

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر قوانین آنتولوژی جهت تفسیر تصاویر رقومی التراکم

عباس کیانی^{۱*}، حمید عبادی^۲، فرشید فرنود احمدی^۳

^۱ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
abbasekiani@yahoo.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
ebadi@kntu.ac.ir

^۳ دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه تبریز
farshid_farnood@yahoo.com

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۸)

چکیده

طبقه‌بندی اطلاعات مربوط به پوشش زمین با استفاده از تصاویر حد تفکیک بالای مکانی به دلیل پیچیدگی مناظر، موضوع چالش‌برانگیزی است. مطالعات اولیه طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از روش‌های آماری مانند طبقه‌بندی حداکثر احتمال صورت می‌گرفت. با این حال، مطالعات جدیدتر از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و ... به عنوان جایگزین برای کاربردهای طبقه‌بندی استفاده کرده‌اند. یک مشکل عمده در استفاده از این مدل‌ها اینست که کاربر نمی‌تواند به راحتی قواعد نهایی را درک کند. این تحقیق یک چارچوب جدید برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور با استفاده از ترکیبی از قوانین هستی‌شناختی و تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شی ارائه می‌کند. این مقاله تا حدی تلاش می‌کند تا چند شکاف در این زمینه را تسهیل کند، به ویژه با استفاده از تجزیه و تحلیل تلفیقی و فرآیند کنترل که به منظور اصلاح روند آموزش و پایش داده‌های آموزشی صورت می‌پذیرد. در عین حال از ویژگی‌های ترکیبی و داده‌های آموزشی بر اساس ویژگی‌های هستی‌شناسی کلاس‌های هدف نیز استفاده شد. ساختار کلی روش پیشنهادی، ادغام روش‌های مبتنی بر دانش و SVM است. روش مبتنی بر دانش برای مدل‌سازی روابط آنتولوژی با هدف آموزش و کنترل پروسه تصمیم‌گیری SVM اجرا می‌شود. در نهایت به منظور ارزیابی روش، مجموعه‌ای از تصاویر تست از دو منطقه جغرافیایی مختلف و در هر منطقه چند تصویر تست شامل عوارض با ساختارهای مختلف، برای اعتبارسنجی استفاده شد. در نهایت، روش پیشنهادی با دقت کلی ۸۲/۸۰ درصد به صورت میانگین در تمام تصاویر تست دقت مناسبی از خود نشان داد.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی تلفیقی، تحلیل شی‌مبنا، تصاویر با حد تفکیک بالا، فتوگرامتری و سنجش از دور

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تفسیر تصاویر نقش مهمی در حوزه‌های مختلف مانند بررسی کاربری و پوشش اراضی، تخمین خسارات ناشی از بلایای طبیعی، پایش گسترش شهری و ... ایفا می‌کند. با توجه به اینکه در زمینه‌های یادشده معمولاً نیاز به آنالیز سریع و دقیق وجود دارد و در صورت بروز شرایط بحرانی و حوادث طبیعی، برای سازمان‌دهی اقدامات فوری و آنی نیاز است. لذا توسعه‌ی یک روش تفسیر با اتوماسیون بالا همواره یکی از مهم‌ترین اهداف و درعین‌حال دغدغه‌های محققین در حوزه ژئوماتیک بوده است. هرگونه پیشرفت در این زمینه می‌تواند ضمن افزایش صحت نتایج، سبب تسریع و تسهیل در آنالیز تصاویر و کاهش هزینه تولید اطلاعات شود.

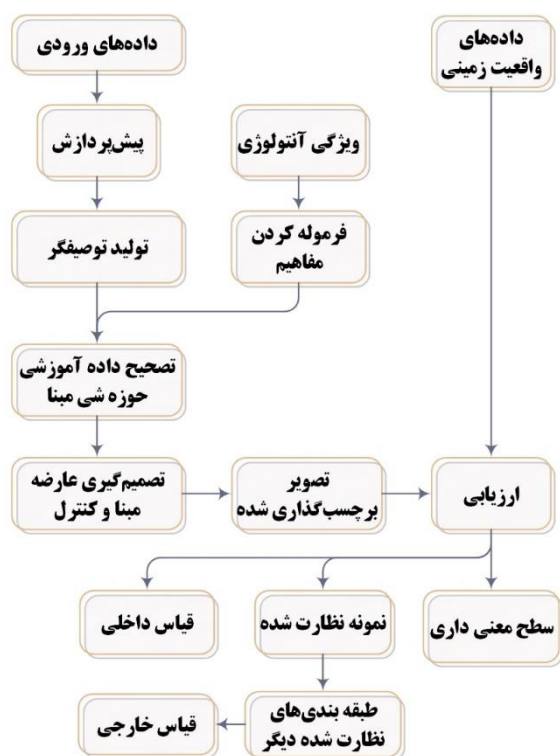
تصاویر با قدرت تفکیک بالا برای کاربردهای شهری سنجش‌ازدور بسیار باارزش هستند، باین‌حال، لازم به ذکر است که قدرت تفکیک‌های بالاتر لزوماً نتیجه دقیق‌تری را نمی‌گیرند [۱]. طبقه‌بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از عدم اطمینان اطلاعات طیفی رنج می‌برد زیرا افزایش واریانس داخل کلاس و کاهش واریانس بین کلاسی منجر به کاهش جدایی در حوزه طیفی، به‌ویژه برای کلاس‌های مشابه طیفی خواهد شد [۲]. الگوریتم‌های طبقه‌بندی کلاسیک بر اساس امضای طیفی کلاس‌های مستقل عمل می‌نمودند. برای مناطق شهری، جایی که کلاس‌ها می‌توانند بر اساس شکل و ساختار تعریف شوند، این روش‌ها از نقص در به‌کارگیری آن‌ها رنج می‌برند، در این مناطق تلفیق روش‌ها برای طبقه‌بندی داده‌های از مناطق شهری موردتوجه است [۳]. بنیدیکسون و سوئین پیشنهاد طرح طبقه‌بندی نظری توافق‌های ترکیبی را طراحی کردند. روش ترکیبی از نظر روش‌های تست در آزمایش‌ها از همه روش‌های دیگر پاسخ بهتری داشت [۴، ۵]. در زمینه‌ی ترکیب روش‌ها در سنجش‌ازدور نیز مطالعاتی صورت گرفته شده است. برای نمونه در [۶] با استفاده از طبقه‌بندی‌های مبتنی بر قاعده مانند درخت تصمیم‌گیری و الگوریتم ژنتیک انجام شده است. مزیت روش ارائه شده این است که قادر به استخراج قوانینی است که به‌آسانی قابل درک برای کاربران مانند سیستم‌های خبره هستند. اما کدسازی این قوانین و تنظیم پارامترهای ژنتیک نیز مورد بحث می‌باشد. در مقاله

[۳] ابتدا داده‌ها پردازش می‌شوند و سپس داده‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. درنهایت با توجه به ویژگی خروجی‌های روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۱ و دو روش دیگر، تصمیم نهایی بر اساس نتایج حاصل از سه اپراتور مختلف ترکیب و با رأی اکثریت تصمیم‌گیری می‌گردد. نتایج این تحقیق بهبود نسبی را نشان می‌دهند اما در این روش تصمیم‌گیری بر اساس خروجی بوده و تلفیق صرفاً در فاز خروجی انجام گرفته است. بعضی مطالعات دیگر نیز از رأی اکثریت جهت پیش‌بینی طبقه‌بندی استفاده نمودند، مانند فودی و همکاران که با استفاده از قانون رأی اکثریت ساده برای ادغام چندین طبقه‌بندی دوتایی برای نگاشت یک کلاس خاص بهره گرفتند [۷].

در [۸] یک جریان کاری دومرحله‌ای معرفی شده است. در ابتدا، یک قانون اولیه براساس تلفیق جنگل و درخت تصمیم‌گیری بر اساس نمونه‌های آموزشی داده شده ساخته شده است. در ادامه قانون اولیه براساس دانش بشری مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد، جایی که از فاصله اطمینان آماری برای تعیین آستانه آن استفاده می‌گردد. در این روش ۳ پارامتر مناسب جهت قطع‌بندی با آزمون‌وخطا به دست آمده و حدآستانه‌گذاری قوانین نیز به‌صورت دستی بوده است. در [۹] روش مبتنی بر قانون با استفاده از منطق فازی برای کاهش عدم اطمینان نویز داده و دانش انسانی بر روی تصاویر WorldView-2 به کار گرفته شده است. در سیستم فازی ارائه شده تعیین حدودآستانه‌های موجود تماماً به‌صورت دستی بوده است. جهت قطع‌بندی از روش لبه‌مبنای نرم‌افزار EnviEx که پارامترهای آن به‌صورت دستی تنظیم شد استفاده گردید. در طبقه‌بندی از باندهای خود تصویر استفاده شد و از ویژگی‌های قابل استخراج از قطعات استفاده نشد. عیب روش‌های نام‌برده شده اینست که کل فرآیند نه تنها نیاز به نظارت دارد، بلکه نیاز به تنظیم دستی پارامترها دارد.

