اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

استفاده از ویژگی‌های طیفی و مکانی در شناسایی تغییرات مناطق شهری مبتنی بر تصاویر سنجش‌از دور چندزمانه

وحید صادقی[*1]، حمید عبادی[2]، فرشید فرنود احمدی[3]، حمید عنایتی[4]

۱- دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
۲- دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
۳- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
۴- کارشناس ارشد فتوگرامتری، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

چکیده :

حصول نتایج رضایت‌بخش در شناسایی تغییرات مناطق شهری مبتنی بر تصاویر سنجش‌از دوری، مستلزم استخراج، انتخاب و بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی می‌باشد. در این تحقیق کارایی تکنیکهای متعدد انتخاب ویژگی مورد ارزیابی قرار گرفت. این تکنیک‌ها شامل آنالیزمولفه‌های‌اصلی، تفکیک‌پذیری‌آماری و فضای‌پدیده می‌باشند. نتایج شناسایی تغییرات شهر جدید سهند با بکارگیری تصاویر IRS-P6 و Geo-Eye1 اخذ شده در سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ مبنای ارزیابی این تکنیک‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد ویژگی‌های مکانی به عنوان منبع اطلاعاتی مکمل، بهبود نتایج شناسایی تغییرات در منطقه شهری را بدنبال دارد. طوری که ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات به ترتیب از ۵۳.۴۶٪ به ۸۸.۴۹٪ و از ۵۸.۹۴٪ به ۹۰.۳۹٪ افزایش یافت. همچنین نتایج تحقیق نشان داد، انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه، فرآیند تاثیرگذاری در شناسایی تغییرات می‌باشد. هرکدام از تکنیک‌های انتخاب ویژگی کارایی و محدودیت‌های خاص خودشان را داشته ولی بطور کلی این فرآیند، سبب افزایش صحت شناسایی تغییرات نسبت به حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی و مکانی می‌شود. تکنیک آنالیزمولفه‌های‌اصلی، تنها استقلال آماری داده‌ها را برای رسیدن به مولفه‌هایی جدید با وابستگی کمتر در نظر گرفته و بهبود صحت طبقه‌بندی را بطور مستقیم دنبال نمی‌کند. تعیین حدآستانه مناسب برای انتخاب ویژگی‌های بهینه در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری نیز عملاً از کارایی این تکنیک می‌کاهد. لزوم تعیین تعداد ویژگی‌های بهینه نهایی در تکنیک فضای پدیده نیز اتوماسیون این تکنیک را کاهش می‌دهد. هرچند در این تکنیک وجود الگوهای آموزشی برای هدایت الگوریتم ضرورتی نداشته و از این جهت نسبت به تکنیک تفکیک‌پذیری آماری ارجحیت دارد. بطور کلی، در صورتیکه الگوهای آموزشی کافی و مناسب از کلاس‌های موضوعی فراهم باشد تکنیک تفکیک‌پذیری آماری برای انتخاب ویژگی‌های بهینه توصیه می‌شود. ولی در صورتی که چنین الگوهای آموزشی فراهم نباشد یا از توزیع و کیفیت مناسبی برخوردار نباشد و انتخاب ویژگی‌های بهینه با اتوماسیون بالا مدنظر باشد، تکنیک فضای پدیده انتخاب صحیح‌تری خواهد بود.

واژه‌های کلیدی : شناسایی تغییرات، تصاویر سنجش از دور، ویژگی‌های طیفی و مکانی (بافت)، آنالیزمولفه‌های‌اصلی، تفکیک‌پذیری‌آماری و فضای‌پدیده.

نویسنده مکاتبه کننده : وحید صادقی
آدرس پستی : تهران، خیابان ولی‌عصر، بالاتر از میرداماد، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
تلفن : ۰۲۱-۸۸۷۷۰۲۱۸
آدرس پست الکترونیک : vahid.sadeghi.1985@gmail.com

۱- مقدمه

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 در دهه‌های اخیر 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 طرفی سنجنده‌های ماهواره-ای 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 [۱-۳]. تکنیک‌های متعددی برای شناسایی تغییرات با بکارگیری تصاویر سنجش‌از دوری چندزمانه توسعه داده شده است. این تکنیک‌ها را می‌توان از جنبه‌های مختلفی دسته‌بندی نمود: از حیث نتایج برخی روش‌های شناسایی تغییرات، 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 بین‌کلاسی استفاده می‌کنند. تکنیک مقایسه پس‌ازطبقه‌بندی 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 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[۴-۶]. 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 انجام تصحیحات اتمسفری ضروری ندارد [۵]. حتی 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[۷, ۸].

۲- پیشینه تحقیق

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. 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. مطالعات نشان می‌دهد که تولید و بهره‌گیری از اطلاعات مکانی مناسب در کنار اطلاعات طیفی، سبب بهبود صحت طبقه‌بندی تصاویر در مناطق ناهمگون می‌شود. ارنر [۹] در تحقیقی که به منظور بهبود نتایج آشکارسازی تغییرات در منطقه شهری با استفاده از اطلاعات بافت انجام داده بودند، مسئله انتخاب بهینه ویژگی‌های مکانی به منظور بهبود صحت طبقه‌بندی را مد نظر قرار داده و از آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA[1]) اقدام به کاهش بعد فضای ویژگی طیفی و مکانی نمودند. تا بدین طریق به ویژگی‌های بهینه و مستقل دست یابند. ایشان چندین مولفه اول PCA را به عنوان ویژگی‌های با ارزش اطلاعاتی بالا انتخاب نمودند. در تحقیقی مشابه، تاستی و همکاران [۱۰] به منظور بهبود نتایج

[1] Principal Component Analysis

آشکارسازی تغییرات در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، از تکنیک ماتریس هم‌اتفاق درجات خاکستری (GLCM[۲]) و تصاویر چگالی لبه استخراج نموده و از PCA به عنوان تکنیک استخراج ویژگی‌های بهینه استفاده نمودند. ویژگی‌های جدید به عنوان باندهای کمکی در تشخیص بهتر عوارض با ناهمگونی‌های طیفی زیاد موثر 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. مانگارا و ادینی[۱۱] 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 جفریز-ماتیسوتا (JM[۳]) استفاده کردند. با بکارگیری ویژگی‌های منتخب، تکنیک شیءگرا قانون‌مبنا برای طبقه‌بندی تصویر 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. صادقی [۵] با توجه به اهمیت فرآیند انتخاب ویژگی در شناسایی تغییرات منطقه شهری، تکنیک جدیدی مبتنی بر فضای پدیده[۴] را برای انتخاب ویژگی‌های طیفی و مکانی بهینه توسعه داده و کارایی آن را در تصاویر دوزمانه ماهواره‌ای آزمود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد بکارگیری تکنیک فضای پدیده سبب بهبود نتایج شناسایی تغییرات نسبت به حالت بکارگیری تمام ویژگی‌های طیفی و مکانی مستخرج از این تصاویر می‌شود.

۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

تولید و بکارگیری ویژگی‌های مکانی در کنار ویژگی‌های طیفی، راه حلی مناسب برای بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و متعاقباً بهبود آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری می‌باشد. در تصاویر سنجش‌از 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. وجود ویژگی‌های تکراری و غیرمرتبط مسأله، علاوه بر این که باعث بهبود صحت و یا کاهش پیچیدگی مسأله نمی‌شوند بلکه زمان لازم برای انجام محاسبات را نیز افزایش می‌دهند[۱۲]. هر ویژگی، اثر خاص خود را در تفکیک عوارض داشته و بنابراین انتخاب بهترین مجموعه از ویژگی‌ها، تاثیر 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. تکنیک‌های متعددی برای استخراج یا انتخاب ویژگی‌های بهینه در تحقیقات پیشین توسعه داده شده است که در دو رویکرد کلی نظارت‌شده و تکنیک‌های نظارت‌نشده قابل دسته‌بندی هستند. در این تحقیق کارایی تکنیکهای مختلف استخراج/انتخاب ویژگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از سری تکنیک‌های نظارت‌نشده، تکنیک آنالیزمولفه‌های‌اصلی و تکنیک جدید فضای‌پدیده و از سری تکنیک‌های نظارت‌شده، تکنیک تفکیک‌پذیری‌آماری مورد بررسی قرار می‌گیرند.

