخاب ویژگی‌های بهینه بجای بکارگیری تمام ویژگی‌های مستخرج از تصاویر، از تکنیک آماری تفکیک‌پذیری کلاس‌ها با حدآستانه‌گذاری فاصله JM استفاده کردند. به این نحو که پس از محاسبه فاصله JM برای هر جفت-کلاس محتمل در تصویر، حدآستانه‌های متفاوتی برای انتخاب ویژگی‌های بهینه بطور سعی-خطا مورد آزمون قرار گرفت. با بکارگیری ویژگی‌های منتخب، تکنیک شیء‌گرا قانون‌مبنا برای طبقه‌بندی تصویر در ۷ کلاس مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد با بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی منتخب، صحت طبقه‌بندی بالاتری در مقایسه با طبقه‌بندی تصاویر اصلی حاصل می‌شود. همچنین نتایج تحقیق نشان داد، از بین ویژگی‌های مکانی مستخرج از روش GLCM، ویژگی‌های: میانگین، ممنتوم دوم زاویه‌ای و انترویی بهترین تفکیک‌پذیری را فراهم نموده و در مقابل، ویژگی‌های کورلیشن و انحراف معیار پایین‌ترین کارایی را دارند.

روش تحقیق

در تحقیق حاضر، به منظور بهبود نتایج شناسایی تغییرات در مناطق شهری، یک چهارچوب کارآمد برای تلفیق ویژگی‌های طیفی و بافت مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک تکنیک بهینه‌یاب کارآمد، اقدام به انتخاب ویژگی‌های بهینه طیفی و بافت در تصاویر سری زمانی خواهد نمود. نتیجه آن، نقشه‌های موضوعی چندزمانی می‌باشد که با بکارگیری رویکرد مقایسه پس‌از طبقه‌بندی، نقشه تغییرات که معرف محل و ماهیت تغییرات رخ داده در منطقه می‌باشد، تولید

که تولید و بهره‌گیری از ویژگی‌های بافت مناسب در کنار اطلاعات طیفی، سبب بهبود صحت طبقه‌بندی تصاویر در مناطق ناهمگون می‌شود (Mhangara et al., 2013; Tassetti et al., 2010). آگورا (Agüera, 2008) به منظور بهبود طبقه‌بندی پیکسل پایه در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای QuickBird و IKONOS از تحلیل بافت استفاده نمود. تحقیق ایشان مشخص نمود که با وجود اینکه استفاده از اطلاعات بافت تصاویر سبب بهبود نتایج طبقه‌بندی می‌شود ولی تعیین اندازه مناسب پنجره همسایگی از اهمیت بالایی در رویکرد تولید و بهره‌گیری از اطلاعات بافت برخوردار بوده و این پارامتر باید بصورت سعی و خطا با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر و ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و هدف اصلی طبقه‌بندی تعیین شود. ارنر (Erner, 2009) در تحقیقی که به منظور بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات در منطقه شهری با استفاده از اطلاعات بافت انجام داده بود، مسئله انتخاب بهینه ویژگی‌های مکانی به منظور بهبود صحت طبقه‌بندی را مد نظر قرار داده و از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) اقدام به کاهش بعد فضای ویژگی طیفی و مکانی (همگونی، تضاد، عدم‌شبهت، میانگین، انحراف معیار، انترویی، گشتاور دوم زاویه‌ای و وابستگی) نمود. تا بدین طریق به ویژگی‌های بهینه و مستقل دست یابد. ایشان چندین مؤلفه اول PCA را به عنوان ویژگی‌های با ارزش اطلاعاتی بالا انتخاب نمود.

در تحقیقی مشابه، تاستی و همکاران (Tassetti et al., 2010) به منظور بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، از روش GLCM مرتبه دوم آماری و تصاویر چگالی لبه استخراج نموده و از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به عنوان تکنیک استخراج ویژگی‌های بهینه استفاده نمودند. ویژگی‌های جدید به عنوان باندهای کمکی در تشخیص بهتر عوارض با ناهمگونی‌های طیفی زیاد مؤثر واقع شده و صحت طبقه‌بندی بالاتری را در مقایسه با طبقه‌بندی تصاویر اصلی فراهم نمود. این بهبود به ویژه در قابلیت تمایز بین گونه‌های کشاورزی و زمین‌های خالی با پوشش گیاهی اندک به طور چشمگیری مشهود بود. در



نگاره ۱: الگوریتم روش پیشنهادی (نگارندگان)

تصمیم‌گیری نهایی نیاز به تعیین تجربی پارامترهای دخیل در انتخاب ویژگی‌ها ندارد. انتظار می‌رود در رویکرد پیشنهادی، صحت بالایی در نتایج طبقه‌بندی و متعاقباً در شناسایی تغییرات حاصل شود. روش پیشنهادی وابستگی خاصی به نوع پوشش منطقه و توپوگرافی آن ندارد. هرچند لازم به ذکر است، در صورت وجود ناهمواری‌های زیاد (توپوگرافی کوهستانی) و احتمال اختلاط طیفی برخی از کلاس‌های پوششی (کلاس‌هایی چون: انواع مرتع‌ها،

می‌شود. مزیت روش پیشنهادی این است که بطور مستقیم صحت شناسایی تغییرات را از طریق بهینه‌سازی صحت طبقه‌بندی تصاویر دنبال می‌نماید. لذا انتظار می‌رود نسبت به تکنیک‌های کاهش بعد که تنها استقلال آماری داده‌ها را در نظر می‌گیرند، به نتایج بهتری بینجامد. همچنین مزیت روش پیشنهادی نسبت به تکنیک آماری نظارت‌شده آنالیز تفکیک‌پذیری کلاس‌ها در این است که از هیچ‌گونه پیش‌فرضی در خصوص داده‌ها استفاده نکرده و در مرحله

تصویر اصلی سنجنده Geo-Eye. تصویر مذکور از نرم افزار Google Earth تهیه شد. تصاویر دانلود شده از این نرم افزار در سه باند مرئی آبی، سبز، قرمز می باشد.

نتایج بررسی کیفیت تصاویر (GE) با Google earth تصاویر اصلی سنجنده های ماهواره ای مشابه در تولید نقشه های پوششی و کاربری اراضی، نشان می دهد صحت نقشه های حاصل از طبقه بندی تصاویر GE، تنها اندکی پایین تر از صحت نقشه های حاصل از تصاویر اصلی ماهواره ای مشابه است (Hu et al., 2013) ولی با این وجود، پایین بودن کیفیت اطلاعات طیفی تصاویر GE سبب می شود تا تشخیص برخی از کلاس ها که شباهت طیفی بالایی دارند (همانند انواع مرتع ها، علفزارها و سایر پوشش های گیاهی) با مشکل مواجه شود (Hu et al., 2013).

یافته های تحقیق (Hu et al., 2013) نشان می دهد تصاویر GE با ویژگی های خاص خود (اطلاعات طیفی پایین ولی اطلاعات بافت غنی) می تواند در مناطقی که شامل عوارض منظم با خصوصیات بافت ویژه هستند، همچون عوارض دست ساز بشر (ساختمان، جاده و غیره) جایگزین تصاویر ماهواره ای شوند.

با توجه به یافته های تحقیق نامبرده و بکارگیری تصاویر GE در این تحقیق، سعی شد منطقه ای برای مطالعه موردی انتخاب شود (منطقه شهری شهر جدید سهند) تا تشابه طیفی بین پوشش های اراضی حداقل ممکن بوده و اطلاعات بافت نقش موثرتری در تفکیک آنها داشته باشد.

جدول ۱: قدرت تفکیک مکانی و حساسیت طیفی تصاویر

سنجنده IRS-P6

شماره باند	محدوده طیفی (μm)	نام طیفی	اندازه پیکسل زمینی (m)
Band 2	۰/۵۲ - ۰/۵۹	Green	5 × 5
Band 3	۰/۶۲ - ۰/۶۸	Red	5 × 5
Band 4	۰/۷۷ - ۰/۸۶	Near-IR	5 × 5

علفزارها و موارد مشابه)، تصحیح توپوگرافی باید بعنوان یک پیش پردازش مدنظر قرار گیرد (Richter et al., 2009). ولی چون در منطقه مورد مطالعه، چنین پوشش هایی وجود نداشت و منطقه شامل توپوگرافی شدیدی نبود، از تصحیح توپوگرافی صرف نظر شد.