استفاده از دانش بشری برای رفع معایب روش یادگیری ماشین موجود در استفاده ناکافی از دانش قبلی و بهبود قابلیت اطمینان مجموعه قوانین است [۸]. یکی از راهکارهای مناسب جهت ارائه دانش استفاده از مفاهیم

^۱ Support Vector Machine



شکل ۱- روند کلی تحقیق

۲-۱- پیش‌پردازش

این فرآیند را به دو مرحله کلی می‌توان تقسیم نمود. مرحله نخست هم‌مرجع‌سازی تصاویر و داده‌های ارتفاعی، تصحیحات هندسی و رادیومتریکی تصاویر می‌باشد. مرحله دوم پردازش‌های سطح بالاتر مانند قطعه‌بندی می‌باشند. قطعه‌بندی روند تقسیم تصاویر به مناطق گسسته یا اشیاء، با توجه به ویژگی‌های مکانی و یا طیفی همگن می‌باشد [۱۱]. ارائه تصویر به صورت عوارض مستقل، نمایش بهتری از درک انسان نسبت به جهان واقعی دارد [۱۲]. از طرفی تفاوت در شکل و اندازه‌ی اشیاء، علاوه بر امضا و تغییرات طیفی آن‌ها سبب پیچیدگی در تشخیص و طبقه‌بندی آن‌ها، با استفاده از یک پارامتر مقیاس خواهد شد. استفاده از اصل سلسله‌مراتبی یک راه‌حل برای مقابله با این موضوع در ایجاد عوارض است. قطعه‌بندی مولتی‌رزولوشن^۲ تصویر بر اساس تئوری سلسله‌مراتبی است، که در آن مقیاس‌های متعدد برای ایجاد اشیاء تصویر استفاده می‌شود [۱۳]. مقیاس قطعه‌بندی جهت ساخت سلسله‌مراتب قطعه‌بندی می‌تواند به صورت دستی انتخاب شود یا با افزایش تدریجی به منظور رسیدن به

آنتولوژی^۱ است. همان‌طور که در [۱۰] تعریف شده است، آنتولوژی یک انطباق از مفاهیم است. در حقیقت آنتولوژی یک راهنما، برای توصیف کمی تصویری از کلاس‌های مدنظر فراهم می‌کند. هدف اصلی تحقیق حاضر استفاده از ظرفیت کمی سازی دانش آنتولوژی به واسطه‌ی سیستم‌های دانش‌پایه جهت تلفیق داده‌های ارتفاعی و طیفی جهت آموزش سیستم یادگیری ماشین بدون نیاز به تعیین داده‌های آموزشی یا حدآستانه‌گذاری مرزهای ویژگی توسط کاربر به روش گسترش فضای ویژگی و قوانین دانش‌پایه می‌باشد. ساختار کلی روش پیشنهادی تلفیق روش‌های دانش‌پایه و ماشین‌بردار پشتیبان می‌باشد. روش دانش‌پایه جهت اعمال مدل‌سازی روابط آنتولوژی باهدف آموزش و کنترل روند تصمیم‌گیری سیستم ماشین‌بردار پشتیبان صورت می‌گیرد.

در این تحقیق یک روش ساده و سریع جهت تفسیر تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا بر اساس تحلیل خصوصیات آنتولوژی کلاس‌های هدف در طی روندی اتوماتیک و با کمترین دخالت کاربر صورت می‌گیرد. از سویی در تصاویر با قدرت تفکیک بالا به دلیل ظهور اشیاء کوچک و واریانس درون کلاسی بالا، زیرکلاس‌های مختلفی برای کلاس‌های اصلی پدید می‌آید، در نتیجه در فضای ویژگی تداخل مرزهای تصمیم‌گیری وجود خواهد داشت. این تداخل سبب عدم آموزش خوب سیستم یادگیری ماشینی شده و در نتیجه مدل به‌درستی برای پیش‌بینی کلاس‌های هدف تشکیل نمی‌شود. از این‌روی در مراحل آموزش یک روند اتوماتیک تفکیک زیرگروه‌ها جهت آموزش بهتر داده‌ها صورت می‌گیرد. در ادامه حذف اتوماتیک نویز داده آموزشی با استفاده از تحلیل واریانس زیرکلاسی، توسعه‌ی فضای داده آموزشی و کنترل هدفمند داده‌ها صورت می‌پذیرد. در نهایت یادگیری سیستم و تولید مدل مناسب توسط طبقه‌بندی کننده SVM صورت می‌گیرد.

۲-۲ روش پیشنهادی

روند پیشنهادی مطابق شکل ۱ می‌باشد. در ادامه جزییات هر یک از بخش‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

^۲ multi-resolution segmentation

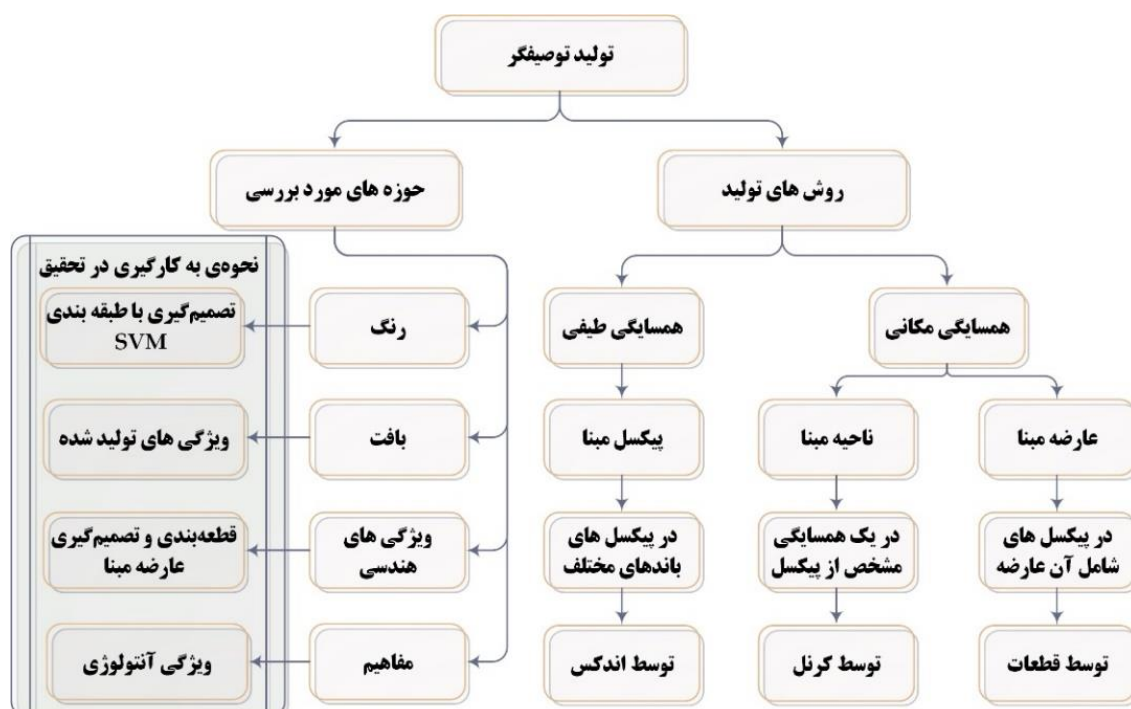
^۱ Ontology

بهترین مقیاس، با توجه به معیارهای از پیش تعریف شده باشد [۱۴]. در بسیاری از تحقیقات برای این منظور چند حالت مختلف مقیاس بررسی و در نهایت مقیاس مورد نظر برای آن برگزیده خواهد شد [۱۵]. این روش آزمون و خطا جهت تعیین مقیاس نتیجه بخش و در عین حال بسیار خسته کننده و وقت گیر است. به همین جهت ارائه روشی مناسبی برای انتخاب مقیاس بهینه برای قطعه بندی تلاش هایی ارائه شده است. یک مفهوم پیشگامانه در این زمینه توسط [۱۶] ارائه شد، که از گراف وارینانس محلی به منظور ارائه ساختار فضایی از تصاویر استفاده می نماید. این اندیشه بعدها توسط کیم و همکاران [۱۷] معرفی شد و در نهایت با ارائه روشی مبتنی بر تغییرات وارینانس محلی در هنگام ادغام اشیاء و پیکسل ها در قطعه بندی مولتی-رزولیشن ادامه یافت [۱۴]. نسخه بهبود داده شده آن در سال ۲۰۱۴ ارائه گردید [۱۸]. بعد از حصول مقیاس بهینه قطعه بندی می توان به قطعات یا همان عناصر پردازشی اولیه جهت تفسیر دسترسی پیدا کرد.

۲-۲- تولید توصیفگر

کلاس های مورد نظر در فرآیند تفسیری با یکسری مفاهیم محیطی در ارتباط است که برای شناسایی آنها می توان از شاخص ها و توصیفگرهای کیفی استفاده نمود. برای نمونه برای تفکیک درختان، ساختمان ها و ... می-

توان از توصیفگرهای کیفی مورد استفاده در حوزه تفسیر تصویر مانند رنگ، بافت، ویژگی های هندسی و مفاهیم استفاده کرد. از طرفی هر توصیف کیفی با یک ویژگی سطح پایین کمی در ارتباط است و این توصیفات کیفی بایستی به توصیفات کمی سطح پایین ترجمه شوند تا بتوان از آنها در فرآیند خودکار سازی روند تفسیری استفاده نمود. به عنوان مثال، توصیف های سطح پایین اطلاعات رنگ به انعکاس رادیوسنجی اشیاء و برخی از شاخص های محاسبه شده از این بازتابش بستگی دارد. در نتیجه این فرآیند را از دو منظر تولید ویژگی و حوزه های مختلف تفکیک کلاس ها می توان بررسی نمود (شکل ۲). در زمینه ی تولید ویژگی یک روند تولید ویژگی شامل ویژگی های نقطه ای (همسایگی طیفی) و مجاورت (همسایگی مکانی) صورت می گیرد. ویژگی های مجاورت مکانی خود به دو دسته تقسیم می گردند، نخست اگر یک پنجره همسایگی حول پیکسل مرکزی مانند کرنل مورد استفاده قرار گیرد، حالت دوم یک همسایگی در فضای مکان با توجه به شباهت پیکسل های مجاور هم می باشد، که برای این منظور از قطعات حاصل از قطعه بندی می توان استفاده نمود. از منظر دیگر در مورد حوزه های مورد بررسی، نحوه ی به کارگیری هر یک از توصیفگرهای کیفی در مراحل مختلف تحقیق حاضر، در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- توصیفگرهای مورد استفاده

۲-۲-۱- ویژگی‌های ناحیه مبنا

مفهوم مشترک شیب سطح یا زمین، میزان تغییر در ارتفاع است. برای یک سطح تحلیلی $(Z=F(x,y))$ ، شیب به‌عنوان مقدار مشتق اول تابع سطح تعریف شده است. جهت شیب به‌عنوان جزء جهت گر بردار گرادیان تعریف شده و جهت حداکثر شیب سطح در یک نقطه معین است. همانند شیب، جهت شیب نیز از مشتقات جزئی محاسبه می‌شود. ابعاد در واحد درجه و از جهت شمال، یعنی به‌عنوان یک آزمایش طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$A = 270 - \frac{360}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right) \quad (1)$$