[2] Gray Level Cooccurance Matrix
[3] Jeffreys–Matisuta
[4] prototype space

۴- تکنیک‌های استخراج/انتخاب ویژگی‌های بهینه

۴-۱- تکنیک‌های نظارت‌نشده

تکنیک‌های استخراج/انتخاب ویژگی نظارت‌نشده، تکنیک‌هایی هستند که نیازی به دانش اولیه و داده‌های تمرینی نداشته و لزوماً هدف آنها بهینه‌سازی تفکیک‌پذیری کلاسها و بهبود صحت طبقه‌بندی/شناسایی تغییرات نمی‌باشد. بلکه بیشتر به دنبال تبدیل‌هایی هستند که داده‌ها پس از کاهش بعد به زیرفضاهایی تبدیل شوند که در آن زیرفضا، اطلاعات اولیه تا حدامکان حفظ شده باشند. هرچند در اغلب تکنیک‌های نظارت‌نشده نیز برخی از پارامترهای تاثیرگذار در تصمیم‌گیری نهایی توسط کاربر تعیین می‌شوند. تکنیک‌های نظارت‌نشده در دو دسته کلی، تکنیک‌های استخراج ویژگی و تکنیک‌های انتخاب ویژگی قرار می‌گیرند. در تکنیک‌های استخراج ویژگی، ویژگی‌های جدیدی تولید می‌شوند که اصولا با ویژگی‌های ورودی تفاوت دارند. ولی در تکنیک‌های انتخاب ویژگی، ویژگی‌های بهینه و مناسب از بین ویژگی‌های ورودی انتخاب می‌شوند هرچند این تکنیک‌ها توانایی تولید ویژگی‌های جدیدی را نیز دارند که با ویژگی‌های ورودی تفاوت داشته باشند. از بین تکنیک‌های استخراج ویژگی‌های بهینه، تکنیک کارآمد آنالیز مولفه‌های اصلی و از بین تکنیک‌های انتخاب ویژگی، تکنیک نوین فضای پدیده در ادامه تشریح داده می شود.

۴-۱-۱- استخراج ویژگی‌های بهینه با آنالیز مؤلفه‌های اصلی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) [۱۳] یک تکنیک کارآمد برای کاهش ابعاد داده‌های سنجش‌از دوری می‌باشد که به منظور دستیابی به تصویر جدیدی که در آن میزان واریانس داده‌ها در مولفه‌های نخستین، بیشتر و وابستگی بین مولفه‌های نخستین این تصویر، کمتر از وابستگی بین باندهای تصویر اصلی است، استفاده می‌شود. اگر ورودی این تبدیل باندهای تصویری باشند آنگاه می‌توان انتظار داشت که کنتراست در مولفه اول حاصل‌شده از این تبدیل بیشتر از کنتراست مولفه دوم باشد و این مسئله به همین ترتیب در میان مولفه‌های دیگر نیز برقرار است. لذا با انتخاب چندین مولفه اول-که راهکار مشخص و قطعی برای تعیین تعداد آن وجود ندارد و باید بصورت آزمون خطا تعیین شود- می‌توان به ویژگی‌های بهینه دست یافت. هرچند تکنیک مذکور بطور اتوماتیک اقدام به تولید ویژگی‌های جدید با محتوای اطلاعاتی بالا در مولفه‌های نخستین می‌نماید و از این نظر حائز اهمیت است ولی حصول صحت بالا در یک الگوریتم شناسایی تغییرات منوط به انتخاب ویژگی‌های متناسب با ماهیت تغییرات رخ داده در منطقه است و استقلال آماری داده‌های ورودی تنها شرط کافی برای این امر نیست.

۴-۱-۲- انتخاب ویژگی‌های بهینه با تکنیک نوین فضای پدیده

تکنیک فضای پدیده اولین بار توسط مجردی و همکاران [۱۴] به منظورکاهش ابعاد تصاویر فراطیفی پیشنهاد شده و بعدها به عنوان یک تکنیک نظارت‌شده انتخاب ویژگی، در کاربرد شناسایی تغییرات مناطق شهری معرفی و مورد استفاده قرار گرفت[۵]. تکنیک فضای پدیده سعی در یافتن زیر مجموعه‌ای از ویژگی‌ها دارد تا بصورت خودکار امکان قرار گرفتن دو ویژگی با همبستگی بالا در یک زیر مجموعه را به حداقل برساند. این روش از ابتدا سعی در کاوش فضا با تعداد باند مورد نیاز می‌نماید تا مناسب‌ترین باندهای نماینده را انتخاب نماید. در این تکنیک ابتدا برای باندها براساس انعکاسی که در کلاسهای مختلف داشته‌اند بردار ویژگی تشکیل می‌شود. بدین ترتیب باندها در یک فضا بنام فضای پدیده بازنمایی شده و سپس باندهای مشابه که دارای خصوصیات انعکاسی مشابهی نسبت به کلاسها از خود نشان داده‌اند از طریق الگوریتم خوشه‌بندی فازی در یک دسته قرار می‌گیرند. سپس در فضای پدیده ایجاد شده نزدیکترین باند به مرکز هر دسته به عنوان نماینده باندهایی با وابستگی بالا معرفی می‌شوند. شناسایی باندها با

وابستگی زیاد در فضای پدیده و انتخاب باندهای بهینه (با ارزش اطلاعاتی بالا) در فضای پدیده توسط الگوریتم خوشه‌بندی FCM صورت می‌گیرد. تعداد خوشه‌ها بعد ذاتی تصویر می‌باشد که در این تحقیق به عنوان تعداد بهینه ویژگی‌های طیفی-مکانی آزمون منظور شده است. صادقی [۵] برای تعیین مناسب این پارامتر، مقادیر متفاوتی را مورد آزمون قرار داده و صحت طبقه‌بندی داده‌های ارزیابی را به عنوان ملاک مناسب بودن این پارامتر در نظر گرفت. بعد از پایان الگوریتم خوشه‌بندی، با تعیین و انتخاب نزدیکترین ویژگی به مراکز خوشه‌ها، نماینده ویژگی‌های مشابه طیفی حاضر در یک خوشه، به عنوان ویژگی‌های بهینه تعیین می‌شوند [۵].

۲-۴- تکنیک نظارت‌شده انتخاب ویژگی مبتنی بر آنالیز تفکیک‌پذیری آماری

در روشهای نظارت‌شده انتخاب ویژگی، برخلاف روش‌های نظارت‌نشده، با بکارگیری نمونه‌های آموزشی میزان بهینه بودن یک ویژگی در تفکیک‌پذیری کلاسها مورد بررسی قرار می‌گیرد. ارزیابی تفکیک‌پذیری کلاسها با فاصله جفریز-ماتیسوتا (JM) یکی از متداولترین تکنیک‌هایی است که در این دسته قرار می‌گیرد[۱۱]. در این تکنیک، بر اساس داده‌های آموزشی نماینده هر کلاس موضوعی، توزیع احتمال برای کلاس متناظر، برآورد شده و برای محاسبه تفکیک‌پذیری بین دو کلاس استفاده شود. برای دو کلاس C_1 و C_2 و یک ویژگی مورد نظر، ابتدا فاصله باتاچاریا طبق رابطه (۱) تعیین می‌شود. سپس فاصله JM با استفاده از ترم فاصله باتاچاریا، تفکیک‌پذیری بین کلاسی را در مقیاس [۲-۰] اندازه‌گیری می‌نماید (رابطه ۲). فاصله JM دامنه دینامیکی محدودی دارد. این خصوصیت منحصربفرد، امکان مقایسه بهتری را در آنالیز ویژگی‌ها فراهم می‌نماید.