شایان ذکر است، با توجه به ماهیت روش پیشنهادی، که مبتنی بر مقایسه پس از طبقه بندی می باشد، بکارگیری تصاویر چندزمانه سالیانه^۱ (تصاویر اخذ شده در روز یکسانی از سال که دوره رشد (فنولوژیکی) یکسانی دارند) ضرورتی ندارد (Chen et al., 2012). الگوریتم روش پیشنهادی در نگاره ۱ ارائه شده است.

داده های مورد استفاده

به منظور ارزیابی تکنیک پیشنهادی در منطقه شهری سهند، از یک زوج تصویر سنجنده های IRS-P6 و GeoEye که به ترتیب در ۱۴ جولای ۲۰۰۶ و ۱ سپتامبر ۲۰۱۳ از این شهر اخذ شده بود، استفاده شد. تصاویر سنجنده IRS-P6 شامل سه باند طیفی می باشند که به ترتیب مربوط به طیف امواج الکترومغناطیس سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند.

تصویر سنجنده IRS-P6 از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران تهیه شد. ویژگی تصویر مذکور در جدول ۱ ارائه شده است. تصاویر سنجنده GeoEye-1 شامل سه باند طیفی می باشند که به ترتیب مربوط به طیف امواج الکترومغناطیس سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند.

سنجنده ماهواره ای GeoEye-1 توانایی تصویربرداری در محدوده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴ متر و چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی ۱/۶ متر را دارد و دوره بازدید آن کمتر از سه روز می باشد. تصاویر این سنجنده برای کشورهای غیرایالت متحده آمریکا با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ متر عرضه می شود. با توجه به عدم دسترسی به

1- Anniversary images with same phenological period

محدوده تحقیق

جدید سهند برگزیده شده و به مرور زمان کلاس‌های پوششی جدیدی در این منطقه بوجود آمده است. در حال حاضر، اراضی بایر، بلوک‌های ساختمانی، راه‌های ارتباطی و پوشش گیاهی، عمده کلاس‌های پوششی و کاربری موجود در این منطقه می‌باشد.

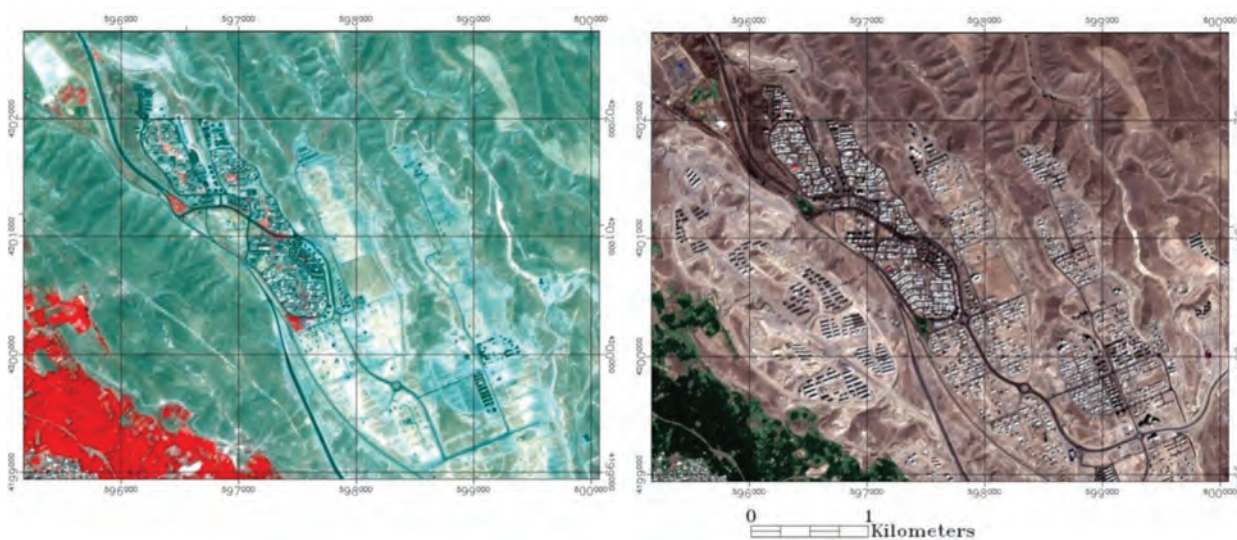
با توجه به اینکه اراضی بایر خود شامل دو نوع کلاس متفاوت بود که از نظر طیفی اختلاف زیادی با یکدیگر داشتند، اراضی بایر در دو کلاس موضوعی «بایر تیره» و «بایر روشن» در شناسایی تغییرات و طرح طبقه‌بندی منظور گردید. بایر تیره مربوط به اراضی بایر طبیعی بوده و اراضی بایر روشن مربوط به مناطق بایری می‌باشد که به جهت تسطیح اراضی به منظور ساخت و ساز شهری، بازتاب بالایی در تصاویر داشته و ذاتاً یک کلاس متفاوت موضوعی می‌باشد. در کل، ۵ کلاس موضوعی غالب شامل: ۱- بلوک‌های ساختمانی، ۲- راه‌های ارتباطی، ۳- پوشش گیاهی، ۴- بایر تیره و ۵- بایر روشن، منظور شده و تغییرات محتمل بین آنها مورد مطالعه قرار گرفت. با در نظر گرفتن این ۵ کلاس موضوعی و بررسی تغییرات واقعی در منطقه، ۱۲ کلاس بین ۵ کلاس موضوعی در طرح شناسایی تغییرات به صورت: C1 ساختمان-به-ساختمان، C2 راه-به-ساختمان، C3 راه-به-راه، C4 راه-به-بایر تیره، C5 پوشش

شهر جدید سهند یکی از شهرهای جدیدالحداث استان آذربایجان شرقی می‌باشد که در شمال غرب ایران در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۷/۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۵۶/۵ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این شهر در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز، در شهرستان اسکو قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۰۰ متر بوده از نظر توپوگرافی، منطقه‌ای کوهستانی و تپه ماهور می‌باشد. هدف از احداث شهر جدید سهند، اسکان دادن سرریز جمعیت کلان‌شهر تبریز بود که با استقبال گسترده مردم این کلان‌شهر روبه‌رو شد. نگاره ۲، موقعیت شهر جدید سهند در نقشه تقسیمات کشوری و نگاره ۳ ترکیب رنگی کاذب تصویر سنجنده IRS-P6 و ترکیب رنگی طبیعی تصویر سنجنده Geo-Eye1 به ترتیب اخذ شده در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ از شهر جدید سهند را نشان می‌دهد.

شهر جدید سهند در طول سال‌های اخیر شاهد تغییرات زیادی بوده که غالباً در جهت تغییرات کاربری زمین‌های بایر به کاربری شهری بوده است. لازم به ذکر است پوشش غالب منطقه، اراضی بایر می‌باشد چرا که این منطقه قبلاً بصورت بایر و بدون پوشش گیاهی (لم‌پزرع) بوده است که به جهت موقعیت خاص جغرافیایی، برای احداث شهر



نگاره ۲: موقعیت شهر جدید سهند در نقشه تقسیمات کشوری (نگارندگان).