در معادله فوق $\tan^{-1} \left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right)$ یک معکوس از مقادیر ربع دایره‌ای است که مقادیر را در محدوده‌ی بسته $[180, -180]$ بر اساس مقادیر $\left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right)$ تصویر می‌کنند. ویژگی مورد استفاده دیگر تغییرات محلی^۱ است. برای این کار یک ماسک فیلتری با اندازه‌ی $m \times n$ تعریف می‌گردد. منطقه‌ای که ماسک فوق پوشش می‌دهد حوزه‌ی بررسی تغییرات را مشخص می‌نماید. داده‌های مورد بررسی یک سری داده ارتفاعی به‌صورت $X = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_k\}$ تعریف می‌شود که $k = m \times n$ خواهد بود. ابعاد کرنل مورد استفاده در تحقیق از طریق رابطه‌ی $m = n = \text{round} \left(\frac{1 \text{ meters}}{\text{pixel}} \right)$ (size به دست می‌آید. البته با رعایت این قید که کوچک‌ترین ابعاد کرنل برابر 3×3 و ابعاد پیکسل در واحد متر می‌باشد.

$$V(\text{centralPixel}) = \text{Variance}(X) \quad (2)$$

جهت محاسبه آنتروپی از رابطه‌ی $H(X) = -\sum_{i=1}^n P(X_i) \log_2 P(X_i)$ استفاده می‌گردد؛ که در آن $P(X)$ احتمال هر پیکسل مرکزی از تصویر $\{p_1, p_2, \dots, p_i\}$ تحت ماسک فوق می‌باشد. از طرفی I ، اندازه‌گیری محتوای اطلاعاتی مرتبط با نتیجه‌ی یک متغیر تصادفی است و به صورت $I(x_i) = -\log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)$ محاسبه می‌شود [۱۹، ۲۰]. برای مثال اگر احتمال پیکسل مرکزی برابر یک باشد، چون مقدار اطلاعات وضعیتی از این رویداد به‌طور معکوس به‌احتمال وقوع آن مربوط می‌شود، در نتیجه $I=0$ خواهد بود و هیچ

اطلاعاتی منسوب به آن نخواهد شد؛ بنابراین برای مناطق با ارتفاع‌های هم‌اندازه، آنتروپی صفر است. به عبارتی در صورتی که ارتفاع همه پیکسل‌های تحت پنجره همگن باشد، $P=1$ و $H=0$ خواهند بود. همچنین اگر فرض شود که مقدار شدت روشنایی هر عارضه ساختمان یا جاده یکنواخت و با مقادیر شدت روشنایی اشیاء مجاورش متفاوت باشد، آنگاه هرگونه تغییر قابل‌ملاحظه در مقدار شدت روشنایی را می‌توان درخت و ... در نظر گرفت. نتیجه این کار فضاهای ویژگی خواهند بود که در جهت تمایز کلاس‌های مختلف تصویری می‌توانند مفید واقع گردند. در موارد فوق برای پیکسل‌های مرز تصویر، از پد متقارن^۲ استفاده گردید.

۲-۲-۲- ویژگی‌های قطعه مبنا

درحالی که بهبود حد تفکیک طیفی و فضایی می‌تواند تصویری بهتر از ناهمگونی شهری ارائه دهد، رویکرد شی-گرا نیز می‌تواند انعطاف بیشتری در انواع ویژگی‌های قابل استخراج ارائه کند. در این حالت، ورودی قطعات تصویر می‌باشند و سپس بر اساس برآیند خصوصیات پیکسل‌های داخل هر قطعه می‌توان روابطی ۲ و ۳ به دست آورد.

$$\text{Segment}_{\text{mean}} = \frac{\sum_{j=1}^n \text{Feature band}(j)}{n} \quad (3)$$

$j=1:n \text{ (object_pixel)}$

$$\text{Var}_{(k)} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n |\text{Seg}_k(j) - \mu_{(k)}| \quad (4)$$

$k=1:\text{Feature_band}$

$\mu_{(k)} = \text{Segment}_{\text{mean}(k)}$

ویژگی دیگر مورد استفاده، تغییرات بردار نرمال در ریزقطعات تشکیل دهنده‌ی عوارض است. برای این کار ابتدا قطعات وارد می‌گردند، سپس برای هر قطعه اطلاعات مکانی و ارتفاعی تمامی پیکسل‌های آن استخراج می‌شوند. در ادامه برای قطعه ورودی بردار نرمال بر سطح آن قطعه محاسبه می‌گردد و در محل مرکز قطعه موردنظر قرار می‌گیرند. در ادامه بردار گذرنده از هر نقطه‌ی آن قطعه نسبت به نقطه مرکزی محاسبه شده و زاویه‌ی آن نسبت به

^۲ symmetric padding

^۱ Local variance

بردار نرمال قطعه اندازه‌گیری می‌گردد و این کار برای تمامی پیکسل‌های موجود در قطعه انجام‌شده و در نهایت واریانس تغییرات زوایای مورداندازه‌گیری برای آن قطعه مورد محاسبه قرار می‌گیرد. خروجی روش فوق قطعات مسطح را در سطح تصویر شناسایی خواهد نمود. مزیت ویژگی مورد اشاره این می‌باشد که چون صفحات را در نظر می‌گیرد در نتیجه سقف‌های شیب‌دار را نیز به‌عنوان یک قطعه مسطح شناسایی می‌نماید. این روش علاوه بر اینکه از دقت خوبی برخوردار است، وقتی به‌صورت ترکیبی با ویژگی‌های استخراج‌شده به روش کرنلی استفاده می‌گردد می‌تواند مکمل خوبی برای هم باشند که ضمن استفاده از مزیت هر یک از روش‌ها در حالت تعاملی نقص‌های یکدیگر را نیز پوشش دهند.

۲-۲-۳- ویژگی‌های مستخرج در همسایگی طیفی

اندکس‌ها ابزارهایی برای استفاده از چند باند تصویر جهت رسیدن به یک باند می‌باشند که برای هدف خاص طراحی می‌شوند، و در آن استخراج ویژگی از یک پیکسل در همسایگی طیفی صورت می‌گیرد. در ادامه ویژگی‌های نقطه‌ای مورد استفاده در این تحقیق بیان‌شده است. برای شناسایی مناطق پوشش گیاهی از اندکس NDVI و SAVI استفاده‌شده است [۲۱]. برای شناسایی مناطقی که از لحاظ رادیومتریکی در تصاویر هوایی به جاده شباهت دارد از اندکس NDRI مقید استفاده‌شده است (رابطه ۵).

$$NDRI = \frac{(|R-G| + |R-NIR|)}{(2 \times R + G + NIR)} \quad (5)$$

با توجه به اینکه حوزه رادیومتریکی نواحی جاده‌ای به‌طورمعمول در باندهای طیفی مقادیر نزدیک خواهند داشت بر این اساس در رابطه ۵ مناطقی که دارای مقادیر بالایی باشند نمی‌توانند جاده باشند. همچنین از آنجایی که عوارض جاده‌ای در طبیعت مقادیر روشنایی معمول دارند یعنی نه در حوزه تیره و نه حوزه خیلی روشن قرار نمی‌گیرند با تبدیل تصویر از فضای رنگی به فضای HSV و فیلتر داده‌های مقادیر کم‌وزیاد در باند V می‌توان این هدف رسید. همچنین چون نواحی جاده‌ای در تصاویر به رنگ خاکستری و تقریباً بدون تنوع رنگی هستند با فیلتر مقادیر رنگی نیز می‌توان عناصر غیر جاده‌ای را تا حد زیادی فیلتر نمود.

برای مناطق سایه‌ای می‌توان از تبدیل فضای رنگی به HSV و شناسایی مناطق سایه‌ای با توجه به مقادیر باند V و بازتاب طیفی باند NIR استفاده نمود. همچنین با توجه به اینکه کلاس آب معمولاً مقادیر پایین‌تری در باند NIR نسبت به باندهای با انرژی بالاتر مانند باند سبز دارا می‌باشند [۲۲، ۲۳]. بر این اساس با توجه به حوزه رادیومتریکی نواحی آبی، پیکسل‌های دارای مقادیر منفی در NDWI نمی‌توانند آب باشند. پس از فیلتر مقادیر منفی نتیجه را بارزسازی کرده و سپس در هیستوگرام تصحیح‌شده، مقادیر بزرگ مناطق محتمل از لحاظ طیفی جهت شناسایی طیف آب را شامل خواهند شد. لازم به ذکر است اندکس‌های ذکرشده به‌تنهایی لزومی بر شناسایی مناطق هدف را نمی‌رسانند، بلکه می‌توانند فیلترهایی برای حذف مناطق ناخواسته باشند، تا در ادامه با ترکیب قواعد معنایی اخذشده از قواعد آنتولوژی مورد کنترل و تصحیح بیشتر واقع گردند.

۲-۳- فرآیند گسترش فضای ویژگی جهت فیلترینگ و حد‌آستانه‌گذاری

ذهن انسان جهت شناسایی و تفکیک عوارض و کلاس‌های شهری از یکسری شاخص‌ها و توصیفگرهای کیفی استفاده می‌نماید. از طرفی جهت ماشینی نمودن این فرآیند بایستی هر توصیف کیفی با یک ویژگی سطح پایین کمی با توجه به تجزیه و تحلیل تصویر ترجمه شود. یکی از مسائل مهم در مهندسی دانش و به‌کارگیری قوانین کمی جهت تفسیر، چگونگی تعیین حدود آستانه مناسب، متناسب با داده ورودی می‌باشد. زیرا شرایط صحنه و شرایط اخذ اطلاعات در روند توزیع مقادیر پیکسل‌های تصویر تأثیرگذار خواهد بود. بر این اساس حد‌آستانه‌های ثابتی برای تعیین ویژگی‌های مختلف تصویری وجود نخواهد داشت. نکته‌ی خوب اینجاست که در همه‌ی این حالات ویژگی‌های نسبی درون هر تصویر ثابت خواهد بود و تنها شرایط کلی یک تصویر نسبت به دیگری تغییر خواهد کرد.