رابطه (۱)
$$B=\frac{1}{8}(m_1-m_2)^2\frac{2}{\sigma_1^2+\sigma_2^2}+\frac{1}{2}\ln\left[\frac{\sigma_1^2+\sigma_2^2}{2\sigma_1\sigma_2}\right],$$

در این رابطه، m_i و δ_i^2 و i=1,2، به ترتیب، بیانگر میانگین و واریانس توزیع ویژگی‌ها برای دو کلاس C_1 و C_2 می‌باشد.

رابطه (۲)
$$j=2(1-e^{-B})$$

تفکیک‌پذیری کامل بین دو کلاس با توجه به ویژگی آنالیز شده، با J=2 نشان داده می‌شود. این بدان معنی است که اگر این ویژگی در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گیرد، بر اساس نمونه‌های آموزشی بکار گرفته شده، هیچ خطایی در طبقه‌بندی وجود نخواهد داشت. چرا که در این حالت، هیچ همپوشانی بین توزیع‌های احتمال دو کلاس مورد بررسی وجود ندارد. هرچه میزان فاصله J، کمتر باشد، به همان نسبت، میزان تفکیک‌پذیری دو کلاس پایین بوده و خطای بیشتری در طبقه‌بندی انتظار می‌رود. ویژگی‌های بهینه به دو طریق قابل تعیین است. راهکار اول: انتخاب ویژگی‌هایی که مقدار فاصله JM در آن، از حدآستانه T بالاتر باشند ($0<T\le 2$). حدآستانه T مقدار مشخص و قطعی ندارد و بسته به شرایط حاکم بر مسئله، تعیین می‌شود. تخمین مقدار بهینه برای حدآستانه T در یک فرآیند سعی و خطا و یا با بکارگیری نمودار ROC امکان‌پذیر است. راهکار دیگر برای انتخاب ویژگی‌های بهینه، انتخاب چند ویژگی نخستین با مقدار تفکیک‌پذیری بالا (ویژگی‌هایی باJM بیشتر) نسبت به بقیه در هرجفت-کلاس مورد بررسی می‌باشد. مشابه حالت قبلی، اصول مشخصی برای تعیین تعداد مولفه‌های نخستین وجود ندارد و این پارامتر، بسته به شرایط مسئله، قابل تعیین است.

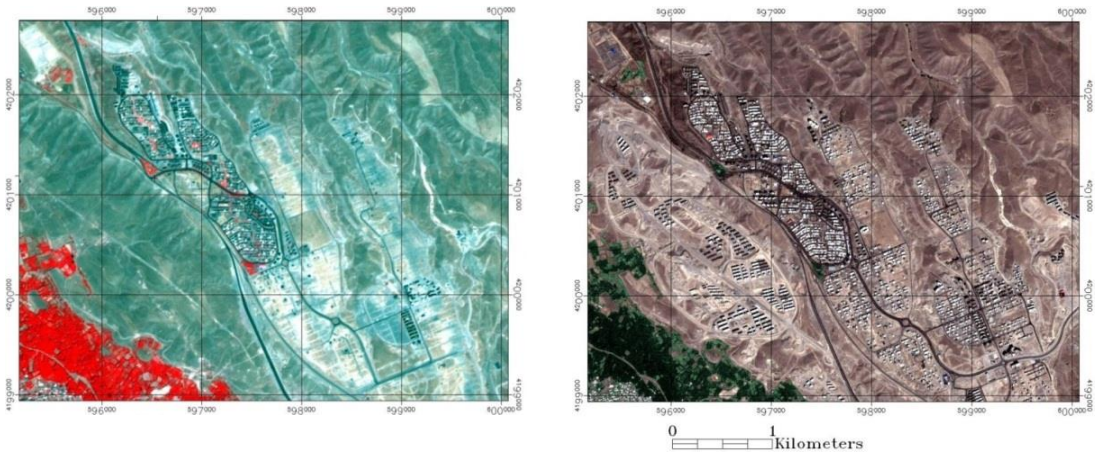
۵- منطقه و داده های مورد استفاده

۵-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر جدید سهند یکی از شهرهای جدیدالحداث استان آذربایجان‌شرقی می‌باشد که در شمال‌غرب 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 می‌باشد. هدف از احداث شهر جدید سهند، اسکان دادن سرریز جمعیت کلان‌شهر تبریز بود که با استقبال گسترده مردم این کلان‌شهر روبه‌رو شد.

۵-۲- داده‌های مورد استفاده

به منظور ارزیابی تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه، در میزان بهبود نتایج شناسایی تغییرات در منطقه شهری سهند، از یک زوج تصویر سنجنده‌های IRS-P6 و GeoEye که به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ از این شهر اخذ شده بود، استفاده شد. تصاویر سنجنده IRS-P6 و GeoEye-1 شامل سه باند طیفی می‌باشند که به ترتیب مربوط به طیف امواج الکترومغناطیس سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند. سنجنده ماهواره‌ایGeoEye-1 توانایی تصویربرداری در محدوده پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی 0.4 متر و چندطیفی با قدرت تفکیک مکانی 1.6 متر را دارد. قدرت تفکیک مکانی تصاویر سنجنده IRS-P6 نیز ۵ متر می‌باشد. شکل (۱)، ترکیب رنگی کاذب تصویر سنجنده IRS-P6 و ترکیب رنگی طبیعی تصویر سنجنده Geo-Eye1 مورد استفاده در این تحقیق را نشان میدهد.



شکل ۱: ترکیب رنگی کاذب تصویر سنجنده IRS-P6 (سمت چپ)و ترکیب رنگی طبیعی تصویر سنجنده Geo-Eye1 (سمت راست) به ترتیب اخذ شده در سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ از شهر جدید سهند.

۶- پیاده‌سازی و نتایج تحقیق

۶-۱- آماده‌سازی داده‌ها

در جهت آماده‌سازی تصاویر دوزمانه برای فرآیند شناسایی تغییرات، ابتدا تصویر سنجنده Geo-Eye زمین مرجع‌شده و سپس با قدرت تفکیک فضایی ۵ متر نمونه برداری مجدد شد. در ادامه تصویر IRS-P6 با خطای کمتر از نیم‌پیکسل نسبت به تصویر سنجنده Geo-Eye هم‌مرجع شد. سپس ویژگی‌های طیفی و مکانی هر یک از تصاویر IRS و Geo-

Eye1 مطابق توضیحات بخش ۶-۲ استخراج شد. عوارض غالب در منطقه مورد مطالعه شامل کلاسهای موضوعی: بلوک‌های ساختمانی، راه‌های ارتباطی، پوشش گیاهی و اراضی بایر 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 $[C_1, C_2, \dots, C_{12}]$ بین ۵ کلاس موضوعی در طرح شناسایی تغییرات به صورت: C_1: ساختمان-به-ساختمان، C_2: راه-به-ساختمان، C_3: راه-به- راه، C_4: راه-به- بایر تیره، C_5: پوشش گیاهی-به- پوشش گیاهی، C_6: بایر تیره-به-ساختمان، C_7: بایر تیره-به- بایر تیره، C_8: بایر تیره-به- بایر روش، C_9: بایر روشن-به- ساختمان، C_{10}: بایر روشن-به-راه، C_{11}: بایر روشن-به- بایر تیره و C_{12} بایر روشن-به- بایر روشن در نظر گرفته شد.

۶-۲- استخراج ویژگی‌های طیفی و مکانی

۶-۲-۱- ویژگی‌های طیفی

معمولاً داده‌های سنجش از دور که توسط سنجنده‌ها جمع‌آوری می‌گردند، دارای محدودیت خاصی از نظر قدرت تفکیک رادیومتریکی، طیفی و مکانی هستند. معمولاً شناسایی الگو با بکارگیری باندهای اصلی تصاویر سنجش‌از دوری نتایج رضایت بخشی نداشته لذا در جهت بالابردن امکان شناسایی و تفکیک عوارض، یکسری عملیاتی رو تصاویر انجام می‌گیرد تا قابلیت شناسایی و تفکیک الگوها را بهبود بخشد. این مجموعه عملیات منجر به تولید یکسری ویژگی‌های جدیدی می‌شود که در این ویژگی‌های جدید، عوارض مورد نظر به طرز قابل قبولی از بقیه عوارض متمایزتر می‌شوند. به عنوان نمونه از بین ویژگی‌های طیفی می‌توان به شاخص گیاهی نرمالیزه شده اشاره نمود که سبب شناسایی بهتر مناطق با پوشش گیاهی می‌شود. ویژگی‌های طیفی مورد استفاده در این تحقیق از ترکیب کلیه حالت‌های دوبه‌دوی ممکن باندهای اصلی تصویر مشابه رابطه (۳) به دست می‌آید. در این رابطه، DN_i و DN_j به ترتیب، بیانگر مقدار انعکاس طیفی در باندهای طیفی i و j می‌باشد (i=1,2,3, j=1,2,3, i≠j).

$$NI_{i,j} = \frac{DN_i - DN_j}{DN_i + DN_j}$$ رابطه ۳

۶-۲-۲- استخراج ویژگی‌های مکانی (بافت)

بافت به عنوان یک ویژگی مکانی ارتباط مکانی بین درجات خاکستری پیکسل‌های تصویر را مدل نموده و تاثیر 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 ویژگی‌های مکانی (بافت)، که حاوی اطلاعات محتوایی تصویر و روابط مکانی بین پیکسل‌های مجاور می‌باشد، روش‌های مختلفی توسعه داده شده است. تکنیک آماری GLCM که در این تحقیق استفاده شده است، یکی از روش‌های متداول استخراج ویژگی‌های بافت از تصاویر سنجش‌از دوری است[۱۵]. این ماتریس، یک ماتریس مربعی با ابعاد $N_g * N_g$ است که N_g تعداد درجات خاکستری موجود در تصویر (بسته به

قدرت تفکیک رادیومتریکی تصویر) است. هر درایه این ماتریس بیانگر تعداد زوج پیکسل‌هایی است که در سطح تصـویر دارای درجات خاکستری j و i بوده و در راستای θ از یکدیگر به اندازه d پیکسل فاصله دارند (رابطه ۴).

رابطه ۴

$$GLCM_d^{\theta} = \frac{1}{R}\begin{bmatrix} \mu(0,0) & \mu(0,1) & \vdots & \mu(0,N_{g-1}) \\ \mu(1,0) & \mu(1,1) & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \mu(i,j) & \vdots \\ \mu(N_{g-1},0) & \vdots & \vdots & \mu(N_{g-1},N_{g-1}) \end{bmatrix}$$

جدول (۱) بطور خلاصه، مهم‌ترین ویژگی‌های بافت قابل استخراج از GLCM را نشان می‌دهد که در ایـن تحقیـق بکـار گرفته شده است.

جدول ۱: مهم‌ترین ویژگی‌های بافت قابل استخراج از ماتریس هم‌اتفاق درجات خاکستری.

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 زوج‌پیکسل‌های دارای درجات خاکستری مختلف در محاسبه آن تاثیرگذار 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. زمانی‌که همسایه‌ها تفاوت درجه خاکستری بالاتری دارند، اندازه کنتراست بالاتر خواهد بود که بیانگر غیریکنواخت بودن بافت است
بی‌شباهتی	$Dis=\sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} \lvert i-j \rvert \times P(i,j)$	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.
انتروپی	$Ent = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} P(i,j) \log(P(i,j))$	معیار اتفاقی بودن توزیع زوج درجات خاکستری است هرچه انتروپی بزرگ‌تر باشد، توزیع درجات خاکستری تصادفی‌تر خواهد بود. انتروپی بالا نشانگر بافت ناهمگن تصویر و انتروپی 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	$Cor = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} \frac{(i-\mu_i)(i-\mu_i)P(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$	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)	$ASM = \sum_{i=0}^{N_{g-1}} \sum_{j=0}^{N_{g-1}} P_d(i,j)^2$	معیاری برای اندازه‌گیری نرمی است. تعداد جفت‌پیکسل‌های تکراری را نشان میدهد. در حالت یکنواختی کامل، مقدار آن ۱ و در صورت عدم یکنواختی کامل، بسیار نزدیک به صفر است.

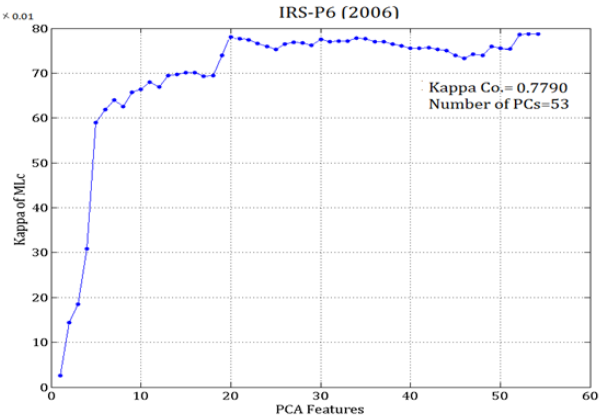
۶-۳- انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه

تعداد کل ویژگی‌های مکانی مستخرج از تصاویر سه باندی IRS-P6 و Geo-Eye برابر ۴۸ بوده که به همراه ۳ باند طیفی اصلی و ۳ شاخص‌های طیفی فضای ویژگی طیفی-مکانی را تشکیل می‌دهند. در ادامه نتایج انتخاب ویژگی با تکنیک‌های مختلف در هر دو تصویر IRS-P6 و Geo-Eye بطور جداگانه ارائه می‌شود.

۶-۳-۱- انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه درفضای ویژگی تصویر IRS (سال ۲۰۰۶)

به منظور انتخاب و یا تولید ویژگی‌های بهینه، فضای ویژگی تصویر IRS با استفاده از تکنیک‌های PCA و تکنیک تفکیک‌پذیری آماری و فضای پدیده کاوش شده و نتایج حاصل از آن با یکدیگر مقایسه شد.

بعد از اعمال PCA روی تصویر ۵۴ باندی مورد استفاده در این تحقیق، مولفه‌های جدیدی با محتوای اطلاعاتی بیشینه تا کمینه حاصل 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 در این تحقیق، مقادیر مختلفی برای تعداد مولفه‌های نخستین مورد آزمون قرار گرفت. نمودار ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 بر حسب تعداد مؤلفه‌ها در شکل (۲) نشان داده شده است. در بهترین حالت که مصادف با انتخاب ۵۳ مولفه‌ی اول می‌باشد، ضریب کاپای طبقه‌بندی‌کننده بیش‌ترین شباهت برابر ۷۷.۹۰٪ می‌باشد. نتایج حاصل از این تکنیک نشان می‌دهد، تکنیک PCA تاثیر ناچیزی در بهبود صحت طبقه‌بندی تصویر مورد آزمون داشته است. طوری که ضریب کاپای طبقه‌بندی از ۷۷.۸۰٪ (با بکارگیری کل ویژگی‌ها) به ۷۷.۹۰٪ افزایش پیدا کرده است.

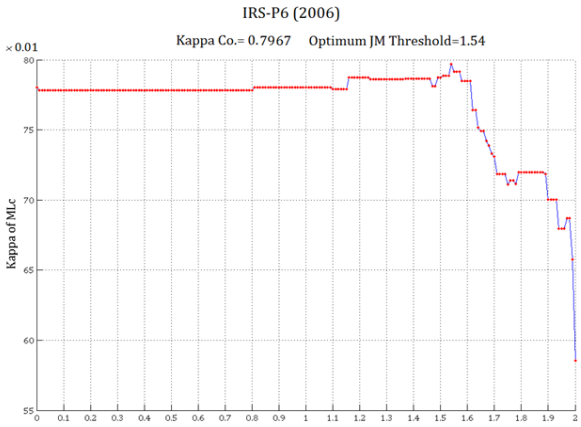


شکل ۲: نمودار ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 بر حسب تعداد مؤلفه‌های PCA.

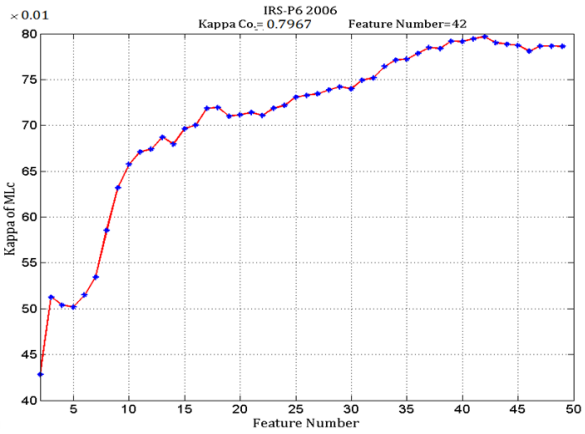
در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری، مقدار فاصله JM برای هریک از ترکیبات دوتایی کلاس‌های موضوعی (بلوک‌های ساختمانی، جاده‌های ارتباطی، پوشش گیاهی، اراضی بایر تیره و اراضی بایر روشن) در هریک از ویژگی‌های طیفی و مکانی محاسبه شد. تعیین حدآستانه مناسب برای فاصله JM در این تکنیک امری دشوار بوده و لازم است بطور سراسری جستجو شود. در این تحقیق، بازه [0.0, 2] با فواصل 0.02 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 (شکل ۳) 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-مکانی استفاده می‌شود.

بعد از بازنمایی ویژگی‌های طیفی-مکانی، فضای پدیده ایجاد شده و سپس با خوشه‌بندی فازی این فضا مورد کاوش قرار گرفت. نتیجه آن، شناسایی ویژگی‌هایی با محتوای اطلاعاتی بالا می‌باشد که در نزدیکترین فاصله از مرکز خوشه ویژگی‌های مشابه در هر دسته است. با توجه به نامشخص بودن تعداد خوشه‌ها (تعداد بهینه ویژگی‌های طیفی-مکانی) لازم شد تا مقادیر متفاوتی مورد آزمون قرار گیرد و صحت طبقه‌بندی داده‌های ارزیابی به عنوان ملاک مناسب بودن این پارامتر (تعداد خوشه) منظور شود. نمودار تغییرات صحت طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 در تعداد مختلفی از ویژگی‌های بهینه تعیین شده توسط تکنیک فضای پدیده در شکل (۴) ارائه شده است. در بهترین حالت ضریب کاپای طبقه‌بندی ۷۹.۶۷٪ می‌باشد که در حدود ۱.۸۷٪ بهتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی است.



شکل ۳: نمودار تغییرات ضریب کاپای تصویر IRS-P6 مبتنی بر تکنیک JM.



شکل ۴: نمودار تغییرات ضریب کاپای طبقه‌بندی تصویر سال ۲۰۰۶ (IRS-P6) مبتنی بر تکنیک فضای پدیده.

۶-۴- انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه درفضای ویژگی تصویر Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳)

بعد از اعمال PCA روی تصویر ۵۴ باندی Ge-eye1، مولفه‌های جدیدی با محتوای اطلاعاتی بیشینه تا کمینه حاصل شد. همانطور که قبلا 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 مولفه‌های نخستین مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش تعداد مولفه‌های اصلی مورد استفاده در طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1، صحت طبقه‌بندی روند افزایشی داشته و در بهترین حالت که مصادف با انتخاب ۵۲ مولفه اول می‌باشد، ضریب کاپای طبقه‌بندی برابر ۷۹.۴۲٪ می‌باشد که کمی بهتر از طبقه‌بندی با تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی با ضریب کاپای۷۸.۷۷٪ می‌باشد.

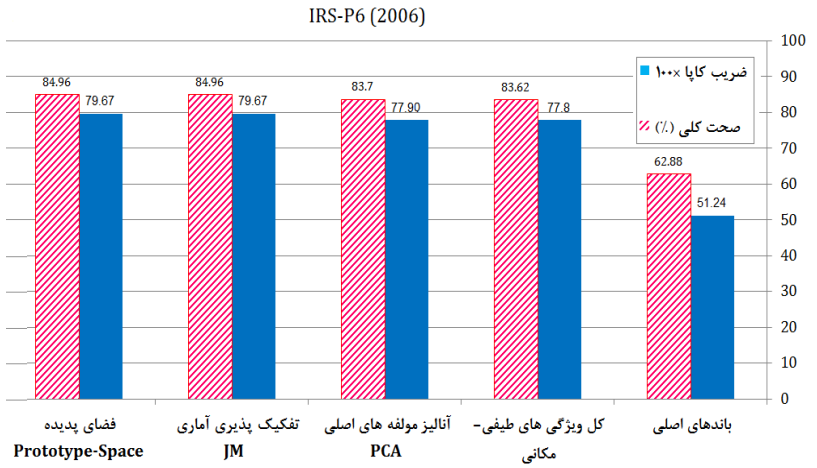
در تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM، با افزایش مقدار حدآستانه فاصله JM، از ۰تا ۰.۰۱ در ابتدا یک افزایش جزئی در صحت طبقه‌بندی تصویرGeo-Eye1 مشاهده شده و سپس تا حدآستانه ۱.۰۱ روند ثابتی داشته و بعد از آن، نمودار در کل یک روند کاهشی را نشان داد. با انتخاب بهترین حدآستانه (بازه [0.01 1.01]، تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی در طبقه‌بندی حضور داشته و عملاً الگوریتم JM نتوانسته است در این سری داده ویژگی‌های بهینه را انتخاب نماید.

مشابه سری داده اول، ویژگی‌های طیفی-مکانی تصویر Geo-Eye1 بازنمایی شده و فضای پدیده متناظر آن تولید شد. سپس با تکنیک خوشه‌بندی فازی این فضا مورد کاوش قرار گرفت. با توجه به نامشخص بودن تعداد خوشه‌ها (تعداد بهینه ویژگی‌های طیفی-مکانی) لازم شد تا مقادیر متفاوتی مورد آزمون قرار گیرد و صحت طبقه‌بندی داده‌های ارزیابی به عنوان ملاک مناسب بودن این پارامتر (تعداد خوشه) منظور شود. در بهترین حالت ضریب کاپای طبقه‌بندی ۷۸.۷۴٪ است که ۰.۰۳٪ کمتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌هاست. با توجه به نتایج حاصل، مشخص می‌شود که تکنیک فضای پدیده نتوانسته است در این سری داده ویژگی‌های بهینه را تخمین بزند.

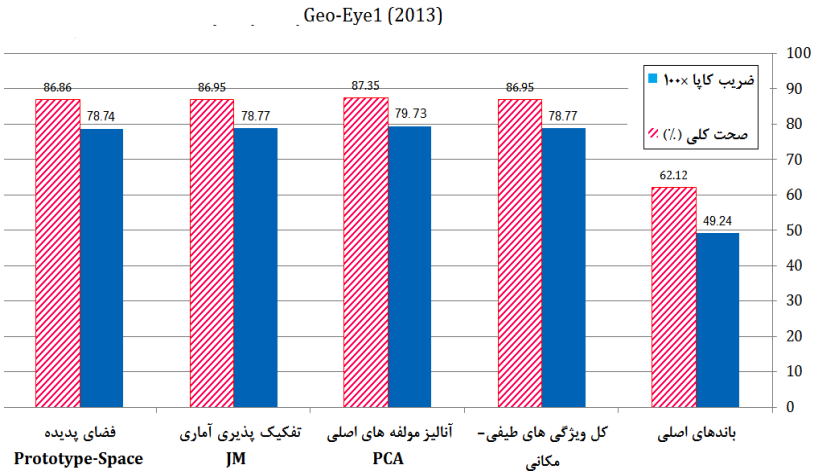
۶-۵- مقایسه و ارزیابی تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی

در این بخش، نتایج طبقه‌بندی تصاویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) و Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳) با تکنیک‌های PCA، تفکیک‌پذیری آماری با آنالیز فاصله JM و فضای پدیده، به صورت ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی و سپس صحت نقشه تغییرات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل (۵)، ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 مبتنی بر ویژگی‌های منتخب تکنیک‌های PCA، JM و فضای پدیده را 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 ارائه شده است. با بررسی این نمودار مشخص می‌شود که بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در کنار باندهای اصلی از اهمیت ویژه‌ای در طبقه‌بندی تصاویر مناطق شهری دارد طوری که ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی به ترتیب از ۵۱.۲۴٪ به ۷۷.۸۰٪ و از ۶۲.۸۸٪ به ۸۳.۶۲٪ افزایش یافته است. انتخاب/استخراج ویژگی‌های در فضای ویژگی سبب بهبود دوباره نتایج طبقه‌بندی شده است. دو تکنیک JM و فضای پدیده با نتایج مشابه، کمی بهتر از تکنیک PCA عمل نموده‌اند. ضریب کاپای و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 در این دو تکنیک به ترتیب برابر ۷۹.۶۷٪ و ۸۴.۹۶٪ می‌باشد که به ترتیب۱.۸۷٪ و ۱.۳۴٪ بهتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی است.



شکل ۵: ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر IRS-P6 (سال ۲۰۰۶) مبتنی بر ویژگی‌های منتخب حاصل از تکنیک‌هایPCA، JM و فضای پدیده به همراه دو حالت پایه



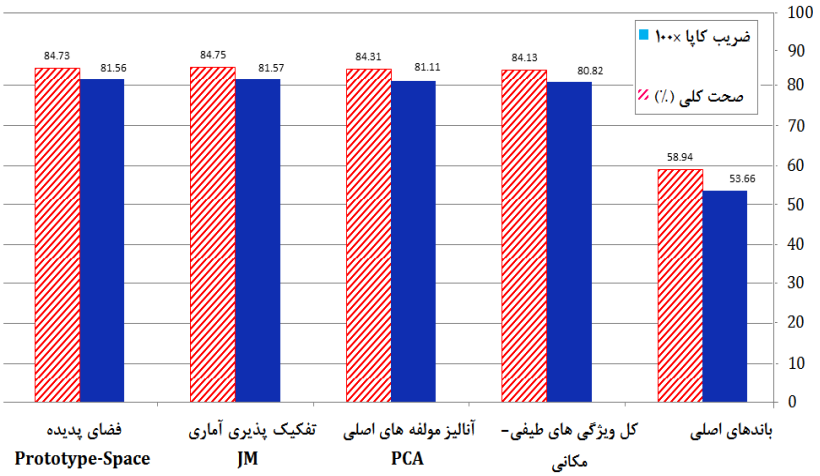
شکل ۶: ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی Geo-Eye1 (سال ۲۰۱۳) مبتنی بر ویژگی‌های منتخب حاصل از تکنیک‌هایPCA، JM و فضای پدیده به همراه دو حالت پایه.

شکل (۶)، نیز ضریب کاپا و صحت کلی طبقه‌بندی تصویر Geo-Eye1 مبتنی بر ویژگی‌های منتخب تکنیک‌های PCA، JM و فضای پدیده را نشان می‌دهد. مشابه سری داده اول، در این نمودار هم‌چنین نتایج طبقه‌بندی تصاویر در دو حالت پایه: ۱- بکارگیری باندهای اصلی تصاویر و ۲- بکارگیری تمام ویژگی‌های طیفی-مکانی ارائه شده است. با بررسی این نمودار مشخص می‌شود که مشابه نتایج حاصل از سری داده اول، بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی 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.

بهترین نتایج طبقه‌بندی زمانی حاصل شده است که ویژگی‌های مکانی-طیفی بهینه با تکنیک PCA انتخاب شده‌اند. ضریب کاپای و صحت کلی طبقه‌بندی در این حالت به ترتیب برابر ۷۹.۷۳٪ و ۸۷.۳۵٪ می‌باشد که به ترتیب۰.۹۶٪ و ۰.۴۰٪ بهتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی-مکانی است. در مرتبه بعدی تکنیک تفکیک‌پذیری آماری

(JM) و سپس تکنیک فضای پدیده قرار دارد که صحت طبقه‌بندی تصویر در این حالت ۰.۰۳٪ کمتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌هاست که بیانگر عدم موفقیت تکنیک فضای پدیده در انتخاب ویژگی‌های بهینه می‌باشد. دلیل عدم موفقیت دو تکنیک فضای پدیده و آنالیز تفکیک‌پذیری آماری در انتخاب /استخراج ویژگی‌های بهینه مستخرج از تصویر Geo-Eye1، ماهیت تصویر بکار برده شده می‌باشد. با توجه به عدم دسترسی به تصویر اصلی سنجنده Geo-Eye، نسخه تغییریافته آن از نرم‌افزار Google Earth تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

بعد از تهیه نقشه‌های موضوعی سری زمانی (تصاویر سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳)، با بکارگیری رویکرد مقایسه پس‌از طبقه‌بندی، نقشه تغییرات منطقه مورد مطالعه که معرف محل و ماهیت تغییرات می‌باشد، تولید شد. شکل (۷)، ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات شهر جدید سهند را در فاصله سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ حاصل از پیاده‌سازی تکنیک‌های استخراج/ انتخاب ویژگی PCA، JM و فضای پدیده را به همراه دو حالت پایه نشان می‌دهد.



شکل ۷: ضریب کاپا و صحت کلی نقشه تغییرات شهر جدید سهند در فواصل سالهای ۲۰۰۶ (تصویر IRS-P6) ۲۰۱۳ (تصویر Geo-Eye1) حاصل از تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی PCA، JM و فضای پدیده به همراه دو حالت پایه.

بررسی شکل (۷)، در سطح بالاتر، بیانگر ضرورت بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در شناسایی تغییرات مناطق شهری بوده و در سطح بعدی اهمیت فرآیند انتخاب ویژگی‌های بهینه را نشان می‌دهد. ضریب کاپای و صحت کلی نقشه تغییرات در حالت بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در کنار باندهای اصلی تصاویر، به ترتیب برابر ۸۰.۸۲٪ و ۸۴.۱۳٪ می‌باشد که در مقایسه با حالت بکارگیری باندهای اصلی تصاویر، ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب۲۷.۱۶٪ و ۲۵.۱۹٪ افزایش پیدا کرده است. بکارگیری تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه، در کل افزایش صحت شناسایی تغییرات را بدنبال داشته است. تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM با ضریب کاپا ۸۱.۵۷٪ و صحت کلی ۸۴.۷۵٪ در بالاترین سطح قرار دارد که به ترتیب ۰.۷۵٪ و ۰.۶۲٪ بالاتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌هاست. تکنیک فضای پدیده با اختلاف جزئی (۰.۰۲٪ در صحت کلی شاسایی تغییرات) در مرتبه دوم و تکنیک PCA در پایین‌ترین سطح قرار داشته ولی با این وجود همچنان صحت شناسایی تغییرات را نسبت به حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی و مکانی بهبود داده است.

۷- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر ضمن بررسی تاثیر بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در شناسایی تغییرات مناطق شهری مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، تاثیر فرآیند انتخاب ویژگی و کارایی تکنیکهای متعدد انتخاب ویژگی شامل آنالیزمولفه‌های‌اصلی، تفکیک‌پذیری‌آماری و فضای‌پدیده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کشف تغییرات منطقه شهری شهر جدید سهند (استان آذربایجان‌شرقی) با بکارگیری تصاویر IRS-P6 و Geo-Eye1 اخذ شده در سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ مبنای این آنالیزها قرار گرفت. لذا نتایج تحقیق حاضر از سه منظر: تاثیر بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در شناسایی تغییرات مناطق شهری، تاثیر فرآیند انتخاب ویژگی و کارآیی تکنیک‌های مختلف استخراج/انتخاب ویژگی در شناسایی تغییرات و تعیین محل و ماهیت تغییرات رخ داده در شهر جدید سهند در فاصله سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ می‌تواند ارائه شود. در ادامه هر یک از این موارد تشریح می‌شود.

۷-۱- تاثیر بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در شناسایی تغییرات مناطق شهری

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، تولید و بکارگیری ویژگی‌های مکانی و شاخص‌های طیف در کنار باندهای اصلی تصاویر نوری، راه حلی مناسب برای بهبود نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و متعاقباً بهبود آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری می‌باشد. چرا 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. ضریب کاپای و صحت کلی نقشه تغییرات در حالت بکارگیری ویژگی‌های طیفی و مکانی در کنار باندهای اصلی تصاویر، به ترتیب برابر ۸۰.۸۲٪ و ۸۴.۱۳٪ می باشد که در مقایسه با حالت بکارگیری باندهای اصلی تصاویر، ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب۲۷.۱۶٪ و ۲۵.۱۹٪ افزایش پیدا کرده است.

۷-۲- تاثیر فرآیند انتخاب ویژگی و کارآیی تکنیک‌های استخراج/انتخاب ویژگی در شناسایی تغییرات

علاوه بر ضرورت استخراج ویژگی‌های طیفی و مکانی، انتخاب ویژگی‌های بهینه نیز از اهمیت ویژه‌ای در شناسایی تغییرات منطقه شهری برخوردار است. انتخاب تجربی ویژگی‌های طیفی-مکانی بهینه، فرآیندی زمان‌بر بوده و گاهاً از نظر عملی امکان‌پذیر نیست. تکنیک‌های متعددی برای استخراج یا انتخاب ویژگی‌های بهینه توسعه داده شده است که در دو دسته کلی تکنیک‌های نظارت‌شده و نظارت‌نشده قرار می‌گیرند. در این تحقیق کارایی تکنیکهای مختلف استخراج/انتخاب ویژگی مورد ارزیابی قرار گرفت. از سری تکنیک‌های نظارت‌نشده، تکنیک‌های آنالیزمولفه‌های‌اصلی و و فضای‌پدیده و از سری تکنیک‌های نظارت‌شده، تکنیک تفکیک‌پذیری‌آماری مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه کارآیی این تکنیک‌ها از دو جنبه مقایسه کمی صحت شناسایی تغییرات و ملاحظات فنی قابل بررسی است.

- از نظر کمی، بکارگیری تکنیک‌های انتخاب/استخراج ویژگی‌های بهینه، در کل افزایش صحت شناسایی تغییرات را بدنبال داشته است. تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM با ضریب کاپا ۸۱.۵۷٪ و صحت کلی ۸۴.۷۵٪ در بالاترین سطح قرار دارد که به ترتیب ۰.۷۵٪ و ۰.۶۲٪ بالاتر از حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌هاست. تکنیک فضای پدیده با اختلاف جزئی (۰.۰۲٪ در صحت کلی شاسایی تغییرات) در مرتبه دوم و تکنیک PCA در پایین‌ترین سطح قرار داشته ولی با این وجود همچنان صحت شناسایی تغییرات را نسبت به حالت بکارگیری تمامی ویژگی‌های طیفی و مکانی بهبود داده است.

از نظر ملاحظات فنی، مهم‌ترین نتایج حاصل از تحقیق حاضر بصورت زیر قابل ارائه است:

- تکنیک **PCA**: تکنیک‌های استخراج ویژگی بدون‌نظارت همچون تبدیل PCA، نیازی به دانش اولیه و داده‌های تمرینی نداشته ولی لزوماً بهینه‌سازی تفکیک‌پذیری کلاس‌ها و بهبود صحت طبقه‌بندی/شناسایی تغییرات را دنبال نمی‌کنند. بلکه بیشتر به دنبال تبدیل‌هایی هستند که داده‌ها پس از کاهش بعد به زیرفضایی تبدیل شوند که در آن زیرفضا، اطلاعات اولیه تا حدامکان حفظ شده باشند یا درصد بالایی از اطلاعات محفوظ باقی بمانند. هرچند تکنیک PCA یک تکنیک اتوماتیک و نظارت‌نشده برای کاهش ابعاد داده محسوب می‌شود ولی استخراج ویژگی‌های بهینه در این روش، نیازمند تعیین تعداد مولفه‌های بهینه می‌باشد. اصول مشخصی برای تعیین تعداد مولفه‌های نخستین وجود ندارد و این پارامتر، بسته به شرایط مسئله مشخص می‌شود. صحت طبقه‌بندی یا شناسایی تغییرات متداولترین معیاری است که می‌تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد. لذ استخراج ویژگی‌های بهینه در تکنیک PCA بصورت نظارت‌نشده قابل حصول نیست. از طرفی، در تکنیک PCA تنها استقلال آماری داده‌ها در نظر گرفته شده و بهبود صحت طبقه‌بندی و/یا شناسایی تغییرات بطور مستقیم دنبال نمی‌شود. همین امر سبب شده است تا صحت شناسایی تغییرات در این روش در مقایسه با تکنیک‌هایی که مستقیما بهبود صحت طبقه‌بندی مدنظر قرار گرفته است (نمونه: تکنیک تفکیک‌پذیری آماری)، پایین‌تر باشد.

- **تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM:** تکنیک انتخاب ویژگی مبتنی بر آنالیز تفکیک‌پذیری کلاسها با متریک‌هایی همچون فاصله JM با توجه به ماهیت‌اشان، نیاز به نمونه‌های آموزشی دارند. در صورتی که این نمونه‌های آموزشی قابل دسترس باشند، نتایج شناسایی تغییرات (طبقه‌بندی) با این تکنیک بهتر از مواقعی باشد که از رویکرد نظارت‌نشده استفاده شود. در این تکنیک‌ها، علاوه بر تامین نمونه‌های آموزشی، مواردی دیگری نیز وجود دارد که قابلیت این تکنیک‌ها را عملاً کاهش می‌دهد. فرض نرمال بودن توزیع احتمالات کلاسها، یک از فرضیات اصلی این تکنیک برای بررسی تفکیک‌پذیری بین‌کلاسی می‌باشد. باید توجه داشت که در داده‌های سنجش‌از دوری خصوصاً داده‌های حاصل از سنجنده‌های غیرفعال، فرض مذکور در خصوص تابع توزیع کلاس‌ها معمولاً برقرار نبوده و این مسئله سبب می‌شود تا در برخورد با چنین مواردی، روش‌های مذکور نتوانند، نتایج رضایت‌بخشی را در انتخاب ویژگی‌های بهینه فراهم آورند. همچنین بعد از محاسبه فواصل JM لازم است تا با آنالیز فواصل فوق، ویژگی‌های بهینه تعیین شوند که امری دشوار و درعین حال بسیار تاثیرگذار است. تعیین حدآستانه برای انتخاب و/یا حذف برخی از ویژگی‌ها، یا انتخاب چند ویژگی نخستین با بیشترین مقدار فاصله JM ، نیاز به دانش اولیه از داده‌ها و خصوصیات منطقه مورد مطالعه داشته و عملاً در یک رویکرد تجربی مبتنی بر سعی-خطا تعیین می‌شود.

- **تکنیک فضای پدیده:** تکنیک نوین فضای پدیده بدون در نظر گرفتن صحت تشخیص عوارض، تنها اقدام به دسته‌بندی باندهای مشابه با خصوصیات انعکاسی مشابه نسبت به کلاسها می‌نماید. بهینه بودن مجموعه‌ای از ویژگی‌ها جهت شناسایی تغییرات، ارتباط مستقیمی با ماهیت تغییرات داشته و بنابراین، دو فاکتور استقلال آماری داده‌ها و ماهیت تغییرات صورت گرفته در منطقه، باید همزمان و در کنار یکدیگر، جهت انتخاب ویژگی‌های بهینه بکار گرفته شود. تعیین تعداد ویژگی‌های بهینه نهایی (تعداد خوشه‌ها در مرحله خوشه‌بندی یا همان مرحله شناسایی باندهای اطلاعات‌دار) در این تکنیک، عملا اتوماسیون این تکنیک را کاهش می‌دهد. چرا که همانند تکنیک PCA لازم است تا با پایش تغییرات صحت طبقه‌بندی (یا شناسایی تغییرات) مناسب‌ترین مقدار برای این پارامتر تعیین شود. هرچند در این تکنیک وجود الگوی‌های آموزشی برای هدایت الگوریتم ضرورتی نداشته و از این جهت نسبت به تکنیک تفکیک‌پذیری آماری ارجحیت دارد. شایان ذکر است نتایج تکنیک فضای پدیده تحت

تاثیر کیفیت فرآیند خوشه‌بندی می‌باشد. وابستگی نتایج خوشه‌بندی به پارامترهایی از جمله، مکان اولیه مراکز خوشه‌ها نیز امری واضح است. لذا تضمینی برای رسیدن به بهترین نتایج خوشه‌بندی وجود نداشته و نتایج تکنیک فضای پدیده متاثر از آن خواهد بود. برای فائق آمدن بر این مشکل، لازم است تا الگوریتم خوشه‌بندی چندین بار تکرار شده و بهترین جواب بر حسب تابع ارزیابی تعیین شود.

به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، در صورتی که الگوهای آموزشی کافی و مناسب از تمامی کلاسهای موضوعی فراهم باشد تکنیک تفکیک‌پذیری آماری با فاصله JM تکنیک مناسبی برای انتخاب ویژگی‌های بهینه در کاربرد شناسایی تغییرات مناطق شهری خواهد بود. ولی در صورتی که چنین الگوهای آموزشی فراهم نباشد یا از توزیع و کیفیت مناسبی برخوردار نباشد، و همچنین انتخاب ویژگی‌های بهینه با اتوماسیون بالا مدنظر باشد، تکنیک فضای پدیده و در مرتبه بعدی تکنیک PCA انتخاب‌های صحیح‌تری برای فرآیند انتخاب ویژگی خواهند بود.

محل و ماهیت تغییرات رخ داده در شهر جدید سهند در فاصله سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳

شهر جدید سهند در فاصله سالهای مورد مطالعه (۲۰۱۳-۲۰۰۶) سالهای اخیر شاهد تغییرات زیادی بوده است. که عمده تغییرات حادث از نوع تغییر اراضی بایر تیره و روشن به بلوک‌های ساختمانی و همچنین تغییر اراضی بایر تیره به اراضی بایر روشن می‌باشد که همگی این تغییرات بیانگر گسترش منطقه شهری می‌باشد. بر اساس نقشه تغییرات تولیدشده در این تحقیق، در محدوده مورد بررسی بین سال‌های ۲۰۰۶ تا 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 نواحی دارد.

۸- پیشنهادات

پیشنهادها و راهکارهای قابل ارائه برای پیشبرد نتایج تحقیق را می‌توان در دو زمینه استخراج و انتخاب ویژگی ارائه نمود. پیشنهاد می‌شود علاوه بر ویژگی‌های بافت ماتریس GLCM کارایی سایر توصیف‌گرها، همچون توصیف‌گرهای زمین‌آمار، مبتنی بر حوزه فرکانس، گابور و فرکتال نیز در بهبود شناسایی تغییرات منطقه شهری مورد بررسی قرار گیرد. در مرحله انتخاب ویژگی نیز، بررسی قابلیت تکنیک‌های بهینه‌سازی و مقایسه کارآیی آن با تکنیک‌های مورد بررسی در این تحقیق، از مهم‌ترین مواردی است که در تحقیقات آتی دنبال خواهد شد.

مراجع:

[۱] M. L. Imhoff, P. Zhang, R. E. Wolfe, and L. Bounoua, "Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA," *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, pp. 504-513, 2010.

[۲] H. Taubenböcka, M. Wegmannb, A. Rotha, M. Schmidta, and S. Decha, "Urbanization in India - Spatiotemporal analysis using remote sensing data," *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 33, pp. 179-188, 2009.

[۳] M. Xie and M. Fu, "The temporal dynamics of urban heat islands derived from thermal remote sensing data by local indicator of spatial association in Shenzhen, China," in *International Conference on Photonics and Image in Agricultural Engineering (PIAGENG 2010)*, 2011, pp. 775217-775217-7.

[۴] H. Ebadi, "Evaluation of change detection techniques using satellite images," Iranian Space Agency2013.

[۵] V. Sadeghi, "Developing an Efficient Change Detection Technique in Remotely Sensed Images Based on Integration of Spectral and Spatial Features using Genetic Algorithm," National Geography Organization of Iran2014.

[۶] F. Sallaba, "Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes," *A Case Study in Northern Greece*, 2009.

[۷] M. Huss, R. Stockli, G. Kappenberger, and H. Blatter, "Temporal and spatial changes of Laika Glacier, Canadian Arctic, since 1959, inferred from satellite remote sensing and mass-balance modelling," *Journal of Glaciology*, vol. 54, pp. 857-866, 2008.

[۸] J. R. Jensen, *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*: Prentice-Hall Inc., 2004.

[۹] A. Erener, Şebnem Düzgün, H., "A methodology for land use change detection of high resolution pan images based on texture analysis," *Italian Journal of Remote Sensing*, vol. 41, pp. 47-59, 2009.

[۱۰] A. N. Tassetti, E. Malinverni, and M. Hahn, *Texture analysis to improve supervised classification in IKONOS imagery*: na, 2010.

[۱۱] P. Mhangara and J. Odindi, "Potential of texture-based classification in urban landscapes using multispectral aerial photos," *South African Journal of Science*, vol. 109, pp. 1-8, 2013.

[۱۲] S. P. Brumby, J. P. Theiler, S. J. Perkins, N. R. Harvey, J. J. Szymanski, J. J. Bloch, and M. Mitchell, "Investigation of image feature extraction by a genetic algorithm," in *SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation*, 1999, pp. 24-31.

[۱۳] X. J. J.A. Richards, *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

[۱۴] B. Mojaradi, H. Abrishami-Moghaddam, M. J. V. Zoej, and R. P. Duin, "Dimensionality reduction of hyperspectral data via spectral feature extraction," *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 47, pp. 2091-2105, 2009.

[۱۵] 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.

Utilization of textural and spectral features in change detection of urban areas

Vahid Sadeghi[1*], Hamid Ebadi[2], Farshid Farnood Amadi [3], Hamid Enayati [4]

1- PhD student in Photogrammetry, Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology
2- Ph.D, Associate Professor, Centre of Excellency for Geo Spatial Information Technology, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology.
3- Ph.D, Assistant Professor in Geomatics Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz
4- Masters of Science in Photogrammetry, Iranian National Geographical Organisation of Armed Forces

Abstract

Extraction, selection and utilization of textural and spectral features is necessary to achieve satisfactory results in change detection (CD) of urban areas with heterogeneous landscapes. In this paper, an assessment of different feature selection techniques was conducted. These techniques include principal component analysis (PCA), statistical separability analysis (SAA) with Jeffreys–Matisuta (JM) distance and prototype space (PS). This assessment is based on the obtained CD results for Sahand New Town (Northwest of Iran) with a multi-temporal satellite imagery includes IRS-P6 and GeoEye1 acquired on July 15, 2006, and September 1, 2013, respectively. Results show that, textural features as complementary source of data can improve the CD results of urban areas. Overall accuracy and kappa coefficient of CD were increased from 53.46% to 88.49% and 58.94% to 90.39% respectively using textural and spectral features. Moreover, results show that, selection of optimal textural and spectral features is an effective procedure in CD of urban areas. It can effectively improves the CD accuracy. Each of these approaches has its own performance and limitations, but in general, feature selection procedure increase the accuracy of CD with respect to the use of all textural and spectral features. PCA considers only the independence of the data to find a smaller set of variables with less redundancy without intending to improve the accuracy of CD. Difficulty in setting the best threshold for JM distance in SAA reduces its efficiency for automatic feature selection. The necessity to determine the number of optimal features in PS algorithm reduces its automation level for feature selection. But it preferred to SSA if training patterns are not available or not sufficient. In general, the SSA is suggested for feature selection, if sufficient training patterns are available from each thematic class and/or high automation level not be considered for feature selection process, else the PS algorithm is preferred.

Keywords: change detection, remotely sensed images, spectral and textural features, PCA, statistical separability analysis algorithm, JM distance, prototype space.

[*]**Corresponding author**, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K.N.Toosi University of Technology , No.1346, Vali-Asr Street, Mirdamad Cross, Tehran, IRAN.
Telephone Number: 021-88770218
Email: vahid.sadeghi.1985@gmail.com