نگاره ۳: از چپ به راست ترکیب رنگی کاذب تصویر سنجنده IRS-P6 و ترکیب رنگی طبیعی تصویر سنجنده Geo-Eye به ترتیب اخذ شده در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ از شهر جدید سهند. (مأخذ: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)

ویژگی‌های طیفی مورد استفاده در این تحقیق از ترکیب کلیه حالت‌های دوبه‌دوی ممکن باندهای اصلی تصویر مشابه رابطه (۱) به دست می‌آید. این رابطه مشابه رابطه‌ای است که در تولید ویژگی شاخص گیاهی نرمالیزه شده (NDVI) از باندهای قرمز و مادون‌قرمز نزدیک برای تشخیص گیاهان استفاده می‌شود. برای تصاویر ۳ باندهای بکار گرفته شده در این تحقیق، ۳ ویژگی طیفی مشابه رابطه (۱) قابل استخراج است. به دلیل عدم امکان استخراج رادیانس و بازتابندگی از تصاویر GE، از درجات خاکستری (DN) برای استخراج ویژگی‌های طیفی استفاده می‌شود (Hu et al., 2013). در رابطه (۱)، و به ترتیب، بیانگر مقدار درجات خاکستری در باندهای طیفی i و j می‌باشد ($i=1,2,3, j=1,2,3, i \neq j$).

$$NI_{i,j} = \frac{DN_i - DN_j}{DN_i + DN_j} \quad \text{رابطه ۱}$$

ویژگی‌های مکانی (بافت)

بافت به عنوان یک ویژگی مکانی ارتباط مکانی بین درجات خاکستری پیکسل‌های تصویر را مدل نموده و تأثیر بسیار زیادی در تشخیص الگوهایی با بافت متفاوت در تصویر دارد که معمولاً این تفاوت‌ها تنها با بکارگیری مقادیر طیفی اصلی تصاویر قابل تشخیص نیست. برای تولید

مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

تکنیک پیشنهادی در این تحقیق، از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی (بافت) بهینه در جهت بهبود شناسایی تغییرات در مناطق شهری استفاده می‌نماید. لذا در ادامه مفاهیم، ضرورت و نحوه استخراج آنها از تصاویر رقومی تشریح شده و سپس مبانی نظری تکنیک پیشنهادی ارائه می‌گردد.

استخراج ویژگی‌های طیفی و مکانی

ویژگی‌های طیفی

معمولاً شناسایی الگو با بکارگیری باندهای اصلی تصاویر سنجنده از دوری نتایج رضایت بخشی نداشته لذا در جهت بالابردن امکان شناسایی و تفکیک عوارض، از ویژگی‌های طیفی و مکانی (بافت) استفاده می‌شود.

جدول ۲: ویژگی‌های بافت قابل استخراج از ماتریس هم‌اتفاق درجات خاکستری. (در این روابط، N_g بیانگر تعداد درجات خاکستری موجود در تصویر (قدرت تفکیک رادیومتریکی تصویر) بوده و $P(i,j)$ بیانگر فرکانس نسبی رخداد زوج پیکسل‌هایی با درجات خاکستری i و j در سطح تصویر می‌باشد که در راستای θ به اندازه d پیکسل از یکدیگر فاصله دارند).

ویژگی بافت	فرمول	توضیحات
میانگین	$\mu_i = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} i \times P(i, j)$	این میانگین برابر میانگین ساده درجات خاکستری نخواهد بود چرا که چگونگی پخش و تعداد زوج پیکسل‌های دارای درجات خاکستری مختلف در محاسبه آن تأثیرگذار است.
واریانس	$\delta^2 = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i - \mu_i)^2 \times P(i, j)$	نحوه توزیع درجات خاکستری را نشان می‌دهد. در صورتیکه درجات خاکستری بطور وسیع پخش شده باشند، واریانس بزرگ خواهد بود.
کنتراست	$Con = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (i - j)^2 \times P(i, j)$	معیاری برای اندازه‌گیری میزان تفاوت‌های محلی درجات خاکستری است. زمانی که همسایه‌ها تفاوت درجه خاکستری بالاتری دارند، اندازه کنتراست بالاتر خواهد بود که بیانگر غیریکنواخت بودن بافت است
بی‌شباهتی	$Dis = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} i - j \times P(i, j)$	شباهت زیادی به کنتراست دارد با این تفاوت که وزنی برابر با تفاوت درجات خاکستری به ماتریس داده می‌شود، درحالیکه در کنتراست توان دوم اختلاف بعنوان وزن استفاده می‌شود.
انترپی	$Ent = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j) \log(P(i, j))$	معیار اتفافی بودن توزیع زوج درجات خاکستری است هرچه انترپی بزرگتر باشد، توزیع درجات خاکستری تصادفی‌تر خواهد بود. انترپی بالا نشانگر بافت ناهمگن تصویر و انترپی پایین نشاندهنده بافت همگن است.
همگنی	$Hom = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{P(i, j)}{1 + (i - j)^2}$	یکنواختی محلی یک جفت پیکسل را اندازه‌گیری می‌کند برای تصاویری با بخش‌های همگن بزرگ، این معیار بالاتر خواهد بود.
وابستگی	$Cor = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)P(i, j)}{\sigma_i \sigma_j}$	این پارامتر وابستگی خطی درجه خاکستری پیکسل به همسایگانش را نشان می‌دهد، که می‌تواند معیاری برای اندازه اشیاء موجود در تصویر باشد.
گشتاور زاویه‌ای دوم (انرژی)	$ASM = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j)^2$	معیاری برای اندازه‌گیری نرمی است. تعداد جفت پیکسل‌های تکراری را نشان می‌دهد. در حالت یکنواختی کامل، مقدار آن ۱ و در صورت عدم یکنواختی کامل، بسیار نزدیک به صفر است.

کارآمدترین تکنیک‌های استخراج بافت از تصاویر سنجش از دوری می‌باشد. این ماتریس، یک ماتریس مربعی با ابعاد $N_g \times N_g$ است که N_g تعداد درجات خاکستری موجود در تصویر (قدرت تفکیک رادیومتریکی تصویر) می‌باشد. هر درایه این ماتریس بیانگر تعداد زوج پیکسل‌هایی است که

ویژگی‌های مکانی (بافت)، روش‌های مختلفی توسعه داده شده است. توسریان (Tuceryan et al., 1993) این تکنیک‌ها را به چهار دسته کلی تکنیک‌های آماری، هندسی، مدل‌منا و پردازش سیگنال (فیلترینگ) تقسیم‌بندی نموده است. تکنیک آماری ماتریس هم‌اتفاق درجات خاکستری (GLCM) از

الگو استفاده می‌کنند. اثبات شده است که الگوریتم ژنتیک در فضاهای جستجوی بزرگ و غیرخطی عملکرد مناسبی داشته است. مسأله انتخاب ویژگی‌های بهینه، نیز یک مسأله جستجو در فضای غیرخطی است. زیرا صحت طبقه‌بندی تابعی غیرخطی از ترکیب ویژگی‌های ورودی است. تعداد حالات ممکن انتخاب در یک فضای با n ویژگی برابر با 2^n می‌باشد.

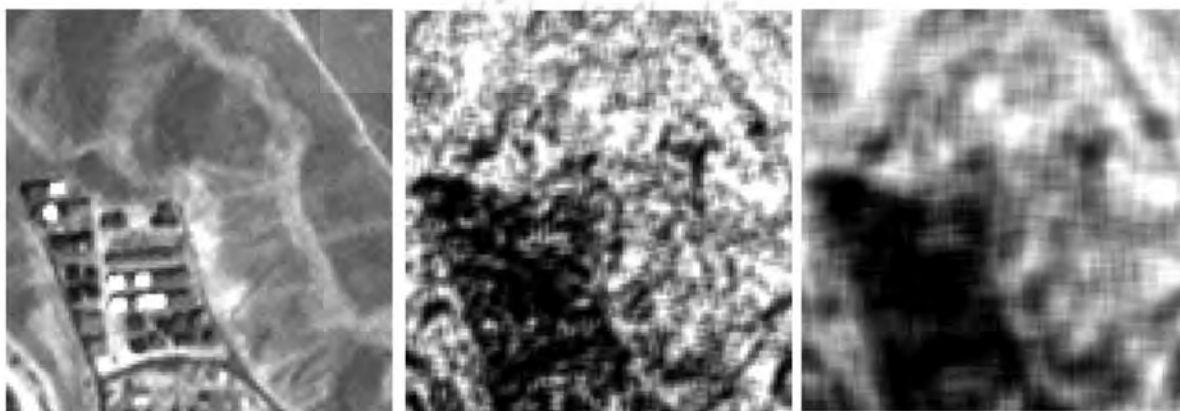
الگوریتم ژنتیک مسئله جستجو یا بهینه‌سازی را به صورت مجموعه‌ای از رشته‌ها که شامل بیت‌ها هستند کدگذاری می‌کند، سپس برای تحریک فرآیند تکامل تدریجی، تغییراتی را بر روی رشته‌ها اعمال می‌دارد. در طی این فرآیند، الگوریتم ژنتیک رشته‌های متناسب با شایستگی بالا را برمی‌گزیند و آن دسته از رشته‌هایی را که شایستگی کمتری دارند، حذف می‌شوند (Goldberg et al., 1988) هر کدام از افراد جمعیت تقریب‌هایی از جواب نهایی است. این افراد یا جواب‌ها به صورت رشته‌هایی از حروف یا ارقام کدگذاری می‌شوند. این رشته‌ها را کروموزوم می‌نامند.