مشکل اصلی، تعیین حد آستانه بهینه است. تعیین حد‌آستانه بهینه معمولاً به روش سعی و خطا صورت گرفته و مبتنی بر تجربیات خبره مفسر تصاویر می‌باشد. هرچند روش‌هایی برای تعیین حد‌آستانه بهینه توسعه داده‌شده

است که مستقل از کاربر و اتوماتیک عمل می‌کند [۲۴]. به‌عنوان نمونه می‌توان به حدآستانه‌گذاری OTSU اشاره کرد که بدون هیچ‌گونه فرضی در مورد داده‌ها اقدام به این کار می‌نماید [۲۵]. ولی مبتنی بر جستجوی تمامی مقادیر ممکن برای حدآستانه می‌باشد. این روش، روش جستجوی فراگیر نامیده می‌شود. اما در هنگامی که فضای مورد بررسی تغییرات خطی نداشته باشند و در مناطق مختلف به‌صورت محلی تغییرات متفاوت است، استفاده از این روش دیگر به‌تنهایی به پاسخ بهینه همراه نخواهد شد.

همان‌طور که عنوان شد چالش اصلی، نحوه‌ی تعیین حدآستانه مناسب خواهد بود. بر این اساس در این تحقیق یک روند گسترش و تغییر فضای ویژگی به فضای فوریه به-کارگرفته شده است. سپس در این فضا، به‌طور نسبی به قیاس ویژگی موردبحث در بین عوارض مختلف تصویری پرداخته می‌شود تا تأثیر تغییرات، برحسب شرایط تصویری کمینه گردد. به‌عبارتی از آنجایی که این قیاس به‌طور نسبی صورت می‌پذیرد بنابراین مستقل از شرایط تصویربرداری و نوع صحنه خواهد بود. در ادامه برحسب اینکه ویژگی هدف قصد شناسایی کدام خصیصه تصویری را دارد، خصوصیات آن کلاس تصویری به‌طور نسبی، در کلاس هدف برتری مقداری نسبت به همسایگان خواهند داشت؛ که در نتیجه با فیلتر مقادیر نسبت به عوارض همسایه، شناسایی آن‌ها به‌خوبی صورت می‌پذیرد. سپس با فیلتر مقادیر بالا در فضای فرکانس مقادیر باقی‌مانده نشان‌دهنده‌ی ویژگی‌های هدف در فضای تصویری خواهد بود.

این فرآیند به ۲ مرحله تقسیم می‌گردد. مرحله‌ی نخست شناسایی بر اساس روند گفته‌شده خواهد بود که در آن گسترش و فیلترینگ انجام‌شده است. در مرحله‌ی بعد خروجی وارد یک روند تطبیقی با فضای ورودی و تصحیح شرایط ادغام می‌گردد. مرحله نخست برای مناطق کم عارضه و روش دوم برای مناطق ذوعارضه پیشنهاد می‌گردد. ابتدا داده‌های ورودی توسط فیلتر نرم‌سازی برای کاهش تغییرات نویزی درون آن تعدیل می‌گردند، جهت انجام این کار از فیلتر هدایت شوند [۲۶] استفاده‌شده است که تا حد ممکن لبه‌های تصویری دچار تغییر نشوند. سپس مقادیر داده‌های ورودی را نرمال‌سازی نموده، تا مقادیر آن بین صفر و یک قرار گیرند و بازه‌ی تغییرات محدود شوند. در ادامه پردازش داده‌ها صورت می‌گیرد که خود دارای چند زیر بخش مانند پد متقارن، و سپس

انتقال به فضای فوریه و اعمال فیلتر بالاگذر و در ادامه برش تصویر با ابعاد برابر با تصویر ورودی (حذف پد) می‌باشد. برای مناطق ذوعارضه یک تصحیح انطباقی؛ از طریق پردازش تطابق هیستوگرام خروجی به دست آمده و داده ورودی صورت می‌گیرد. برای این کار ابتدا هر دو نرمال‌سازی شده‌اند و سپس تکرار روش فیلترینگ بالاگذر در فضای فوریه صورت می‌گیرد. در نهایت هر دو خروجی‌ها به‌عنوان فضای ویژگی جدید از داده ورودی وارد روند تفسیری خواهند شد.

فیلترینگ فضای ویژگی گفته شده به‌خصوص برای داده-هایی که از توزیع نامتقارن در فضای مکان پیروی می‌کنند می‌تواند مثر ثمر باشد، برای نمونه می‌توان به داده‌های DSM اشاره نمود. در این تحقیق دو ویژگی تولیدشده در مرحله تفسیر استفاده می‌گردند، همچنین با تعیین یک حدآستانه (نزدیک به عدد صفر) توسط کاربر می‌توان از ویژگی تولیدشده جهت به‌کارگیری در بخش بعد جهت تفکیک عوارض مرتفع و غیر مرتفع به کار گرفته شود.

۲-۴- فرموله کردن مفاهیم آنتولوژی

کارآمدی وظایف تفسیری در استخراج ویژگی‌هایی که بتوانند به‌خوبی به کلاس‌های موردنظر مرتبط باشند، نیازمند آگاهی هم در انتخاب پارامترهای پردازش و هم در اجرای کار ترتیب‌دهی است. یک راه کلاسیک برای ساخت یک پایگاه دانش، جهت ارائه دانش استفاده از مفاهیم آنتولوژی است. در حقیقت آنتولوژی یک راهنما، برای توصیف کمی تصویری از کلاس‌های مدنظر فراهم می‌کند و آن را می‌توان به‌عنوان یک مشاهده ساده‌شده‌ی از جهان، که برای هدف خاص ارائه‌شده است تعریف کرد [۲۷].

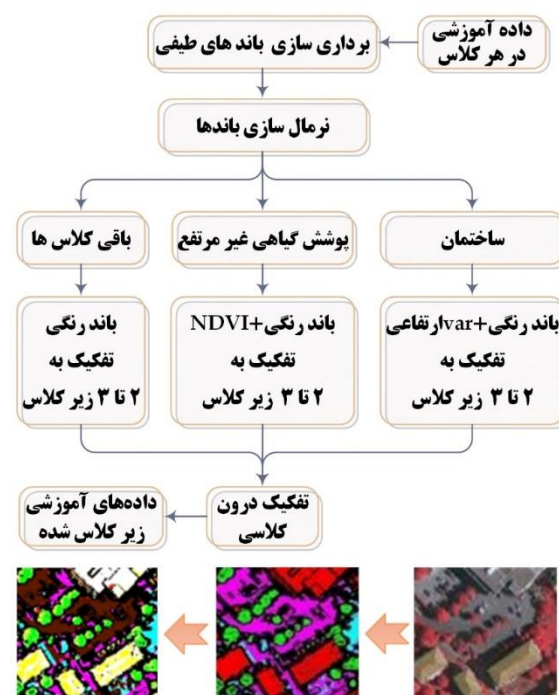
تحقیق حاضر با توجه به ساختار تصاویر قدرت تفکیک مکانی بالا و ساختار مناطق شهری غیر مترکم (نیمه‌شهری) پایه‌ریزی شده است. مطابق با مطالب عنوان‌شده این ساختار برای چند کلاس اصلی شهری مطابق شکل ۳ تدوین‌شده است. این قوانین ساختارهای کلی که یک فرد خبره در هنگام تفسیر و شناسایی عوارض و کلاس‌های تصویری به کار می‌بندد را مدنظر قرار داده است. درعین حال با توجه به اینکه صحنه‌های مختلف شهری دارای اختلافاتی در جزئیات قواعد می‌باشند لذا نمی‌توان تنها با تکیه بر این قواعد جامع‌نگری سیستم را برای شناسایی کل تصویر بیان داشت. بر این اساس سعی

یک زیر کلاس اتفاق افتاده باشد. تصحیح این پراکندگی به صورت تصحیح حوزه‌ی توزیع قطعات (تحلیل واریانس داده‌ها) صورت داد. در این بخش داده‌های آموزشی برای هر زیر کلاس، به ازای همه‌ی باندها به صورت یک بردار ویژگی در نظر گرفته می‌شود. سپس با تعدیل این بردارهای ویژگی، مقادیر تصحیح شده حاصل خواهند شد. خروجی، بردارهای ویژگی به ازای هر یک از قطعات آموزشی خواهد بود، که در آن پیکسل‌های منفرد به قطعات آموزشی جهت تحلیل عارضه‌مبنا تبدیل شده‌اند. حال برای این بردارهای ویژگی به بررسی نحوه‌ی توزیع مقادیر در هر باند ویژگی پرداخته می‌شود تا در صورتی که برای برخی از فضاهای ویژگی مقادیر غیر مطلوب وجود داشته باشد این مقادیر تصحیح شوند.

روش پیشنهادی جهت تعدیل داده‌های شی‌مبنای آموزشی، جایگزینی با مقادیر نزدیک حول میانگین نمونه‌ها است. بر این اساس ابتدا بهترین توزیع نرمال متناسب با این داده‌ها را تخمین زده و سپس اطلاعات مربوط به واریانس توزیع داده‌ها حول میانگین محاسبه می‌گردد. حال داده‌های آموزشی هر ویژگی را در هر زیر کلاس مورد بررسی قرار داده و داده‌های حول میانگین توزیع نرمال با درجه اطمینان ۹۵ انتخاب می‌گردد. جهت انجام این کار با برازش دادن بهترین بردار نرمال فیت شده بر داده‌های هر زیر کلاس، می‌توان به تخمینی از آماره‌های آن کلاس رسید تا در ادامه با فیلتر داده‌های خارج از رنج به داده‌های مطلوب دست‌یافت.