دو عملگر تقاطع و جهش در تمام الگوریتم‌های ژنتیک کاربرد دارند و عملگرهای کلیدی برای رسیدن به جواب بهینه هستند. بعد از مراحل تقاطع و جهش، کروموزوم‌ها از حالت گذشته خارج می‌شوند و مقدار تابع شایستگی محاسبه و به آن اختصاص داده می‌شود. حال اگر لازم باشد

در سطح تصویر دارای درجات خاکستری z و i بوده و در راستای θ از یکدیگر به اندازه d پیکسل فاصله دارند. بعد از محاسبه ماتریس هم‌اتفاق می‌توان پارامترهای مختلف بافت تصویر را از آن استخراج نمود. در این تحقیق از تکنیک مذکور برای استخراج بافت در تصاویر دوزمانه استفاده شد. جدول (۲) بطور خلاصه، مهم‌ترین ویژگی‌های بافت قابل استخراج از GLCM که در این تحقیق بکار گرفته شده است را نشان می‌دهد.

انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه با الگوریتم ژنتیک

یکی از چالش‌هایی که همواره بعد از تولید بافت و ویژگی‌های طیفی در فرآیند طبقه‌بندی یا شناسایی تغییرات پیش می‌آید، تشکیل فضای ویژگی بهینه می‌باشد. فضای ویژگی بهینه فضایی است که ویژگی‌های تکراری و غیر مرتبط با حل مسأله، از آن حذف شده است. می‌توان، مسئله انتخاب ویژگی‌های بهینه در شناسایی تغییرات را یک مسئله بهینه‌سازی در نظر گرفته و از تکنیک‌های بهینه‌سازی برای یافتن جواب بهینه بهره گرفت. تکنیک بهینه‌سازی پیشنهادی برای پاسخ‌دهی به این مسئله، الگوریتم ژنتیک می‌باشد. الگوریتم ژنتیک جزء الگوریتم‌های جستجوی تصادفی و فراابتکاری جمعیت مبنای می‌باشد که از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق



نگاره ۴: نمایش تاثیر پارامتر اندازه پنجره همسایگی در تولید ویژگی بافت. از چپ به راست به ترتیب: باند سبز تصویر IRS-P6، ویژگی همگنی در پنجره‌هایی با ابعاد 3×3 و 5×5 (نگارندگان).

می‌باشد (Myint et al., 2004). به همین منظور، دو پنجره همسایگی مربع‌شکل با ابعاد 3×3 و 5×5 برای این پارامتر مفروض شده و در هر همسایگی، ۸ ویژگی بافت، مطابق با جدول ۲ استخراج شد. بنابراین تعداد ویژگی‌های بافت مستخرج از هر باند طیفی برابر $16 = 2 \times 8$ بوده و تعداد کل ویژگی‌های بافت (در هر یک از تصاویر سه‌باندی IRS-P6 و Geo-Eye1) برابر $48 = 3 \times 16$ می‌باشد. این ۴۸ ویژگی بافت، به همراه ۳ ویژگی طیفی مستخرج از رابطه (۱) و ۳ باند اصلی تصاویر، فضای ویژگی ۵۴ باندی هریک از تصاویر دوزمانه را ایجاد نمود.

انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه در فضای ویژگی تصویر IRS (سال ۲۰۰۶)

به منظور انتخاب و یا تولید ویژگی‌های بهینه، فضای ویژگی تصویر IRS با استفاده از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تکنیک تفکیک‌پذیری آماری کاوش شده و در ادامه تکنیک پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، پیاده‌سازی و نتایج حاصل از آن با تکنیک‌های مذکور مقایسه شد.

بعد از اعمال PCA روی فضای ویژگی ۵۴ باندی IRS، مؤلفه‌های جدیدی با محتوای اطلاعاتی بیشینه تا کمینه حاصل شد. باید توجه داشت که تکنیک‌های کاهش بعد همچون PCA، بدون در نظر گرفتن ماهیت تغییرات و خصوصیات منطقه، تنها استقلال آماری داده‌ها را در نظر می‌گیرد. تعیین تعداد مؤلفه‌های نخستین با ارزش اطلاعاتی بالا که معرف ویژگی‌های بهینه در این تکنیک است، دشوار بوده و راهکاری جز آزمون مقادیر مختلف برای این پارامتر وجود ندارد. لذا در این تحقیق، مقادیر مختلفی برای تعداد مؤلفه‌های نخستین مورد آزمون قرار گرفت. در بهترین حالت که مصادف با انتخاب ۵۳ مؤلفه‌ی اول می‌باشد، ضریب کاپای طبقه‌بندی‌کننده بیش‌ترین شباهت برابر $91/97\%$ می‌باشد. نتایج حاصل از این تکنیک نشان می‌دهد، تکنیک PCA تأثیر ناچیزی در بهبود صحت طبقه‌بندی تصویر مورد آزمون داشته است. طوری که ضریب کاپای طبقه‌بندی از

دوباره مراحل انتخاب و تقاطع انجام می‌گیرد. در طول این فرآیند انتظار می‌رود که کارایی متوسط جمعیت جواب‌ها افزایش یابد. الگوریتم وقتی پایان می‌یابد که هدف خاصی برآورده شود. به عنوان مثال تعداد مشخصی نسل ایجاد شده باشد، انحراف میانگین شایستگی افراد به مقدار مشخصی برسد و یا یک نقطه خاص در فضای جستجو حاصل شود. مراحل کلی عملکرد الگوریتم ژنتیک در نگاره ۱، نشان داده شده است.

بحث

در جهت آماده‌سازی تصاویر دوزمانه برای فرآیند شناسایی تغییرات، ابتدا تصویر سنجنده Geo-Eye با بکارگیری نرم‌افزار ENVI 4.8، زمین‌مرجع شده و سپس با قدرت تفکیک مکانی ۵ متر نمونه برداری مجدد شد. در ادامه تصویر IRS-P6 با خطای کمتر از نیم پیکسل نسبت به تصویر سنجنده Geo-Eye هم‌مرجع شد. سپس ویژگی‌های طیفی و بافت هر یک از تصاویر IRS و Geo-Eye1 با رابطه ۱ و روابط جدول ۲ استخراج شد.

در استخراج بافت با تکنیک GLCM، پنجره همسایگی پارامتر بسیار مهمی بوده و تأثیر چشم‌گیری در کیفیت ویژگی‌های بافت مستخرج دارد. در صورت تغییر اندازه پنجره همسایگی ویژگی‌های استخراجی خصوصیات متفاوتی خواهند داشت. در نگاره ۴، ویژگی همگنی^۱ مستخرج از باند سبز تصویر IRS-P6 در دو پنجره همسایگی با ابعاد 3×3 و 5×5 در کنار باند طیفی مربوطه نشان داده شده است. همانطور که در نگاره ۴ مشخص است، تغییر اندازه همسایگی، تأثیر بسیار زیادی در خصوصیات بافت مستخرج دارد. راهکار مشخصی برای تعیین مناسب پارامتر پنجره همسایگی وجود نداشته و به خصوصیات تصاویر مورد استفاده و منطقه مورد مطالعه بستگی دارد.