در ادامه گسترش داده‌های آموزشی صورت می‌گیرد (شکل ۶). هدف تحلیل عارضه‌مبنای داده‌ها می‌باشد، از طرفی با تقلیل داده‌های آموزشی از پیکسل به قطعه (مجموعه پیکسل) مشکل آموزش پذیری برای سیستم یادگیری به وجود خواهد آمد. در حقیقت یکی از مزیت‌های تحلیل عارضه‌مبنا کاهش حجم پردازشی از طریق کاهش تعداد واحدهای پردازشی از پیکسل به قطعه می‌باشد. در عین حال با انجام این کار از تعداد نمونه‌های آموزشی موجود کاسته شده و برای برخی کلاس‌ها تنها چند قطعه آموزشی وجود داشته باشد. از این روی در این بخش با توجه به این نکته، قصد بر آن است تا این کمبود به واسطه‌ی اطلاعات حاصله از مراحل قبل بهبود داده شود. روند پیشنهادی در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق فلوچارت به ازای همه‌ی زیر کلاس‌های موجود، دو برابر ابعاد فضای

علت تراکم‌های مختلف که پوشش متراکم یا کم‌پشت باشد علاوه بر باندهای طیفی از باند اندکس پوشش گیاهی نیز جهت تفکیک بین کلاسی استفاده شد. برای سایر کلاس‌ها از همان ۳ باند طیفی استفاده شد (شکل ۵). برای اینکه این روند در تصاویر مختلف دچار مشکل نشود از یک روند دارای قابلیت اتوماسیون برای تفکیک‌پذیری استفاده می‌گردد. در اجرای روند روش OUFUC مورد استفاده قرار گرفته شد [۲۸].

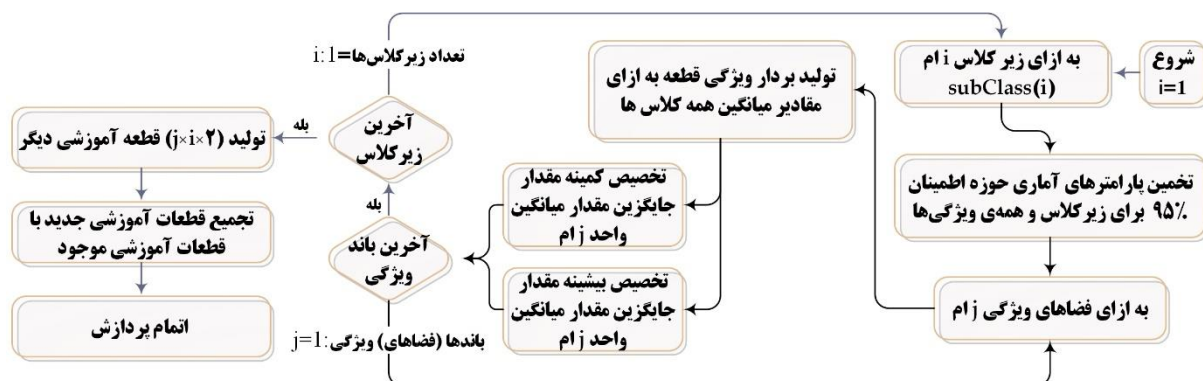


شکل ۵- تفکیک زیر کلاس ها

در روند شی‌مبنا چون میانگین داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در نتیجه مقادیر همگن‌تر خواهند شد. در این روند داده‌های آموزشی ورودی از مرحله قبل که ماهیت پیکسلی دارند وارد شده و سپس به ازای پیکسل‌های داخل هر قطعه، برآورد سهم آن قطعه از کلاس‌ها صورت می‌گیرد. بدین منظور یک بار روند به ازای کلاس‌های اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد و اگر سهم یک کلاس برای آن قطعه بالا بود، به بررسی زیر کلاس‌های مربوط به این کلاس در آن پرداخته خواهد شد. سپس برچسب آن قطعه به زیر کلاسی که بیشترین فراوانی را داشته تعلق می‌گیرد. چون مقادیر داده‌های آموزشی مربوط به هر زیر کلاس در فضای ویژگی در یک محدوده‌ی مشخص می‌باشند و البته در مراحل قبل، داده‌ها تصحیح شده‌اند، در نتیجه تنها ممکن است پراکندگی‌های اندکی برای برخی از باندها در

ویژگی قطعات آموزشی دیگر تولید شده است. با استفاده از این روش و تجميع قطعات آموزشی جديد توليد شده و قطعات آموزشی که از مراحل قبل حاصل شده است، در همهی زیرکلاسها توزيع داده آموزشی در فضای ویژگی

مستحکم‌تر خواهد شد. بر این اساس یک شبکه‌ی داده‌ی آموزشی مستحکم و دارای توزیع همگن در فضای ویژگی برای طبقه‌بندی پهنه در مرحله بعد فراهم‌شده است.



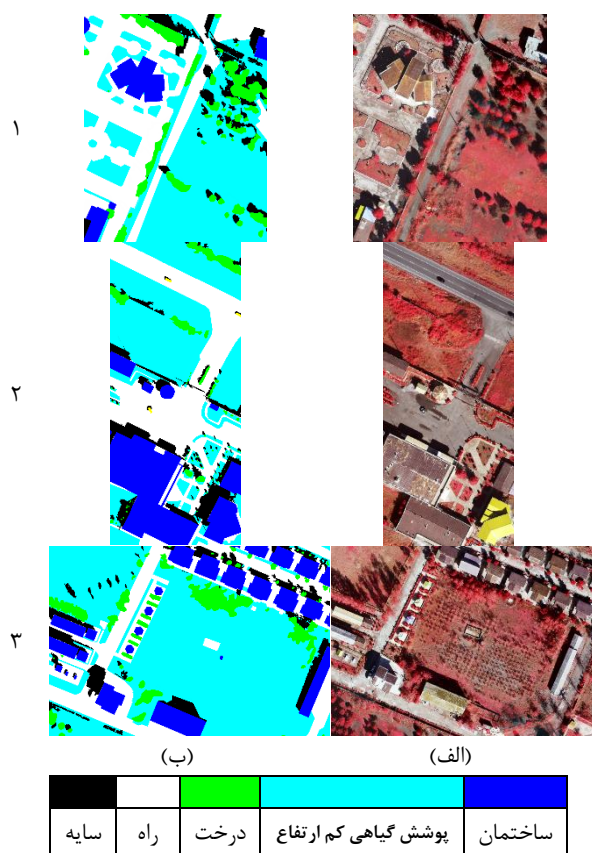
شکل ۶- گسترش قطعات آموزشی

۲-۶- طبقه‌بندی شی‌مینا و کنترل

طبقه‌بندی تصاویر، به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی واحدهایی که دارای رفتار مشابه می‌باشند، اطلاق می‌گردد. در تصاویر سنجش‌ازدوری به علت ابعاد بزرگ داده‌ها، فرآیند پردازش هزینه‌بر می‌باشد. از طرفی برای اخذ نتایج بهتر، استفاده از ویژگی‌های مختلف، در روند آموزش سیستم یادگیری توصیه‌شده است، در نتیجه این موضوع به شکل فزاینده‌ای بر حجم پردازش‌ها خواهد افزود. بر این اساس استفاده از روند شی‌مبنا می‌تواند با کاهش واحدهای پایه محاسباتی بر افزایش سرعت و البته همگنی تصویر تفسیر شده نهایی بیفزاید.

ورودی داده‌های موجود برای طبقه‌بندی در این روش قطعات تصویری بوده و جهت آموزش نیز از قطعات آموزشی تولیدشده در مراحل قبل استفاده شد. نکته‌ی مهم در آموزش بهینه سیستم یادگیری، توزیع مناسب داده‌های آموزشی در فضای ویژگی، و وجود حداقل تعداد داده آموزشی برای هر کلاس به نسبت ابعاد فضای ویژگی می‌باشد. این موضوع در فرآیند طبقه‌بندی پیکسل‌مبنا، کمتر مورد توجه است چون معمولاً تعداد داده‌های آموزشی پیکسلی بالاست و بنابراین نسبت ابعاد فضای ویژگی به تعداد داده‌های آموزشی معمولاً برقرار است. اما در روند طبقه‌بندی عارضه‌مبنا به علت اینکه داده‌های آموزشی قطعات می‌باشند ممکن است تعداد قطعات آموزشی نسبت به ابعاد فضای ویژگی پایین باشد و حتی

پیکسل‌های کلیه تصاویر تست برابر ۹ سانتی‌متر می‌باشد که شامل باند قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک تصویر ارتوفتوی منطقه و همچنین داده‌ی ارتفاعی رقومی سطح منطقه می‌باشد. عملکرد نتایج حاصل از طرح پیشنهادی از طریق برنامه‌نویسی با استفاده از نرم‌افزار متلب برای تصاویر تست ارزیابی شد. جهت تولید قطعات تصویری از نرم‌افزار eCognition و ابزار ESP2 جهت محاسبه اتوماتیک پارامتر مقیاس بهینه استفاده شده است. پارامترهای دیگر این روش قطعه‌بندی نظیر فشردگی و شکل اگر باهدف استخراج دقیق عوارض باشد، نیاز به تنظیم دقیق پارامترها است. اما در این تحقیق به جهت بررسی تأثیر روش پیشنهادی و اجتناب از تأثیر دقت انتخاب پارامترهای قطعه‌بندی، از تنظیم این پارامترها صرف‌نظر شد و برای همه‌ی تصاویر تست مقادیر ثابت 0.5 و 0.5 در نظر گرفته شد. کلاس‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر با توجه به ساختار تصاویر قدرت تفکیک مکانی بالا و ساختار مناطق شهری غیر متراکم (نیمه‌شهری)، به کلاس‌های ساختمان، پوشش گیاهی مرتفع (درختان)، پوشش گیاهی غیر مرتفع، آب، راه و پارکینگ و سایه در نظر گرفته شد.



شکل ۷- داده‌های تست منطقه ۱، (الف) تصاویر رقومی، (ب) تصاویر واقعیت زمینی

اعمال شد. همچنین از تفاضل باندی اطلاعات طیفی تصویری نیز استفاده شد و ۳ اندکس NDVI، SAVI و سایه نیز به فضای ویژگی افزوده شد. در نهایت از داده‌های ارتفاعی، آنالیزهای واریانس و آنتروپی اعمال شده به DSM، بعلاوه فیلتر داده‌ی DSM در دو مرحله مطابق بخش ۲-۳ و ویژگی دیگر تولید می‌نماید. همچنین یک لایه‌ی باینری جهت تفکیک لایه مرتفع و غیر مرتفع (مطابق بخش ۲-۳-۲) نیز جهت تفکیک پذیری بهتر کلاس‌ها به فضای ویژگی اضافه شده است. در نهایت ویژگی‌های مورد اشاره و داده‌های آموزشی تولید شده به روش اتوماتیک که در مراحل قبل تصحیح شده‌اند با روش ماشین بردار پشتیبان مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در روند طبقه‌بندی از SVM خطی و در حالت پایه استفاده شد تا نیاز به تنظیم پارامتر نباشد و اتوماسیون روند بالا باشد. این کار به علت تفکیک و تصحیح صورت گرفته شده در مرحله قبل ممکن شد و به علت روند صورت گرفته شده در زیر بخش ۵-۲ حالت خطی به جواب مناسب خواهد انجامید. تا در نهایت این روند هیبرید تعامل قواعد دانش‌مبنا و سیستم یادگیری SVM، به‌منظور تفسیر تصاویر با رفع نواقص یکدیگر جواب بهینه‌ای را منجر گردند.