یک راهکار مناسب، بررسی مقادیر مختلف برای این پارامتر متناسب با خصوصیات تصویر و منطقه مورد مطالعه

بهترین مجموعه از بین ویژگی‌های طیفی و بافت، سبب حصول صحت بالا در مقایسه با سایر تکنیک‌های انتخاب/ استخراج ویژگی شده است.

جدول ۳: پارامترهای الگوریتم ژنتیک طراحی شده به منظور انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی (بافت).

پارامتر	توضیحات
نحوه کدگذاری کروموزوم	باینری
طول کروموزوم	۵۴
تعداد جمعیت هر نسل	۳۰
تابع شایستگی	ضریب کاپای طبقه‌بندی حداکثر شباهت
نحوه انتخاب والدین	تورنمنت ^۱
تابع تقاطع	دو نقطه‌ای
نرخ تقاطع	۸۰%
نرخ جهش	۲۰%
معیار توقف	تعداد نسل = ۱۰۰، میانگین اختلاف نسبی مقدار تابع شایستگی بهترین عضو = $1e^{-6}$ و همگرایی معیار شایستگی = ۵۰

انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه در فضای ویژگی تصویر Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳)

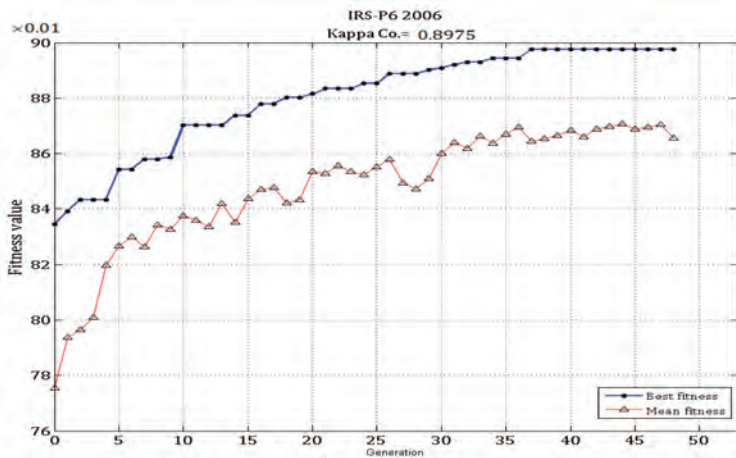
بعد از اعمال PCA روی فضای ویژگی ۵۴ بانندی Geo-Eye1، مولفه‌های جدیدی با محتوای اطلاعاتی بیشینه تا کمینه حاصل شد. همانطور که قبلاً بیان شد، تعیین تعداد مولفه‌های نخستین با ارزش اطلاعاتی بالا که معرف ویژگی‌های بهینه در این تکنیک است، دشوار بوده و راهکاری جز آزمون مقادیر مختلف برای این پارامتر وجود ندارد. لذا مشابه تصویر IRS، در این تصویر نیز مقادیر مختلفی برای تعداد

۷۷/۸۰% (با بکارگیری کل ویژگی‌ها) به ۷۷/۹۱% افزایش پیدا کرده است.

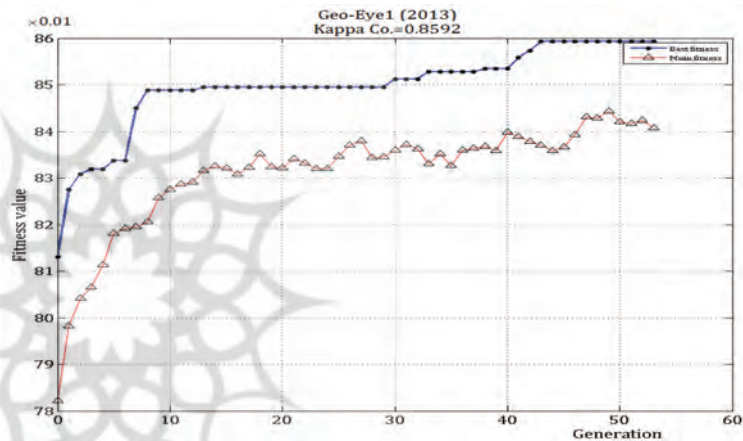
در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری، مقدار فاصله JM برای هریک از ترکیبات دوتایی کلاس‌های موضوعی (بلوک‌های ساختمانی، جاده‌های ارتباطی، پوشش گیاهی، اراضی بایر تیره و اراضی بایر روشن) در هریک از ویژگی‌های طیفی و بافت محاسبه شد. تعیین حدآستانه مناسب برای فاصله JM در این تکنیک امری دشوار بوده و لازم است بطور سراسری جستجو شود. در این تحقیق، بازه [۲ و ۰/۰] با فواصل ۰/۰۲ مورد آزمون قرار گرفته و ضریب کاپای طبقه‌بندی به عنوان معیار شایستگی حدآستانه مذکور منظور شد. در هر حدآستانه منتخب، ویژگی‌هایی که فاصله JM بالاتری از حدآستانه مورد آزمون در جفت-کلاس‌های ممکن داشته باشند، به عنوان ویژگی‌های بهینه انتخاب شده و در طبقه‌بندی داده‌های ارزیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج نشان داد با افزایش مقدار حدآستانه فاصله JM، از ۰ تا ۲، در ابتدا یک روند افزایشی در صحت طبقه‌بندی مشاهده شده و سپس بعد از رسیدن به مقدار ۱/۵۴، نمودار سیر نزولی داشته و کاهش بسیار زیادی در صحت طبقه‌بندی مشاهده می‌شود که نشان دهنده مناسب نبودن ویژگی‌های منتخب می‌باشد. در بهترین حالت (حدآستانه ۱/۵۴)، ضریب کاپای طبقه‌بندی ۷۹/۶۷% می‌باشد که در حدود ۱/۸۷% بهتر از حالتی است که از تمامی ویژگی‌های طیفی و بافت استفاده می‌شود.

در تحقیق حاضر، انتخاب ویژگی‌های بهینه در فضای ویژگی طیفی-بافت با الگوریتم ژنتیکی با پارامترهای معرفی شده در جدول ۳ انجام شد.

نمودار ۱، تغییرات ضریب کاپای بهترین عضو الگوریتم ژنتیک در هر نسل و روند همگرایی این الگوریتم را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم با رسیدن به تابع شایستگی (ضریب کاپای) ۸۹/۷۵% روند ثابت پیدا کرد و همگرا شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، استفاده از تکنیک بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در انتخاب



نمودار ۱: تغییرات ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) مبتنی بر تکنیک پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک).



نمودار ۲: تغییرات ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳) مبتنی بر تکنیک پیشنهادی.

مؤلفه‌های نخستین مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش تعداد مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده در طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1، صحت طبقه‌بندی روند افزایشی داشته و در بهترین حالت که مصادف با انتخاب ۵۲ مؤلفه اول می‌باشد، ضریب کاپای طبقه‌بندی برابر ۷۹/۴۲٪ می‌باشد که کمی بهتر از طبقه‌بندی با تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی با ضریب کاپای ۷۸/۷۷٪ می‌باشد.

انتخاب نماید. نمودار ۲، تغییرات ضریب کاپای بهترین عضو الگوریتم ژنتیک در هر نسل و روند همگرایی این الگوریتم را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود الگوریتم با رسیدن به تابع شایستگی (ضریب کاپای) ۸۵/۹۲٪ روند ثابت پیدا کرد و همگرا شده است. همانطور که انتظار می‌رفت، در این سری داده نیز، استفاده از تکنیک بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در انتخاب بهترین مجموعه از بین ویژگی‌های طیفی و مکانی سبب حصول صحت بالا در مقایسه با سایر تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی شد.

مقایسه و ارزیابی تکنیک‌ها

در این بخش، نتایج طبقه‌بندی تصاویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) و Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳) با تکنیک پیشنهادی و تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تفکیک‌پذیری آماری با آنالیز

در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM، با افزایش مقدار حدآستانه فاصله JM، از ۰ تا ۰/۰۱ در ابتدا یک افزایش جزئی در صحت طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 مشاهده شده و سپس تا حدآستانه ۱/۰۱ روند ثابتی داشته و بعد از آن، نمودار در کل یک روند کاهشی را نشان داد. با انتخاب بهترین حدآستانه (بازه [۰/۰۱ ۱/۰۱])، تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی در طبقه‌بندی حضور داشته و عملاً الگوریتم JM نتوانسته است در این سری داده ویژگی‌های بهینه را

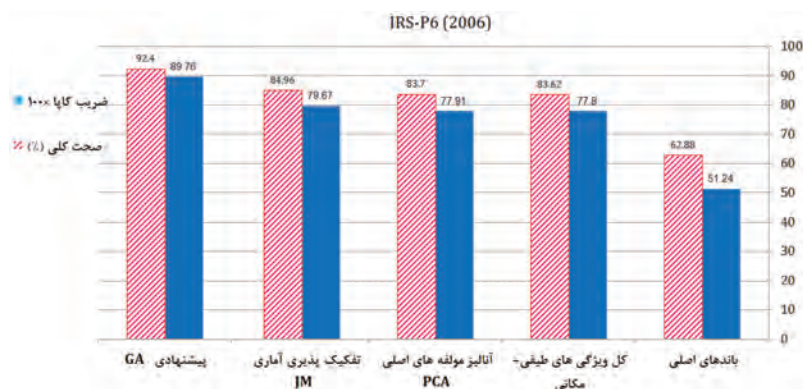
تکنیک انتخاب ویژگی) را به همراه دو حالت پایه: ۱- بکارگیری باندهای اصلی تصاویر و ۲- بکارگیری تمام ویژگی‌های طیفی-مکانی، نشان می‌دهد که مقایسه بصری این نقشه‌ها نشان می‌دهد، بکارگیری ویژگی‌های مکانی سبب بهبود قابل توجهی در نتایج طبقه‌بندی اغلب کلاس‌ها بخصوص در تفکیک کلاس‌هایی با مشابهت طیفی بالا همچون اراضی بایر تیره از بلوک‌های ساختمانی و راه‌های ارتباطی شده است. لازم به ذکر است در صورت بکارگیری تمامی ویژگی‌های مکانی بدون فیلتر کردن آنها، اولاً صحت مکانی لبه‌های عوارض کاهش می‌یابد و ثانیاً ویژگی‌هایی با ارزش اطلاعاتی پایین بکار گرفته می‌شوند. هر دو این عوامل کاهش نتایج طبقه‌بندی را بدنبال دارد. افزایش صحت طبقه‌بندی با بکارگیری تکنیک پیشنهادی مؤید ضرورت انتخاب ویژگی‌های بهینه بجای بکارگیری تمامی ویژگی‌های مستخرج از تصاویر است.

در نمودار ۴، نتایج حاصل از پیاده‌سازی تکنیک پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک) به همراه تکنیک‌های PCA و JM و دو حالت پایه مذکور به صورت ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳) نشان داده شده است. با بررسی نمودار ۴ مشخص می‌شود که مشابه نتایج حاصل از سری داده اول، بکارگیری ویژگی‌های طیفی و بافت در کنار باندهای اصلی، سبب بهبود نتایج طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 بصورت افزایش ضریب کاپای طبقه‌بندی از ۴۹/۲۴٪ به ۷۸/۷۷٪ و افزایش صحت کلی از ۶۲/۱۲٪ به ۸۶/۹۵٪ شده است. نمودار ۴ بیانگر قابلیت

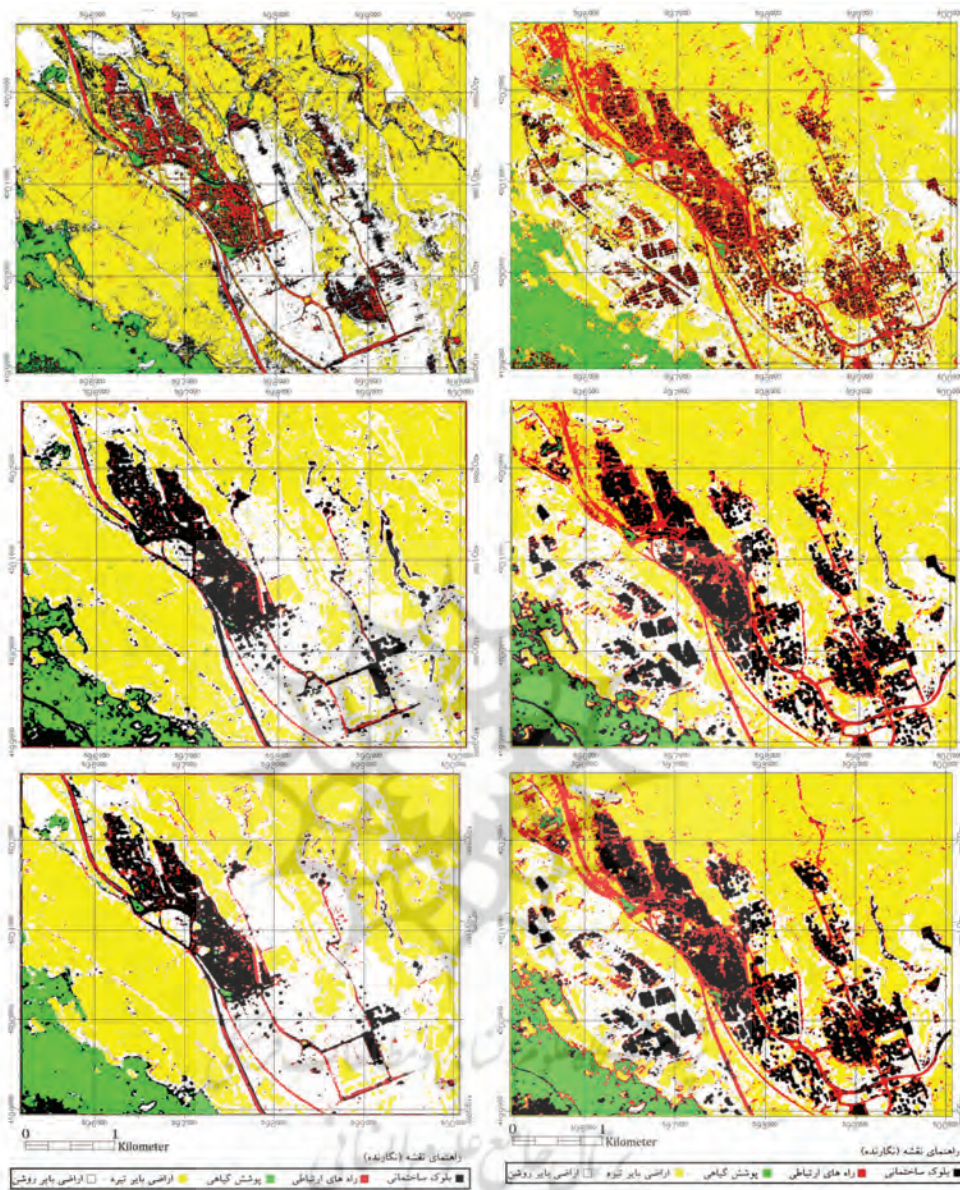
فاصله JM به صورت ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی و سپس صحت نقشه تغییرات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نمودار ۳، نتایج حاصل از پیاده‌سازی تکنیک پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک) به همراه تکنیک‌های PCA و JM را به صورت ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) نشان می‌دهد. در این نمودار هم‌چنین نتایج طبقه‌بندی تصاویر در دو حالت پایه: ۱- بکارگیری باندهای اصلی تصاویر و ۲- بکارگیری تمام ویژگی‌های طیفی-مکانی (بافت) ارائه شده است. با بررسی نمودار ۳ مشخص می‌شود که بکارگیری ویژگی‌های طیفی و بافت در کنار باندهای اصلی سبب افزایش ضریب کاپای طبقه‌بندی از ۵۱/۲۴٪ به ۷۷/۸۰٪ و صحت کلی از ۶۲/۸۸٪ به ۸۳/۶۲٪ شده است. انتخاب/استخراج ویژگی‌های در فضای ویژگی سبب بهبود دوباره نتایج طبقه‌بندی تصویر مورد نظر شده است. بهترین نتایج طبقه‌بندی زمانی حاصل شده است که ویژگی‌های مکانی-طیفی بهینه با تکنیک پیشنهادی انتخاب شده‌اند. ضریب کاپای و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 در حالت بکارگیری الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر ۸۹/۷۶٪ و ۹۲/۴۰٪ می‌باشد. با اختلاف قابل ملاحظه در نتایج طبقه‌بندی، در مرتبه بعدی تفکیک‌پذیری آماری (JM) و مرتبه پایین‌تر تکنیک کاهش بعد PCA قرار دارد که بهبود بسیار اندکی را در مقایسه با حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی نتیجه داشته است.