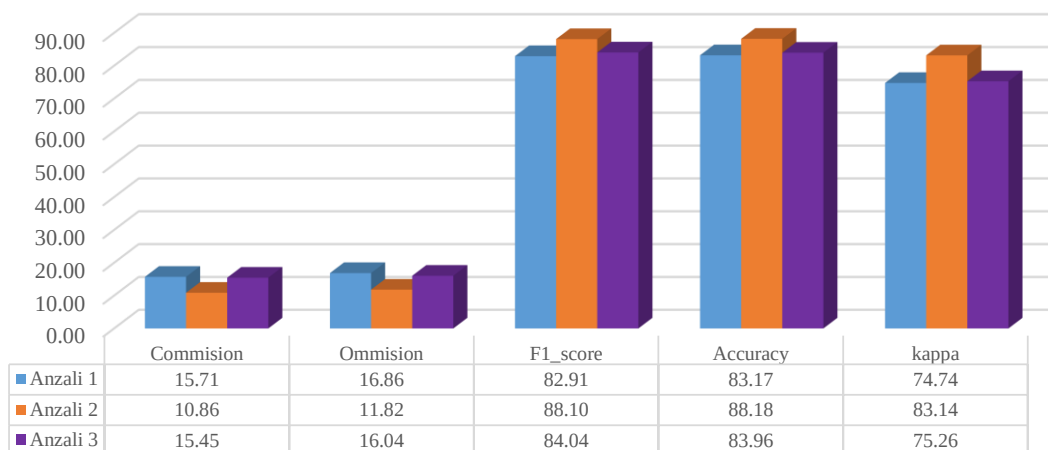
جهت کنترل روند، برای هر کلاس می‌توان از داده‌های حاصله از بخش ۲-۵ محدوده‌های اصلاح شده در فضای ویژگی برای تمام زیرکلاس‌ها را تولید نمود. در این مرحله، تصویر طبقه‌بندی شده به دست آمده جهت بررسی مجدد با هدف تکمیل مرحله کنترل فرآیند مورد بررسی قرار گرفت. این مرحله برای کلاس‌های مختلف در ویژگی NDVI، در ویژگی مقدار روشنایی (فضای رنگی HSV) و واریانس ارتفاع برای کلاس سایه، درخت و ساختمان می‌تواند صورت گیرد.

۳- نتایج و ارزیابی تحقیق

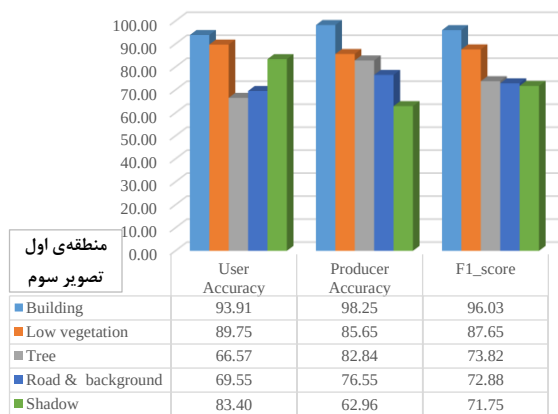
داده‌های مورد استفاده به مربوط ۲ منطقه جغرافیایی مختلف می‌باشد، درعین حال در هر منطقه جغرافیایی سعی شد تصاویر تست مختلف شامل عوارض و ویژگی‌های صحنه متفاوت انتخاب گردید. بر این اساس در منطقه اول سه تصویر تست اخذ شده توسط دوربین التراکم متعلق به منطقه‌ای در شمال ایران و شهرستان بندر انزلی می‌باشد (شکل ۷) و منطقه دوم تصاویر تست اخذ شده از شهر واهینگن در آلمان (شکل ۱۰) اخذ شده است. ابعاد زمینی

روش پیشنهادی برای تفسیر تصاویر التراکم در مناطق حومه شهری با پوشش گیاهی غالب طراحی شده است. نتایج عددی روش پیشنهاد شده با داده های واقعیت زمین برای همه کلاس ها به صورت میانگین وزنی در شکل ۸ نشان داده شده است. به منظور بررسی این دقت ها در کلاس های جداگانه، به شکل ۹ نگاه کنید. در بازه ی کلاسی همان طور که از شکل پیداست بهترین دقت ها مربوط به ساختمان می باشد که جزو مهم ترین عارضه های

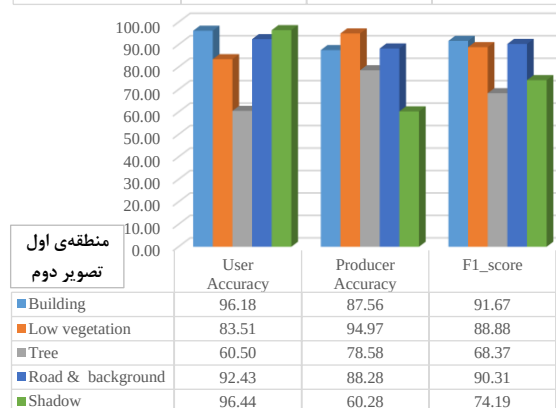
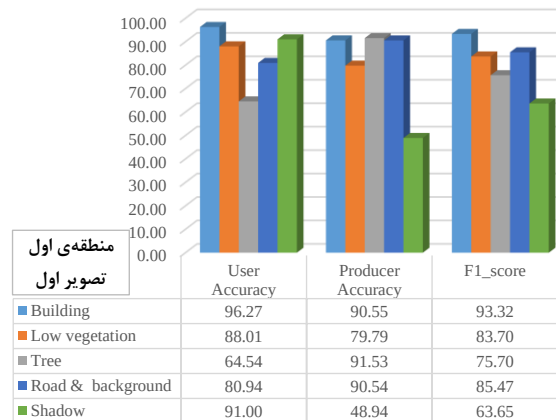
شهری است. نتایج حاصله هیچ پس پردازشی بر روی آن ها صورت نگرفته شده است. مثلاً برای ساختمان ها جنرالیزاسیون و تنظیم گوشه ها و زوایا می تواند بر کیفیت نهایی بیفزاید. یا برای جاده ها اتصالات نواحی مختلف شبکه راه می تواند مورد توجه قرار گیرد. اما در این تحقیق به منظور اینکه بتوان صرفاً ارزیابی جامعی از عملکرد روش پیشنهادی داشته و از تأثیرات عوامل دیگر کاسته شود، از پس پردازش اجتناب شد.



شکل ۸- نتایج ارزیابی روش پیشنهادی بر روی داده های انزلی



شکل ۹- خروجی روش پیشنهادی به ازای کلاس ها

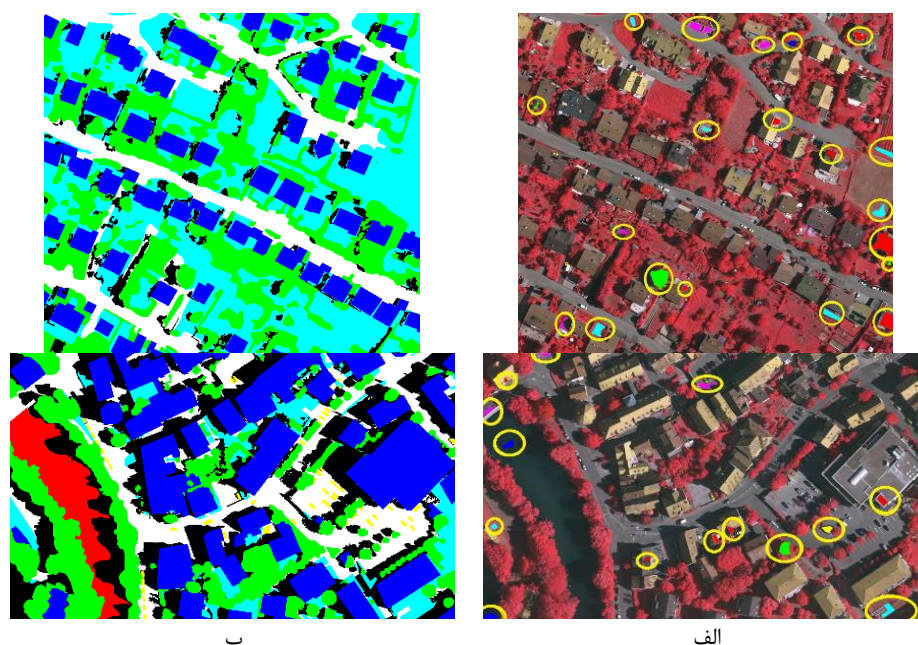


روش پیشنهادی بر روی تصاویر با وضوح بالای التراکم تست گردید. به منظور بررسی جامع بودن پیاده سازی، روش پیشنهادی بر روی تصاویر آزمایشی دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفت که دارای ویژگی های مشابه از نظر نوع سنسور و نوع صحنه می باشند. بر این اساس روش پیشنهادی بار دیگر بر روی تصاویر تست منطقه دوم نیز ارزیابی شد (شکل ۱۰). علاوه بر این به منظور ارزیابی بیشتر، روش های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. نخست روش با همین ویژگی ها با استفاده از داده های آموزشی که به صورت دستی اخذ شده اند مقایسه

شد ((SVM (16-SV)). در مرحله‌ی بعد جهت قیاس از لحاظ نوع ویژگی‌های مورد استفاده، آن را با ویژگی‌های بیشتری که به‌طور معمول در تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر سنجش‌ازدوری مورد استفاده می‌باشند مقایسه شد. در این روند، سیستم همچنین از لحاظ نوع اجرا و سیستم پیاده‌سازی، روش انتخاب و دسته‌بندی ویژگی‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت ((RF (76-SV)).