نگاره ۵-ستون چپ، نقشه موضوعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) با تکنیک پیشنهادی (بهترین



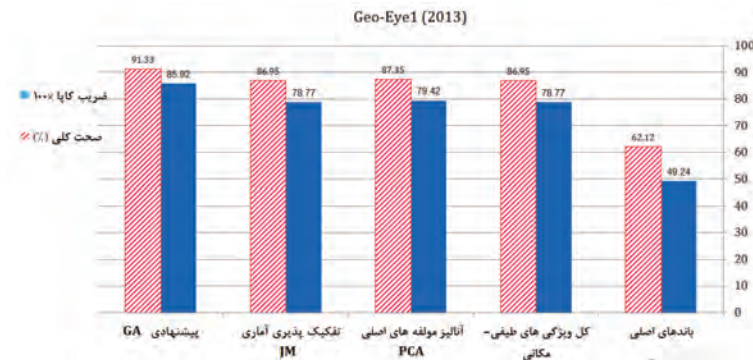
نمودار ۳: ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) حاصل از پیاده‌سازی تکنیک پیشنهادی (GA) و تکنیک‌های PCA و JM، به همراه دو حالت پایه.



نگاره ۵ ستون سمت چپ: نقشه موضوعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) از بالا به پایین به ترتیب با: بکارگیری باندهای اصلی تصاویر، بکارگیری تمام ویژگی‌های طیفی-مکانی (بافت) و انتخاب ویژگی با تکنیک پیشنهادی.

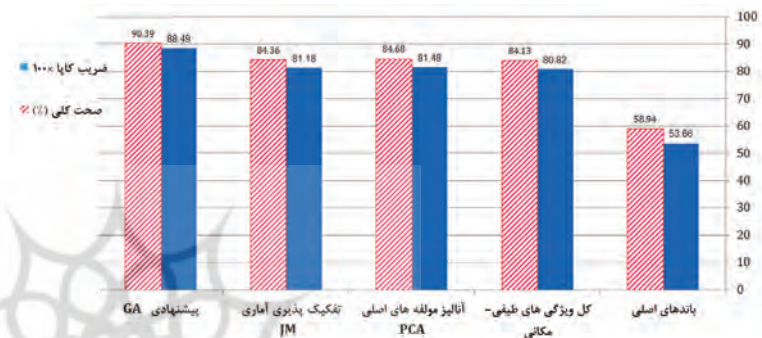
به ترتیب برابر ۸۵/۹۲٪ و ۹۱/۳۳٪ می‌باشد. با اختلاف قابل‌ملاحظه در نتایج طبقه‌بندی، در مرتبه بعدی تکنیک کاهش بعد PCA و سپس تفکیک‌پذیری آماری (JM) قرار دارد که بهبود بسیار اندکی را در مقایسه با حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی نتیجه داشته است. در نگاره ۵ نقشه موضوعی حاصل از طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1

بالای تکنیک پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سایر تکنیک‌های متداول انتخاب/استخراج ویژگی‌های است. طوری که بهترین نتایج طبقه‌بندی زمانی حاصل شده است که ویژگی‌های طیفی و بافت بهینه با الگوریتم ژنتیک انتخاب شده‌اند. ضریب کاپای و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 در حالت بکارگیری الگوریتم پیشنهادی



نمودار ۴: ضریب کاپا و صحت کلی طبقه بندی تصویر Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳)، حاصل از پیاده سازی تکنیک پیشنهادی (GA) و تکنیک های PCA و JM، به همراه دو حالت پایه.

نمودار ۵: ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات شهر جدید سهند در فواصل سال های ۲۰۰۶ (تصویر IRS-P6) و ۲۰۱۳ (تصویر Geo-Eye1) حاصل از پیاده سازی تکنیک پیشنهادی (Eye1) به همراه دو حالت پایه (GA، PCA، JM).



نسبت به الگوریتم پیشنهادی، در مرتبه بعدی تکنیک های PCA و JM به ترتیب تنها سبب افزایش ۰/۵۵٪ و ۰/۲۳٪ در صحت کلی نسبت به حالت بکارگیری تمامی ویژگی های طیفی-بافت در شناسایی تغییرات شده اند. استفاده از تکنیک پیشنهادی سبب افزایش صحت تولیدکننده و کاربر در تمامی کلاس ها به استثناء کلاس ۲ و ۱۰ (که سهم بسیار کمی در تغییرات منطقه را دارند) شده است. طوری که صحت (تولیدکننده و کاربر) کلاس های ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۲ به ترتیب ۶۷/۰۲٪، ۳/۴۶٪، ۴۰/۶۵٪، ۲۵/۳۶٪، ۱۷/۹۸٪، ۳۲/۰۴٪، ۳۱/۲٪ و ۱۲/۲۴٪ و ۲۸/۱۹٪ و ۸/۶۹٪ نسبت به حالت بکارگیری تمامی ویژگی های طیفی-بافت افزایش یافته است. همچنین مشکل کاهش صحت کاربر و تولیدکننده در برخی از کلاس ها (۳، ۵، ۸، ۱۰، ۱۱ و ۱۲) با بکارگیری ویژگی های طیفی و بافت ناکارآمد که در حالت بکارگیری تمامی ویژگی های طیفی و بافت مشاهده شده بود، بطور چشم گیری رفع شده و تنها در کلاس های ۳، ۸، ۱۰ و ۱۲ که مربوط به کلاس های بایر و راه های ارتباطی است، صحت تولیدکننده نسبت به حالت بکارگیری باندهای اصلی اندکی پایین است.

(سال ۲۰۱۳) با تکنیک پیشنهادی (بهترین تکنیک انتخاب ویژگی) به همراه دو حالت پایه مذکور نشان داده شده است. بعد از تهیه نقشه های موضوعی سری زمانی (تصاویر سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳)، با بکارگیری رویکرد مقایسه پس از طبقه بندی، نقشه تغییرات منطقه مورد مطالعه که معرف محل و ماهیت تغییرات می باشد، تولید شد. نمودار ۵، ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات شهر جدید سهند را در فاصله سال های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ حاصل از پیاده سازی تکنیک پیشنهادی (الگوریتم ژنتیک) و تکنیک های JM، PCA را به همراه دو حالت پایه نشان می دهد.

نمودار ۵ بیانگر قابلیت بالای تکنیک پیشنهادی در انتخاب ویژگی های بهینه در فرآیند شناسایی تغییرات می باشد. ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات در حالت بکارگیری الگوریتم پیشنهادی به ترتیب برابر ۸۸/۴۹٪ و ۹۰/۳۹٪ می باشد که در مقایسه با حالت بکارگیری باندهای اصلی تصاویر، به ترتیب ۳۴/۸۳٪ و ۳۱/۴۵٪ افزایش پیدا کرده و در مقایسه با حالت بکارگیری تمامی ویژگی های طیفی-بافت، به ترتیب ۷/۶۷٪ و ۶/۲۶٪ افزایش پیدا کرده است. با اختلاف قابل ملاحظه در نتایج شناسایی تغییرات

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به ترتیب برابر ۸۸/۴۹٪ و ۹۰/۳۹٪ می‌باشد که در مقایسه با حالت بکارگیری باندهای اصلی تصاویر، ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب ۳۴/۸۳٪ و ۳۱/۴۵٪ افزایش پیدا کرده و در مقایسه با حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی - بافت، به ترتیب ۷/۶۷٪ و ۶/۲۶٪ افزایش پیدا کرده است. البته لازم به ذکر است، زمان اجرای الگوریتم ژنتیک در مقایسه با سایر تکنیک‌های مورد آزمون طولانی‌تر است، در صورتی که صحت نتایج شناسایی تغییرات، بر زمان اجرای فرآیند شناسایی تغییرات، ارجحیت داشته باشد، انتخاب روش الگوریتم ژنتیک کاملاً توصیه می‌شود.