مراحل پیاده‌سازی جهت قیاس نتایج حاصله را در گام-های زیر می‌توان خلاصه نمود: در گام اول، ۸ ویژگی بافتی آماری برای هر باند تصویری، و در هر باند از تصویر در ۵ جهت (هر ۴۵ درجه)، ویژگی‌های بافتی آماری (کنتراست، همبستگی، عدم تشابه، آنتروپی، همگن، میانگین، لحظه دوم، و واریانس)، با ابعاد کرنل 3x3، 5x5 و 7x7 استخراج

شد (۳۶۰ باند ویژگی). سپس جهات کرنل مختلف، میانگین‌گیری شوند تا اثر جهت حذف گردد (۷۲ باند ویژگی). همچنین جهت قیاس از مدل رقومی نرمال‌شده سطح زمین (nDSM) که توسط [۲۹] و به‌طور خودکار توسط lastools-toolbox تولید می‌شود نیز استفاده شده است. سپس ویژگی‌های بهینه را به روش جنگل تصادفی استخراج کرده و طبقه‌بندی شدند. روش‌های استفاده شده جهت مقایسه روش‌های نظارت‌شده (SV) می‌باشند، بر این اساس نمونه‌های آموزشی هر کلاس، جداگانه در هر تصویر انتخاب شد (شکل ۱۰-الف). درنهایت برای ارزیابی دقت از داده‌های واقعیت زمینی برای هر تصویر استفاده شد (شکل ۱۰-ب). نتایج قیاس مطابق شکل ۱۱ می‌باشد.



سایه	راه و پارکینگ	آب	درخت	پوشش گیاهی کم ارتفاع	ساختمان
------	---------------	----	------	----------------------	---------

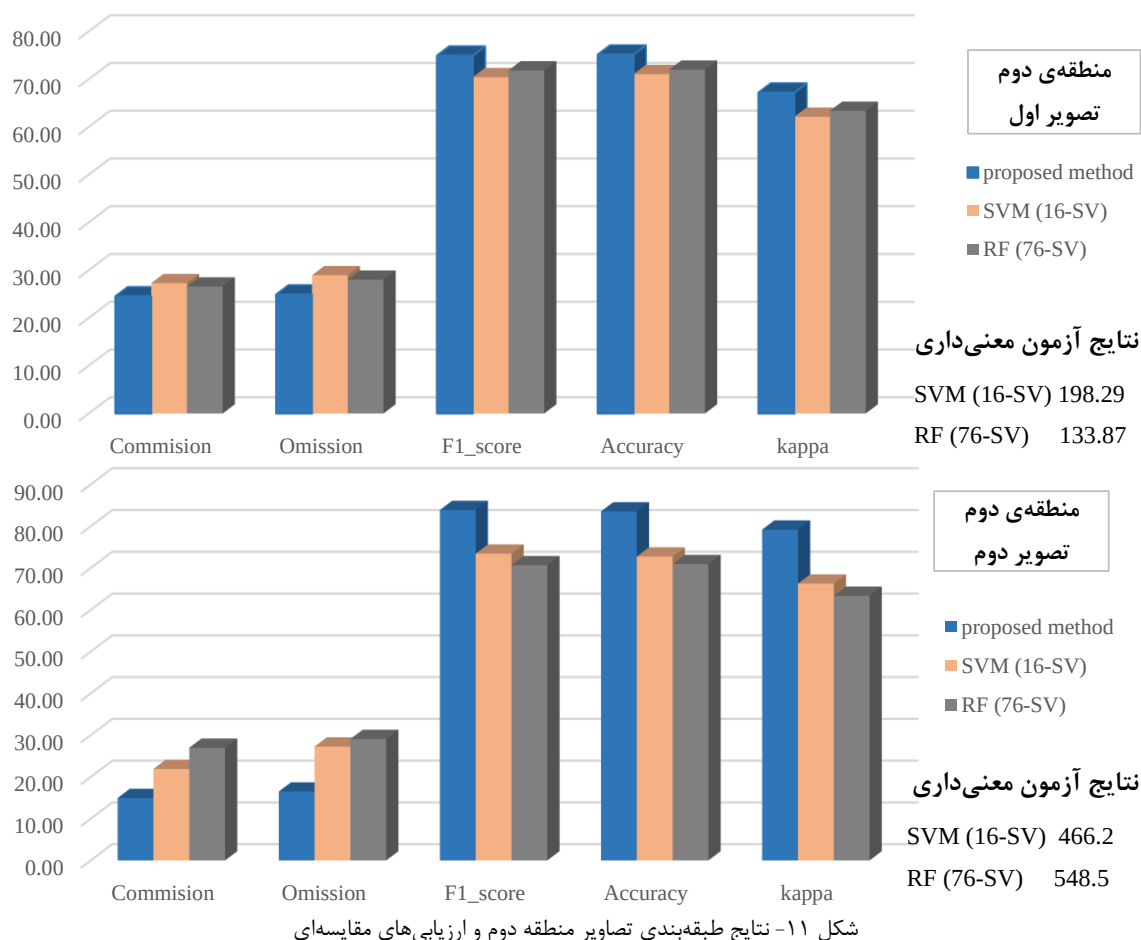
شکل ۱۰- داده‌های تست منطقه ۲، الف) تصاویر و داده آموزشی (بیضی‌ها نمونه‌های آموزشی روش‌های نظارت شده برای مقایسه می‌باشند)، ب) تصاویر واقعیت زمینی مربوط

همان‌طور که از نتایج برمی‌آید روش پیشنهادی دقت‌های مناسب و قابل اتکایی در قیاس با روش‌های مقایسه‌ای به دست آورده است. از طرفی در قیاس روش‌های مختلف طبقه‌بندی، هر اختلافی معنی‌دار نیست و از این‌روی آزمون‌های آماری جهت سنجش معنی‌داری مورد نیاز است. آزمون مک‌نمار شاید بهترین روش برای مقایسه دقیق نقشه موضوعی باشد، که براساس یک تفاوت

باینری بین تخصیص کلاس‌های درست و نادرست است [۳۰]. بر اساس این تست می‌توان نتایج طبقه‌بندی با دو روش مختلف را به‌صورت دودویی با هم قیاس نمود و میزان سطح وابستگی آماری بین آن دو را مورد تحلیل قرار داد. بر این اساس به‌منظور بررسی معنی‌داری اختلاف‌های ذکر شده در نتایج، به بررسی موردی هر یک از روش‌های مورد قیاس با روش پیشنهادی در سطح

معنی‌داری ۹۵٪ پرداخته شد و نتایج هر از روش‌های مورد قیاس به‌صورت جداگانه با روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و خروجی بررسی در جدول پایین هر نمودار در

شکل ۱۱ آورده شده است. اگر نتایج بررسی شده بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، وابستگی آماری بین نتایج وجود ندارد و اختلاف موجود معنی‌دار خواهد بود.



جدول ۱- ارزیابی روش پیشنهادی از نظر داخلی (مرحله کنترل)		
معیار ارزیابی	بدون کنترل	با کنترل
خطای مشارکت	18.31	16.30
خطای نادیده گرفتن	19.69	17.22
معیار F1	80.02	82.77
صحت کلی	80.31	82.80
ضریب کاپا	72.40	75.91

همچنین به منظور ارزیابی بیشتر دقت به‌دست‌آمده برای تمام تصاویر و انحراف معیار میانگین تمام مقادیر به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی برای تصاویر آزمون در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در این نمودار، دقت و واریانس تغییرات در نتایج به‌دست‌آمده در تمام پنج تصویر آزمایشی نشان داده شده است. این شکل خلاصه‌ای از نتایج تفسیری را در تصاویر آزمون نشان می‌دهد. نتایج عددی روش پیشنهادی بر روی تصاویر تست، کیفیت مناسب آن

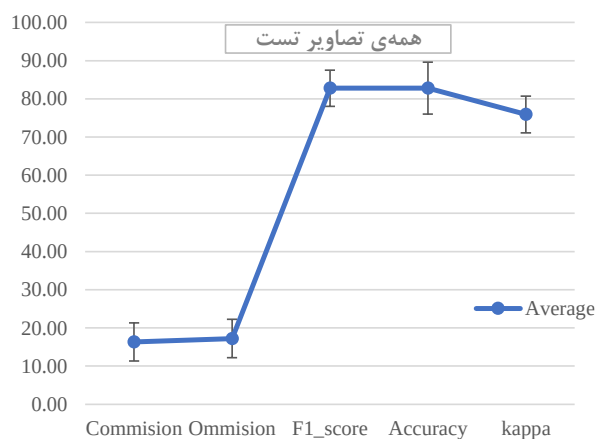
تا پیش‌ازین، روش پیشنهادی ابتدا در داده‌های آزمون (تصاویر انزلی) اجرا شد و صحت تمام تمایز کلاس و کلاس برای سه صحنه مختلف با کلاس‌ها با خواص ساختاری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس به‌منظور ارزیابی یکپارچگی سیستم و توانایی اجرا بر روی تصاویر مشابه از نظر سنسور و نوع صحنه، تصاویر واهینگن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، جهت ارزیابی صحت روش مبتنی بر دانش برای گسترش فضای ویژگی، و نیز ارزیابی عملکرد سیستم، با روش‌های معمول استخراج ویژگی و سپس انتخاب و طبقه‌بندی ویژگی‌ها مقایسه شد. در این بخش، به‌منظور بررسی دقت روش پیشنهادی برای اجرای مرحله نظارتی، ابتدا روش پیشنهادی یک‌بار به‌طور کامل اجرا شد. یک‌بار دیگر، تا مرحله نظارتی پیاده‌سازی می‌شود. نتایج برای همه تصاویر آزمون مورد استفاده در این مطالعه (انزلی و واهینگن) در جدول ۱ ارائه شده است.

تفسیر تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا بر اساس گسترش فضای ویژگی به فضای فوری جهت تفکیک پذیری بهتر در راستای گسترش فضای ویژگی در تصویر و تولید داده‌های آموزشی، بر اساس خصوصیات آنتولوژی کلاس‌های هدف صورت گرفته شده است. همچنین در ادامه با کنترل این داده‌های آموزشی، از نظر وجود داده‌های اشتباه و نویز فیلتر می‌گردند که برای این منظور از تصحیح حد واریانس داده‌ها استفاده گردید. در نهایت تحلیل عارضه‌مبنا و طبقه‌بندی بر اساس شی سبب حذف نویز و تولید تصویر تفسیر شده نهایی با ساختار همگن و در زمان کمتر خواهد شد. البته برای غلبه بر مشکل کمبود داده‌های آموزشی در برخی از زیر کلاس‌ها به سبب ساختار قطعه محور داده‌های آموزشی، روند گسترش فضای آموزشی نیز تعبیه شده است.

در ساختار کلی، این تحقیق در حقیقت تلفیق روش‌های دانش پایه و ماشین‌بردار پشتیبان می‌باشد. روش دانش پایه جهت اعمال مدل‌سازی روابط آنتولوژی می‌باشد تا در ادامه روش SVM با ترکیب ویژگی‌های حاصل از این قواعد و خصوصیات طیفی تصاویر ورودی، آموزش سیستم و طبقه‌بندی را انجام دهد. اکثر مراحل روند پیشنهادی اتوماتیک و بدون دخالت کاربر می‌باشد. در نهایت به منظور ارزیابی، ابتدا روش پیشنهاد شده در حالت‌های مختلف آزمایش شده و سپس با الگوریتم‌های استاندارد در هر مرحله مقایسه شد. در نهایت، روش پیشنهادی با دقت متوسط ۸۲/۸۰ درصد و ضریب کاپا ۷۵/۹۱ درصد در تمام تصاویر تست دقت مناسبی از خود نشان داد.

نتایج تحقیق نشان داد که تکنیک پیشنهادی قادر است با صحت خوبی تفسیر مناطق مطالعاتی را صورت بخشد. باین حال، الگوریتم پیشنهادی نیز محدودیت خاص خود را دارد. از آنجاکه فرآیند تولید داده‌های آموزشی به فیلترینگ اولیه داده ارتفاعی به مرتفع و غیر مرتفع بستگی دارد، تولید این تصویر باینری نظارت شده در نظر گرفته شد (با توجه به روش فیلترینگ و تولید داده‌ی آموزشی پیشنهادی، تولید این تصویر باینری فقط نیاز به تنظیم یک پارامتر توسط کاربر دارد). همچنین کلاس‌های اصلی در این تحقیق مدنظر می‌باشد، بدیهی است کلاس‌های دیگری خارج از این مجموعه کلاس جداگانه‌ای را ایجاد نمی‌کند. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد که تکنیک پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک روش اتوماتیک و نیمه نظارت شده در تفسیر تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از منطقه نیمه شهری مطلوب باشد.

را نشان می‌دهد. بررسی برخی از اعداد همچنین می‌تواند مفید باشد. به عنوان مثال، اساساً یک روش خوب باید تعادل مناسبی از دو خطای نادیده گرفتن و مشارکت دارا باشد، برای روش پیشنهادی مقدار این دو خطا پایین و البته نسبتاً نزدیک به هم است. همچنین، انحراف معیار استاندارد روش در صحنه‌های مختلف نشان‌دهنده پایداری آن است.



شکل ۱۲- نتایج ارزیابی روش پیشنهادی با روش‌های دیگر

۴- نتیجه‌گیری

با توسعه سنسورهای رقومی در دهه‌های اخیر، تعداد فزاینده‌ای از تصاویر با قدرت تفکیک بالا در حال حاضر در دسترس است که امکان تجزیه و تحلیل دقیق از اشیاء را فراهم می‌سازد. تفسیر این حجم از تصاویر دیگر به صورت دستی امکان‌پذیر نبوده، در نتیجه محققین ناچار به یافتن راه‌حل‌های عملی و اتوماتیک، به منظور حل مسائل محیطی و مدیریتی مکان‌محور روی آورده‌اند. در این تصاویر بسیاری از عوارض کوچک و مواد مختلف در تصاویر پدیدار می‌شود؛ این امر موجب افزایش تنوع درون کلاسی می‌گردد، در حالی که تفکیک بین کلاسی کاهش می‌یابد. در نتیجه جهت آموزش سیستم به منظور تجزیه و تحلیل تصاویر نیاز به داده‌های آموزشی مختلف، حتی در هر کلاس برای زیر کلاس‌های مختلف خواهیم بود.

با توجه به تعداد محدودی از مطالعات انجام شده برای حذف پیکسل‌های نادرست آموزش در حوزه سنجش از دور، نیاز جدی به ایجاد یک روش خودکار برای این مورد وجود دارد. از سوی دیگر، نکته مهم در آموزش مطلوب سیستم یادگیری، توزیع مناسب داده‌های آموزشی در فضای ویژگی و وجود حداقل تعداد داده‌های آموزشی برای هر کلاس نسبت به ابعاد فضای ویژگی است. بر این اساس در این تحقیق روشی

مراجع

- [1] X. Huang and L. Zhang, "An SVM ensemble approach combining spectral, structural, and semantic features for the classification of high-resolution remotely sensed imagery," *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, vol. 51, pp. 257-272, 2013.
- [2] X. Huang, L. Zhang, and P. Li, "An adaptive multiscale information fusion approach for feature extraction and classification of IKONOS multispectral imagery over urban areas," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 4, pp. 654-658, 2007.
- [3] M. Fauvel, J. Chanussot, and J. Benediktsson, "A combined support vector machines classification based on decision fusion," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on*, 2006, pp. 2494-2497.
- [4] J. A. Benediktsson and P. H. Swain, "Consensus theoretic classification methods," *IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 22, pp. 688-704, 1992.
- [5] J. A. Benediktsson, J. R. Sveinsson, and P. H. Swain, "Hybrid consensus theoretic classification ", in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1996. IGARSS'96. Remote Sensing for a Sustainable Future.*, International, 1996, pp. 1848-1850.
- [6] M.-H. Tseng, S.-J. Chen, G.-H. Hwang, and M.-Y. Shen, "A genetic algorithm rule-based approach for land-cover classification," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 63, pp. 202-212, 2008.
- [7] G. Foody, D. Boyd, and C. Sanchez-Hernandez, "Mapping a specific class with an ensemble of classifiers," *International Journal of Remote Sensing*, vol. 28 ,pp. 1733-1746, 2007.
- [8] H. Gu, H. Li, Z. Liu, and C. Shao, "A SEMI-AUTOMATIC RULE SET BUILDING METHOD FOR URBAN LAND COVER CLASSIFICATION BASED ON MACHINE LEARNING AND HUMAN KNOWLEDGE," *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, pp. 729-732, 2017.
- [9] A. Hamedianfar and H. Z. Shafri, "Development of fuzzy rule-based parameters for urban object-oriented classification using very high resolution imagery," *Geocarto International*, vol. 29, pp. 268-29۰، ۲۰۱۴، ۲
- [10] T. R. Gruber, "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing?," *International journal of human-computer studies*, vol. 43, pp. 907-928, 1995.
- [11] S. Ryherd and C. Woodcock, "Combining spectral and texture data in the segmentation of remotely sensed images," *Photogrammetric engineering and remote sensing*, vol. 62, pp. 181-194, 1996.
- [12] M. F. Goodchild, M. Yuan, and T. J. Cova, "Towards a general theory of geographic representation in GIS," *International journal of geographical information science*, vol. 21, pp. 239-260, 2007.
- [13] U. C. Benz, P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder, and M. Heynen, "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information," *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 58, pp. 239-258, 2004.
- [14] L. Drăguț, D. Tiede, and S. R. Levick, "ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data," *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 24, pp. 859-871, 2010.
- [15] R. Alberto, S. Serrano, G. Damian, E. Camaso, A. Celestino, P. Hernando, et al., "OBJECT BASED AGRICULTURAL LAND COVER CLASSIFICATION MAP OF SHADOWED AREAS FROM AERIAL IMAGE AND LIDAR DATA USING SUPPORT VECTOR MACHINE," *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 3, 2016.
- [16] C. E. Woodcock and A. H. Strahler, "The factor of scale in remote sensing," *Remote sensing of Environment*, vol. 21, pp. 311-332, 1987.
- [17] M. Kim, M. Madden, and T. Warner, "Estimation of optimal image object size for the segmentation of forest stands with multispectral IKONOS imagery," in *Object-based image analysis*, ed: Springer, 2008, pp. 291-307.
- [18] L. Drăguț, O. Csillik, C. Eisank, and D. Tiede, "Automated parameterisation for multi-scale image segmentation on multiple layers," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 88, pp. 119-127, 2014.
- [19] F. Luthon, M. Liévin, and F. Faux, "On the use of entropy power for threshold selection," *Signal Processing*, vol. 84, pp. 1789-1804, 2004.
- [20] C. E. Shannon and W. Weaver, "The mathematical theory of communications–Univ," *Illinois Press, Urbana*, 1949.

- [21] A. R. Huete, "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)," Remote sensing of environment, vol. 25, pp. 295-309, 1988.
- [22] B.-C. Gao, "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space," Remote sensing of environment, vol. 58, pp. 257-266, 1996.
- [23] S. K. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," International journal of remote sensing, vol. 17, pp. 1425-1432, 1996.
- [24] M. Sezgin, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," Journal of Electronic imaging, vol. 13, pp. 146-168, 2004.
- [25] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," Automatica, vol. 11, pp. 23-27, 1975.
- [26] K. He, J. Sun, and X. Tang, "Guided image filtering," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 35, pp. 1397-1409, 2013.
- [27] T. R. Gruber, "Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing," International journal of human computer studies, vol. 43, pp. 907-928, 1995.
- [28] X. Xiong and K. L. Chan, "Towards an unsupervised optimal fuzzy clustering algorithm for image database organization," in Pattern Recognition, 2000. Proceedings. 15th International Conference on, 2000, pp. 897-900.
- [29] Markus_Gerke. http://www.researchgate.net/profile/Markus_Gerke/publication/270450634_normalized_DSM_heights_encoded_in_dm_see_report/links/54aaaabc0cf2ce2df668aac3?origin=publication_detail.
- [30] J. de Leeuw, H. Jia, L. Yang, X. Liu, K. Schmidt, and A. Skidmore, "Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods," International Journal of Remote Sensing, vol. 27, pp. 223-232, 2006.