نتایج تحقیق نشان داد عمده تغییرات حادث در شهر جدید سهند در فاصله سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ از نوع تغییر اراضی بایر تیره و روشن به بلوک‌های ساختمانی و همچنین تغییر اراضی بایر تیره به اراضی بایر روشن است که همگی این تغییرات بیانگر گسترش منطقه شهری می‌باشد. بر اساس نقشه تغییرات تولیدشده در این تحقیق، در محدوده زمانی مورد مطالعه (۱۴ جولای ۲۰۰۶ و ۱ سپتامبر ۲۰۱۳)، در حدود ۱/۹۳ کیلومترمربع از اراضی بایر (تیره و روشن) به بلوک‌های ساختمانی و در حدود ۲/۰۴ کیلومترمربع از اراضی بایر تیره به اراضی بایر روشن تبدیل شده است که نشان از برنامه احتمالی گسترش شهری در این منطقه دارد.

پیشنهادها و راهکارها

پیشنهادها و راهکارهای قابل ارائه برای پیشبرد نتایج تحقیق را می‌توان در دو زمینه: ۱- استخراج و ۲- انتخاب ویژگی، ارائه نمود. پیشنهاد می‌شود علاوه بر ویژگی‌های بافت مستخرج از ماتریس GLCM، از سایر توصیف‌گرها، همچون توصیف‌گرهای زمین‌آمار، مبتنی بر حوزه فرکانس، گابور و فرکتال نیز جهت بهبود شناسایی تغییرات در منطقه شهری استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود قابلیت سایر تکنیک‌های بهینه‌سازی در کنار الگوریتم ژنتیک در این زمینه بررسی شود.

تولید و بکارگیری ویژگی‌های مکانی (بافت) در کنار ویژگی‌های طیفی، راه‌حلی مناسب برای بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و متعاقباً بهبود آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری می‌باشد. بهبود احتمالی نتایج آشکارسازی تغییرات در حالت بهره‌گیری از ویژگی‌های طیفی و بافت، تنها در صورتی تضمین خواهد شد که این ویژگی‌ها، مناسب و ارزشمند باشند. انتخاب تجربی ویژگی‌های طیفی-بافت بهینه، فرآیندی زمان‌بر بوده و گاهی از نظر عملی امکان‌پذیر نیست. تکنیک‌های کاهش بعد همچون تکنیک PCA تنها استقلال آماری داده‌ها را در نظر گرفته و کارایی لازم را ندارند. تعیین حدآستانه مناسب برای انتخاب ویژگی‌های بهینه در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM نیز عملاً از کارایی این تکنیک می‌کاهد. در تحقیق حاضر از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب مجموعه ویژگی‌های طیفی و بافت بهینه استفاده شد. تکنیک پیشنهادی از هیچ‌گونه پیش‌فرضی در خصوص داده‌ها استفاده نکرده و بطور مستقیم صحت طبقه‌بندی و/یا صحت شناسایی تغییرات را دنبال می‌نماید. لذا طبق انتظاری که می‌رفت، به صحت بالاتری در شناسایی تغییرات در مقایسه با سایر تکنیک‌ها انجامید. تغییرات شهر جدید سهند با بکارگیری تصاویر سنجنده‌های IRS-P6 و Geo-Eye1 اخذ شده در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ با تکنیک

پیشنهادی استخراج و با نتایج حاصل از تکنیک‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تفکیک‌پذیری آماری با آنالیز فاصله JM مقایسه شد. مبنای مقایسه، صحت طبقه‌بندی تصاویر تک‌زمانه و صحت نقشه تغییرات بود. نتایج نشان داد در صورت استفاده از ویژگی‌های طیفی-بافت بهینه بجای بهره‌گیری از تمامی فضای ویژگی، صحت طبقه‌بندی و صحت شناسایی تغییرات بهبود خواهد یافت. در هر دو تصویر IRS-P6 و Geo-Eye1، بهترین نتایج طبقه‌بندی زمانی حاصل شد که ویژگی‌های طیفی-بافت بهینه با الگوریتم پیشنهادی (ژنتیک) انتخاب شدند. ضریب کاپای و صحت کلی نقشه تغییرات در حالت بکارگیری الگوریتم پیشنهادی

of Environment, 114(3), 504-513.

10- Jensen, J. R. (2004). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*: Prentice-Hall Inc.

11- Li, Z., Chen, J., & Baltsavias, E. (2008). *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS congress book (Vol. 7)*: CRC Press.

12- Mhangara, P., & Odindi, J. (2013). Potential of texture-based classification in urban landscapes using multispectral aerial photos. *South African Journal of Science*, 109(3-4), 1-8.

13- Myint, S. W., Lam, N. S.-N., & Tyler, J. M. (2004). Wavelets for urban spatial feature discrimination. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(7), 803-812.

14- Radke, R. J., Andra, S., Al-Kofahi, O., & Roysam, B. (2005). Image change detection algorithms: a systematic survey. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 14(3), 294-307.

15- Richter, R., Kellenberger, T., & Kaufmann, H. (2009). Comparison of topographic correction methods. *Remote Sensing*, 1(3), 184-196.

16- Sallaba, F. (2009). Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece.

17- Tassetti, A. N., Malinverni, E., & Hahn, M. (2010). Texture analysis to improve supervised classification in IKONOS imagery: na.

18- Taubenböcka, H., Wegmann, M., Roth, A., Schmidta, M., & Decha, S. (2009). Urbanization in India -Spatiotemporal analysis using remote sensing data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33(3), 179-188.

19- Tuceryan, M., & Jain, A. K. (1993). Texture analysis. *Handbook of pattern recognition and computer vision*, 276.

20- Xie, M., & Fu, M. (2011). The temporal dynamics of urban heat islands derived from thermal remote sensing data by local indicator of spatial association in Shenzhen, China. Paper presented at the International Conference on Photonics and Image in Agricultural Engineering (PIAGENG 2010).

منابع و مأخذ

1- Agüera, F., Aguilar, Fernando J, Aguilar, Manuel A. (2008). Using texture analysis to improve per-pixel classification of very high resolution images for mapping plastic greenhouses. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(6), 635-546.

2- Brumby, S. P., Theiler, J. P., Perkins, S. J., Harvey, N. R., Szymanski, J. J., Bloch, J. J., & Mitchell, M. (1999). Investigation of image feature extraction by a genetic algorithm. Paper presented at the SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation.

3- Chen, X., Chen, J., Shi, Y., & Yamaguchi, Y. (2012). An automated approach for updating land cover maps based on integrated change detection and classification methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 86-95.

4- Erener, A., Şebnem Düzgün, H. (2009). A methodology for land use change detection of high resolution pan images based on texture analysis. *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2), 47-59.

5- Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic algorithms and machine learning. *Machine learning*, 3(2), 95-99.

6- Hu, Q., Wu, W., Xia, T., Yu, Q., Yang, P., Li, Z., & Song, Q. (2013). Exploring the use of Google Earth imagery and object-based methods in land use/cover mapping. *Remote Sensing*, 5(11), 6026-6042.

7- Huss, M., Stockli, R., Kappenberger, G., & Blatter, H. (2008). Temporal and spatial changes of Laika Glacier, Canadian Arctic, since 1959, inferred from satellite remote sensing and mass-balance modelling. *Journal of Glaciology*, 54(188), 857-866.

8- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H., Stanley, D. (2013). Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 91-106.

9- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing*