

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 نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
abbasekiani@yahoo.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
ebadi@kntu.ac.ir

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

(تاریخ دریافت مرداد ۱۳۹۷، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۸)

چکیده

طبقه بندی اطلاعات مربوط به پوشش زمین با استفاده از تصاویر حد تفکیک بالای مکانی به دلیل پیچیدگی مناظر، موضوع چالش برانگیزی است. مطالعات اولیه طبقه بندی پوشش زمین با استفاده از روش های آماری مانند طبقه بندی حداکثر احتمال صورت می - گرفت. با این حال، مطالعات جدیدتر از تکنیک های هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی مصنوعی و ... به عنوان جایگزین برای کاربردهای طبقه بندی استفاده کرده اند. یک مشکل عمده در استفاده از این مدل ها اینست که کاربر نمی تواند به راحتی قواعد نهایی را درک کند. این تحقیق یک چارچوب جدید برای طبقه بندی تصاویر سنجش از دور با استفاده از ترکیبی از قوانین هستی شناسی و تجزیه و تحلیل تصویر مبتنی بر شی ارائه می کند. این مقاله تا حدی تلاش می کند 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 داده های آموزشی صورت می پذیرد. در عین حال از ویژگی های ترکیبی و داده های آموزشی بر اساس ویژگی های هستی شناسی کلاس های هدف نیز استفاده شد. ساختار کلی روش پیشنهادی، ادغام روش های مبتنی بر دانش و SVM است. روش مبتنی بر دانش برای مدل سازی روابط آنتولوژی با هدف آموزش و کنترل پروسه تصمیم گیری SVM اجرا می شود. در نهایت به منظور ارزیابی روش، مجموعه ای 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: طبقه بندی تلفیقی، تحلیل شی مینا، 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.

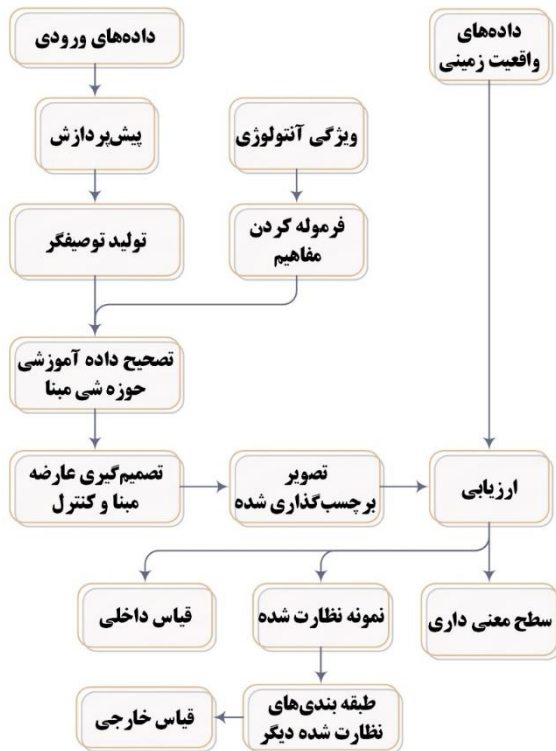
تصاویر با قدرت تفکیک بالا برای کاربردهای شهری سنجش‌ازدور بسیار باارزش هستند، باین‌حال، لازم به ذکر است که قدرت تفکیک‌های بالاتر لزوماً نتیجه دقیق‌تری را نمی‌گیرند [۱]. طبقه‌بندی تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا از عدم اطمینان اطلاعات طیفی رنج می‌برد زیرا افزایش واریانس داخل کلاس و کاهش واریانس بین کلاسی 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 انجام‌گرفته 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- پیش پردازش

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 به‌صورت 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 به‌صورت دستی انتخاب شود یا با افزایش تدریجی به‌منظور 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 به‌واسطه‌ی 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 ماشین‌بردارپشتیبان می‌باشد. روش دانش‌پایه جهت اعمال مدل‌سازی روابط آنتولوژی باهدف آموزش و کنترل روند تصمیم‌گیری سیستم ماشین‌بردارپشتیبان 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. ازاین‌روی 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. درنهایت یادگیری سیستم و تولید مدل مناسب توسط طبقه‌بندی کننده SVM صورت می‌گیرد.

۲- روش پیشنهادی

روند پیشنهادی مطابق شکل ۱ می‌باشد. در ادامه جزئیات هر یک از بخش‌ها موردبررسی قرار خواهند گرفت.

^۲ multi-resolution segmentation

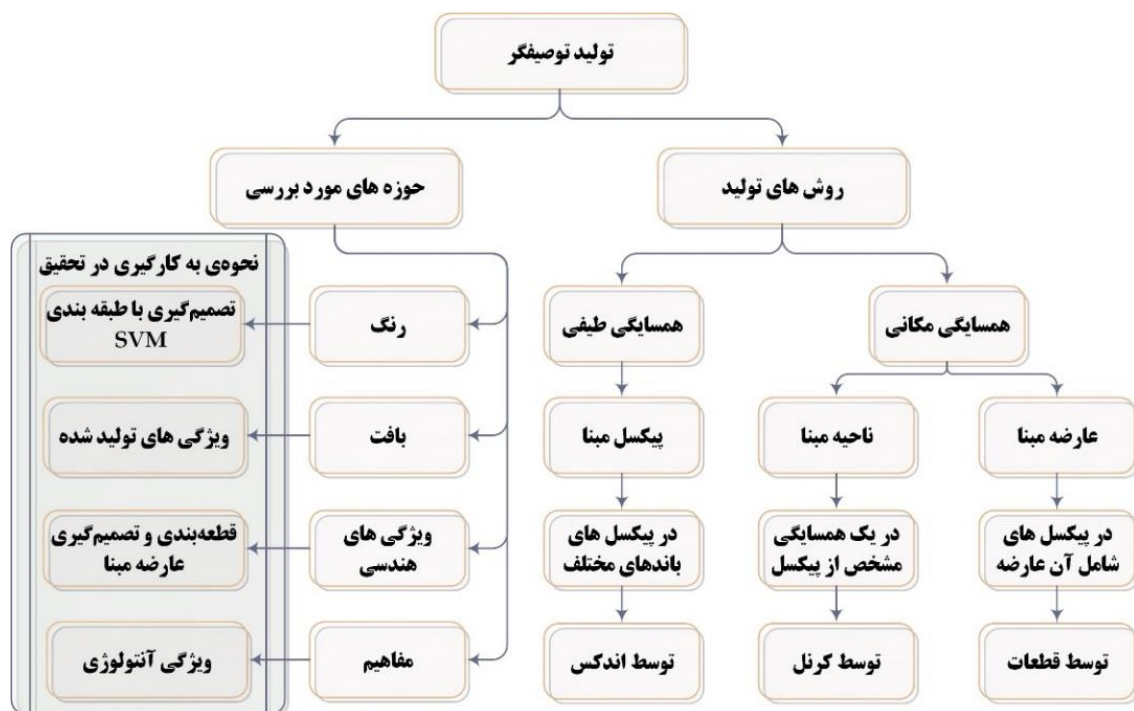
^۱ Ontology

توان از توصیفگرهای کیفی مورد استفاده در حوزه تفهیر تصویر مانند رنگ، بافت، ویژگی‌های هندسی و مفهیم 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 تفهیری استفاده نمود. به عنوان مثال، توصیف‌های سطح پایین اطلاعات رنگ به انعکاس رادیوسنجی اشیاء و برخی از شاخص‌های محاسبه شده از این بازتابش بستگی دارد. در نتیجه این فرآیند را از دو منظر تولید ویژگی و حوزه‌های مختلف تفکیک کلاس‌ها می‌توان بررسی نمود (شکل ۲). در زمینه‌ی تولید ویژگی یک روند تولید ویژگی شامل ویژگی‌های نقطه‌ای (همسایگی طیفی) و مجاورت (همسایگی مکانی) صورت می‌گیرد. ویژگی‌های مجاورت مکانی خود به دو دسته تقسیم می‌گردند، 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 پیکسل‌های مجاور هم می‌باشد، که برای این منظور از قطعات حاصل از قطعه بندی می‌توان استفاده نمود. از منظر دیگر در مورد حوزه های مورد بررسی، نحوه‌ی به کارگیری هر یک از توصیفگرهای کیفی در مراحل مختلف تحقیق حاضر، در شکل ۲ نشان داده شده است.

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 تلاش‌هایی 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 می‌نماید. 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 پیکسل‌ها 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 می‌توان به قطعات یا همان عناصر پردازشی اولیه جهت تفهیر دسترسی پیدا کرد.

۲-۲- تولید توصیفگر

کلاس‌های مورد نظر در فرآیند تفهیری با یکسری مفهیم محیطی در ارتباط است که برای شناسایی آن‌ها می‌توان از شاخص‌ها و توصیفگرهای کیفی استفاده نمود. برای نمونه برای تفکیک درختان، ساختمان‌ها و ... می-



شکل ۲- تولید توصیفگرهای مورد استفاده

۲-۲-۱- ویژگی های ناحیه مبنا

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

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

در معادله فوق $\tan^{-1} \left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right)$ یک معکوس از مقادیر ربع دایره ای است که مقادیر را در محدوده ی بسته $[180, -180]$ بر اساس مقادیر $\left(\frac{\partial Z}{\partial x}, \frac{\partial Z}{\partial y} \right)$ تصویر می کنند. ویژگی مورد استفاده دیگر تغییرات محلی^۱ است. برای این کار یک ماسک فیلتری با اندازه ی $m \times n$ تعریف می گردد. منطقه ای که ماسک فوق پوشش می دهد حوزه ی بررسی تغییرات را مشخص می نماید. داده های مورد بررسی یک سری داده ارتفاعی به صورت $X = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ تعریف می شود که $k = m \times n$ خواهد بود. ابعاد کرنل مورد استفاده در تحقیق از طریق رابطه ی $m = n = \text{round} (1 \text{ meters} / \text{pixel size})$ به دست می آید. البته با رعایت این قید که کوچک ترین ابعاد کرنل برابر 3×3 و ابعاد پیکسل در واحد متر می باشد.

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

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

اطلاعاتی منسوب به آن نخواهد شد؛ بنابراین برای مناطق با ارتفاع های هم اندازه، آنتروپی صفر است. به عبارتی در صورتی که ارتفاع همه پیکسل های 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 قابل ملاحظه در مقدار شدت روشنایی را می توان درخت و ... در نظر گرفت. نتیجه این کار فضاهای ویژگی خواهند بود که در جهت تمایز کلاس های مختلف تصویری می توانند مفید واقع گردند. در موارد فوق برای پیکسل های مرز تصویر، از پد متقارن^۲ استفاده گردید.

۲-۲-۲- ویژگی های قطعه مبنا

در حالی که بهبود حد تفکیک طیفی و فضایی می تواند تصویری بهتر از ناهمگونی شهری ارائه دهد، رویکرد شی-گرا نیز می تواند انعطاف بیشتری در انواع ویژگی های قابل استخراج ارائه کند. در این حالت، ورودی قطعات تصویر می باشند و سپس بر اساس برآیند خصوصیات پیکسل های داخل هر قطعه می توان روابطی ۲ و ۳ به دست آورد.

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

$n = \text{object_pixel}$

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

$k = 1 : \text{Feature_band}$

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

ویژگی دیگر مورد استفاده، تغییرات بردار نرمال در ریزقطعات تشکیل دهنده ی عوارض است. برای این کار ابتدا قطعات وارد می گردند، سپس برای هر قطعه اطلاعات مکانی و ارتفاعی تمامی پیکسل های آن استخراج می شوند. در ادامه برای قطعه ورودی بردار نرمال بر سطح آن قطعه محاسبه می گردد و در محل مرکز قطعه مورد نظر قرار می گیرند. در ادامه بردار گذرنده از هر نقطه ی آن قطعه نسبت به نقطه مرکزی محاسبه شده و زاویه ی آن نسبت به

^۲ symmetric padding

^۱ Local variance

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 حوزه‌ی رادیومتریکی نواحی آبی، پیکسل‌های دارای مقادیر منفی در NDWI نمی‌توانند آب باشند. پس از فیلتر مقادیر منفی نتیجه را بارسازی 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 ذکر شده 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 آنولوژی مورد کنترل و تصحیح بیشتر واقع گردند.

۳-۲-۳- 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

بردار نرمال قطعه اندازه‌گیری می‌گردد و این کار برای تمامی پیکسل‌های موجود در قطعه انجام شده 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 بیان شده است. برای شناسایی مناطق پوشش گیاهی از اندکس NDVI و SAVI استفاده شده است [۲۱]. برای شناسایی مناطقی که از لحاظ رادیومتریکی در تصاویر هوایی به جاده شباهت دارد از اندکس NDRI مقید استفاده شده است (رابطه ۵).

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

با توجه به اینکه حوزه‌ی رادیومتریکی نواحی جاده‌ای به‌طور معمول 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.

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 داده‌هایی 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 ساده‌شده‌ای 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 تدوین شده 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

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 به‌کار گرفته 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 انجام شده 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] استفاده شده 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

۲-۵- تصحیح داده‌های آموزشی حوزه شی‌مبنا

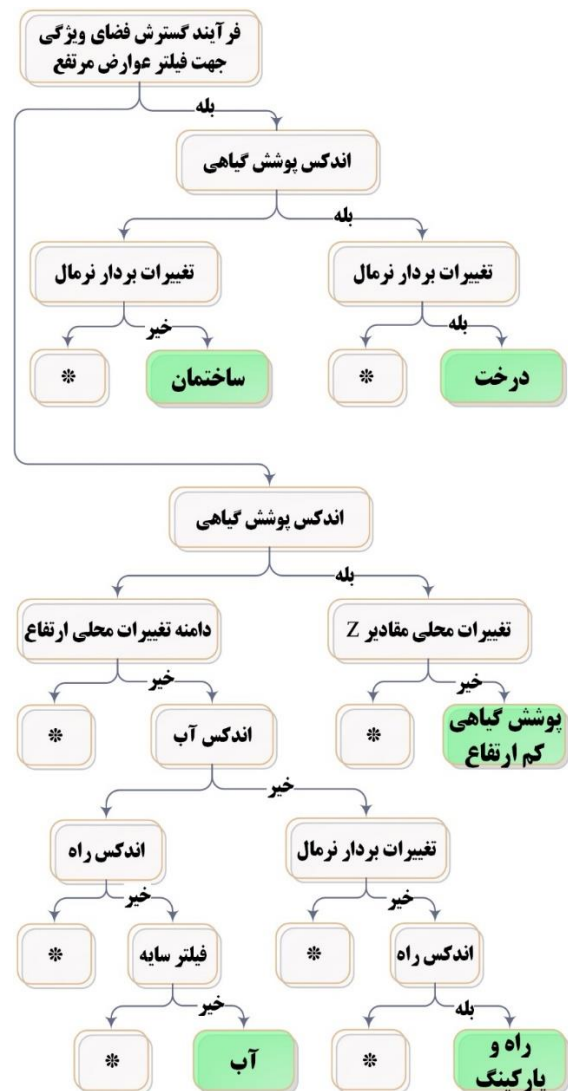
کلاس‌های اصلی تولیدشده (در بخش قبل) در فضای ویژگی تولیدشده توسط قواعد آنتولوژی تعیین شدند. در تعیین این کلاس‌ها طیف رنگی هر کلاس به صورت مستقیم وارد نشد، تا اینکه خروجی‌ها تا حد ممکن مستقل از ویژگی‌های منطقه‌ای و شرایط صحنه باشند. بدین معنی که ساختار قواعد تعیین‌شده جهت شناسایی عوارض بر اساس قواعد آنتولوژی کلی کلاس‌ها، در طبیعت تعیین شد؛ زیرا طیف‌های رنگی کلاس‌ها (ساختمان‌ها و ...) برحسب شرایط گوناگون (جغرافیایی، فرهنگی و ...) از تفاوت‌های زیادی در مناطق مختلف برخوردار است. اما در یک منطقه حوزه‌های طیفی معمولاً ساختارهای تکراری دارند. بر این اساس در این مرحله به تفکیک ساختارهای درون کلاسی پرداخته می‌شود. در ادامه این تصحیحات با مراحل تکمیلی دیگری ادامه می‌یابد که به اختصار در شکل ۴ نشان داده شده‌است.



شکل ۴- روند تصحیح داده‌های آموزشی حوزه شی مبنا

کلاس‌های ورودی، به صورت جداگانه از لحاظ تفکیک حوزه‌های طیف موردبررسی قرار می‌گیرند. از طرفی چون تفکیک رنگی کلاسی در مناطق قابل پیش‌بینی نیست، در نتیجه چگونگی تفکیک زیر کلاس‌ها بایستی در مواجهه با هر تصویر ورودی تعیین گردد. در تفکیک زیر کلاس‌ها باید به این موضوع توجه داشت که ماهیت کلاس‌های مختلف متفاوت است. برای نمونه در تفکیک بین کلاسی کلاس ساختمان به علت ساختار متفاوت و تمایزهای درون کلاسی از لحاظ ارتفاع، نوع سقف و رنگ، علاوه بر باندهای طیفی باند تغییرات ارتفاعی نیز به‌عنوان ورودی وارد شده است. و یا کلاس پوشش گیاهی غیر مرتفع به

شده است تا با محدود نمودن کلاس‌های تصویری، اجتناب از تفسیر نواحی دارای تشابهات تا حد زیادی بر این موضوع مدیریت ورزید. این روند بر اساس قواعد ذاتی و طبیعی کلاس‌ها طراحی شده است. در خروجی این مدل، کلاس‌های مختلف می‌توانند ویژگی‌های رادیومتریکی متفاوت (رنگ‌های مختلفی) داشته باشند. ساختار ارائه‌شده قصد طبقه‌بندی نهایی تصویر را نداشته و صرفاً یک برآورد اولیه جهت آموزش سیستم برای تولید یک مدل تفسیری نهایی را صورت داده است. این داده‌ها، نمونه‌های آموزشی جهت مرحله طبقه‌بندی می‌باشند. از آنجایی که ممکن است این داده‌ها از نظر درون کلاسی متشابه باشند بایستی یک مرحله‌ی فیلترینگ داده صورت پذیرد که در بخش بعد ارائه شده است.



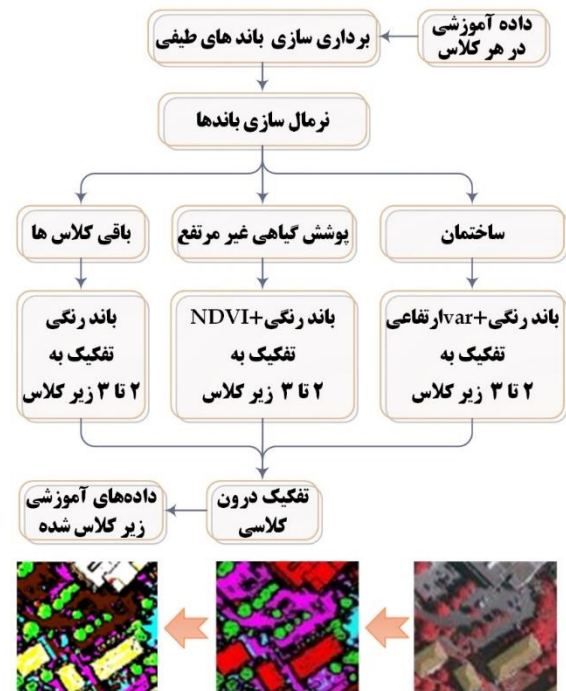
شکل ۳- کمیته‌سازی جهت تولید قوانین

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 برآزش 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].

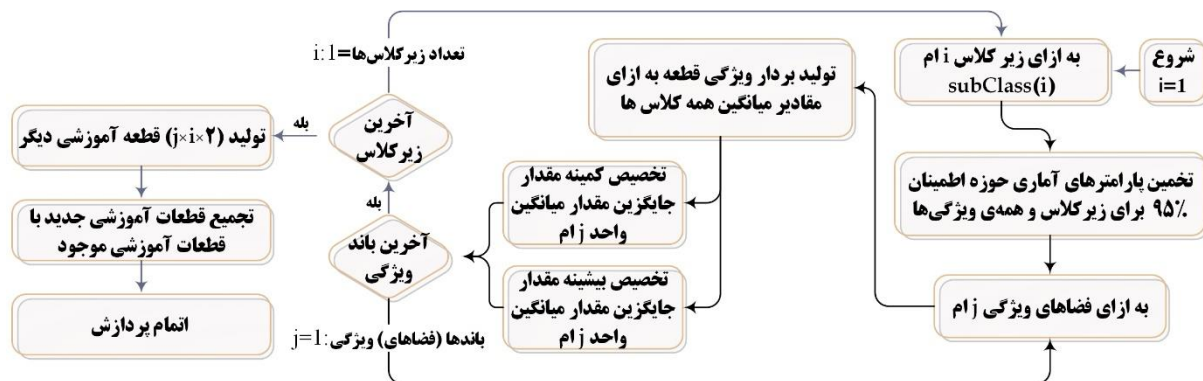


شکل ۵- تفکیک زیر کلاس ها

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

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

ویژگی قطعات آموزشی دیگر تولید شده است. با استفاده از این روش و تجمیع قطعات آموزشی جدید تولید شده و قطعات آموزشی که از مراحل قبل حاصل شده است، در همه‌ی زیرکلاس‌ها توزیع داده آموزشی در فضای ویژگی



شکل ۶- گسترش قطعات آموزشی

برای برخی از کلاس‌ها کوچک‌تر از آن باشد. بدیهی است در این حالت داده‌های آموزشی در فضای ویژگی، از توزیع مناسب برخوردار نبوده و به واسطه‌ی آن سیستم یادگیری نتواند به درستی کلاس‌های موردنظر را در فضای ویژگی از هم تفکیک نماید. اگر شبکه توزیع مستحکم باشد سیستم یادگیری بهینه آموزش دیده و سپس می‌توان از مدل آموزش دیده جهت پیش‌بینی برچسب سایر قطعات موجود اقدام ورزید. بر این اساس مراحل کنترلی و تصحیحی در مراحل قبل چه برای تولید قطعات آموزشی مناسب و چه برای توزیع مناسب این قطعات در نظر گرفته شد.

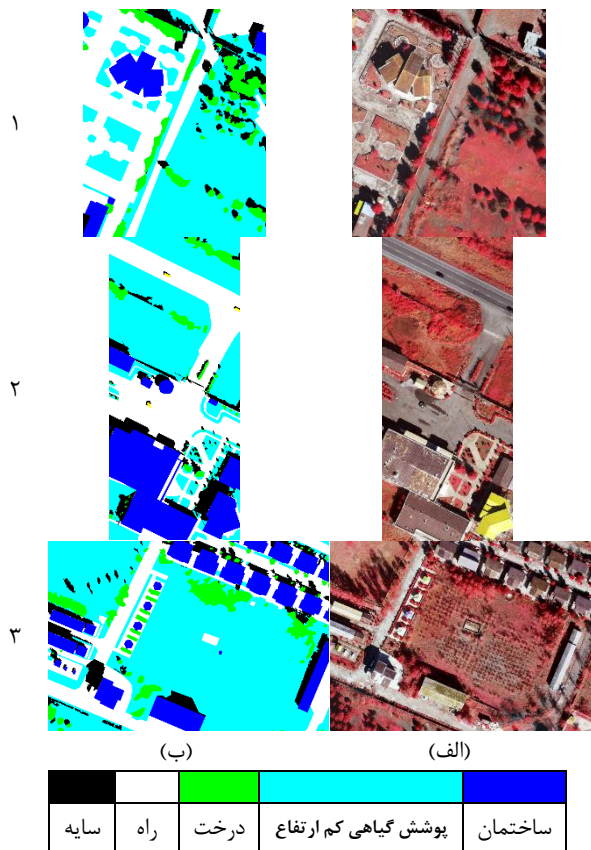
ویژگی‌های به کارگرفته شده در این تحقیق جهت طبقه‌بندی به نحوی انتخاب شده است که بتواند مکمل خوبی برای پوشش نواقص موجود در روند دانش پایه برای فسیر تصویر باشد. بر اساس اینکه انتخاب داده آموزشی در فرآیند دانش‌مبنا با تکیه بر دانش اخذ شده از خصایص فیزیکی حاکم بر کلاس‌های آموزشی صورت پذیرفته است، در طبقه‌بندی تأثیر حوزه طیف را بالا برده تا بتوان به صورت هیبرید و استفاده از همه‌ی ویژگی‌های موجود فسیری بهتری از تصویر داشت. بر این اساس علاوه بر فضای رنگی حاصل از سه باند قرمز، سبز و NIR، با تبدیل این فضا به فضای رنگی Hsv، سه ویژگی طیفی دیگر نیز به فضای (باند‌های) ویژگی اضافه می‌گردد. همچنین به منظور استفاده از نحوه‌ی چینش اطلاعات طیفی در فضای مکانی تصویر، دو بافت آنتروپی و واریانس تغییرات روشنایی از تصویر درجه خاکستری تولید شده از تجمیع وزن دار سه باند اصلی

۲-۶- طبقه‌بندی شی‌مبنا و کنترل

طبقه‌بندی تصاویر، به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی واحدهایی که دارای رفتار مشابه می‌باشند، اطلاق می‌گردد. در تصاویر سنجش از دوری به علت ابعاد بزرگ داده‌ها، فرآیند پردازش هزینه‌بر می‌باشد. از طرفی برای اخذ نتایج بهتر، استفاده از ویژگی‌های مختلف، در روند آموزش سیستم یادگیری توصیه شده 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 فسیر شده نهایی بیفزاید.

روندی داده‌های موجود برای طبقه‌بندی در این روش قطعات تصویری بوده و جهت آموزش نیز از قطعات آموزشی تولید شده 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 مادون‌قرمز 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 تصویر 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 ۲-۳ 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 ۲-۵ حالت خطی به جواب مناسب خواهد انجامید. تا در نهایت این روند هیبرید تعامل قواعد دانش‌مبنا و سیستم یادگیری SVM، به منظور تفسیر تصاویر با رفع نواقص یکدیگر جواب بهینه‌ای را منجر گردند.

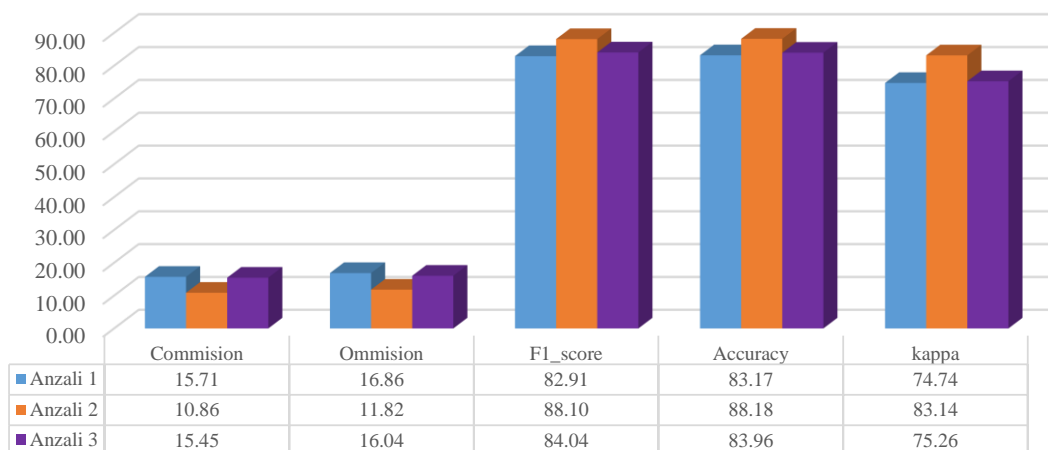
جهت کنترل روند، برای هر کلاس می‌توان از داده‌های حاصله از بخش ۲-۵ محدوده‌های اصلاح شده در فضای ویژگی برای تمام زیرکلاس‌ها را تولید نمود. در این مرحله، تصویر طبقه‌بندی شده به دست آمده جهت بررسی مجدد با هدف تکمیل مرحله کنترل فرآیند مورد بررسی قرار گرفت. این مرحله برای کلاس‌های مختلف در ویژگی NDVI، در ویژگی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

۳- نتایج و ارزیابی تحقیق

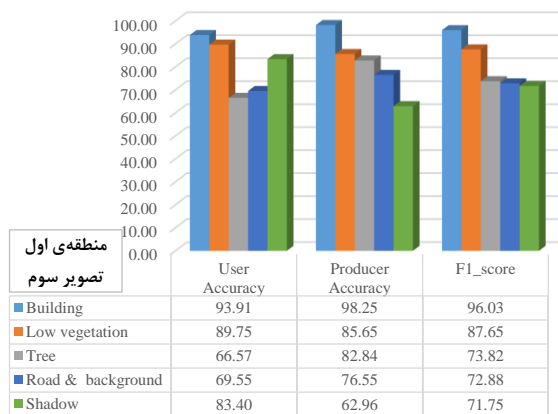
داده‌های مورد استفاده به مربوط ۲ منطقه جغرافیایی مختلف می‌باشد، در عین حال در هر منطقه جغرافیایی سعی شد تصاویر تست مختلف شامل عوارض و ویژگی‌های صحنه متفاوت انتخاب گردید. بر این اساس در منطقه اول سه تصویر تست اخذ شده توسط دوربین التراکم متعلق به منطقه‌ای در شمال ایران و شهرستان بندر انزلی می‌باشد (شکل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

شهری است. نتایج حاصله هیچ پس پردازشی بر روی آن‌ها صورت نگرفته‌شده است. مثلاً برای ساختمان‌ها جنرالیزاسیون و تنظیم گوشه‌ها و زوایا می‌تواند بر کیفیت نهایی بیفزاید. یا برای جاده‌ها اتصالات نواحی مختلف شبکه راه می‌تواند 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.

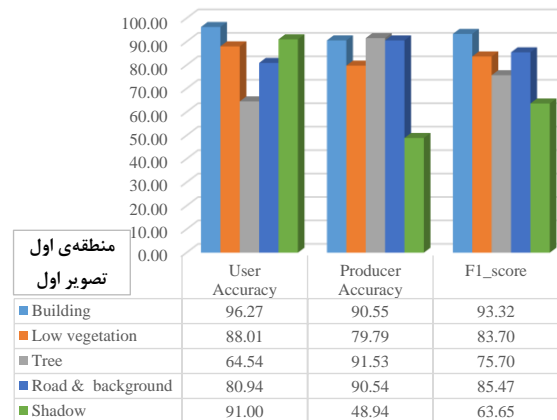
روش پیشنهادی برای تفهیر تصاویر التراکم در مناطق حومه‌شهری با پوشش گیاهی غالب طراحی شده است. نتایج عددی روش پیشنهادشده با داده‌های واقعیت زمین برای همه کلاس‌ها به صورت میانگین وزنی در شکل ۸ نشان داده شده است. به منظور بررسی این دقت‌ها در کلاس‌های جداگانه، به شکل ۹ نگاه کنید. در بازه‌ی کلاسی همان‌طور که از شکل پیداست بهترین دقت‌ها مربوط به ساختمان می‌باشد که جزو مهم‌ترین عارضه‌های



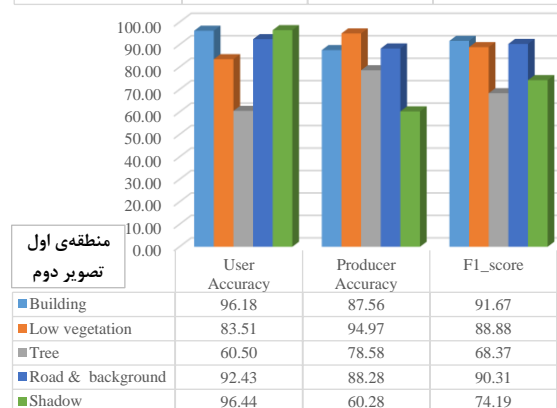
شکل ۸- نتایج ارزیابی روش پیشنهادی بر روی داده‌های انزلی



شکل ۹- خروجی روش پیشنهادی به ازای کلاس‌ها



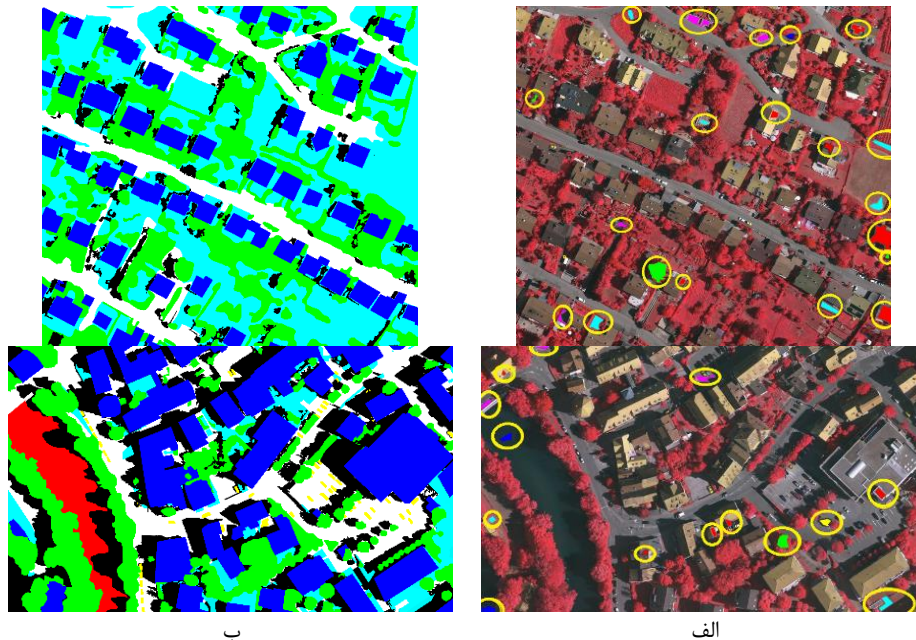
روش پیشنهادی بر روی تصاویر با وضوح بالای التراکم تست گردید. به منظور بررسی جامع بودن پیاده‌سازی، روش پیشنهادی بر روی تصاویر آزمایشی دیگری نیز مورد بررسی قرار گرفت که دارای ویژگی‌های مشابه از نظر نوع سنسور و نوع صحنه می‌باشند. بر این اساس روش پیشنهادی بار دیگر بر روی تصاویر تست منطقه دوم نیز ارزیابی شد (شکل ۱۰). علاوه بر این به منظور ارزیابی بیشتر، روش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. نخست روش با همین ویژگی‌ها با استفاده از داده‌های آموزشی که به صورت دستی اخذ شده‌اند مقایسه



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.

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 سنجنش‌ازدوری 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



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

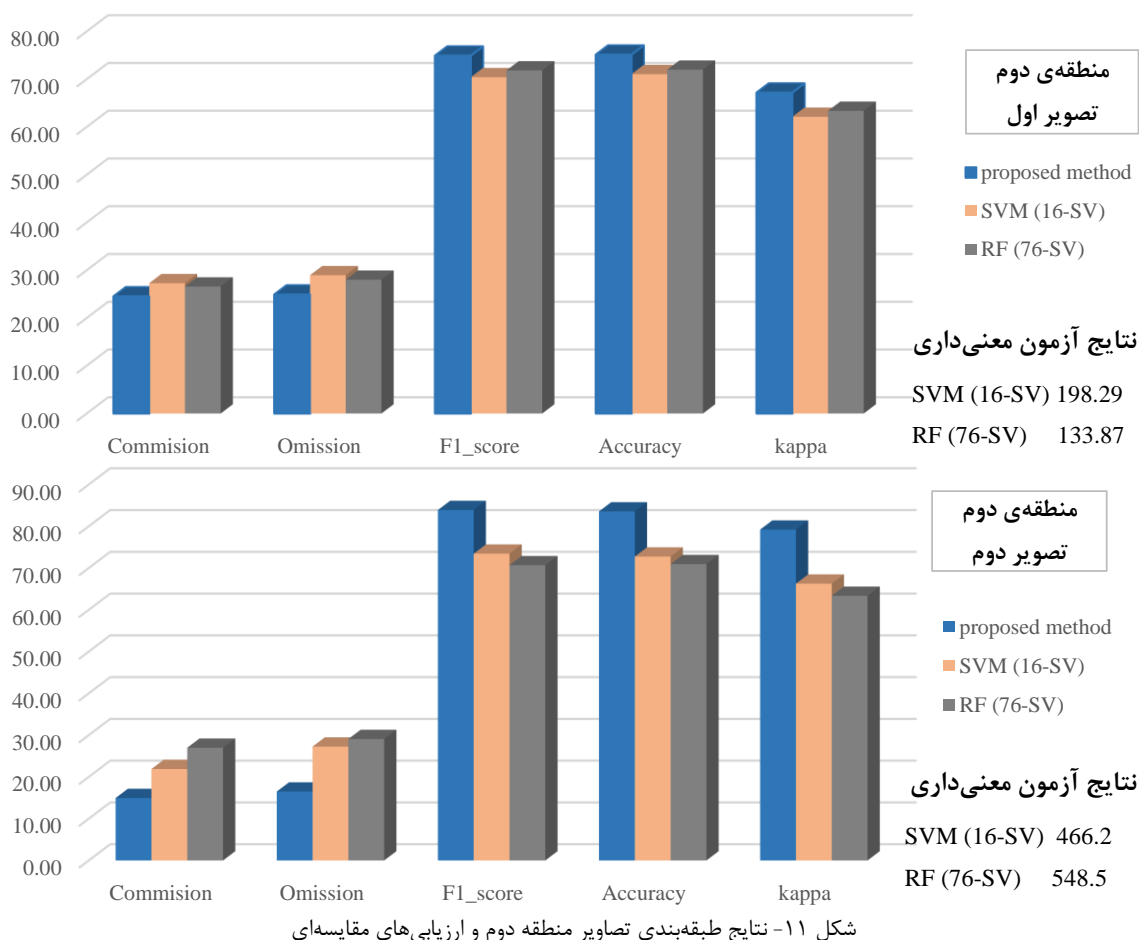
شکل ۱۰- داده‌های تست منطقه ۲، الف) تصاویر و داده آموزشی (بیضی‌ها نمونه‌های آموزشی روش‌های نظارت شده برای مقایسه می‌باشند)، ب) تصاویر واقعیت زمینی مربوط

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 این روی آزمون‌های آماری جهت سنجنش 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

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

معنی داری ۰.۹۵٪ پرداخته شد و نتایج هر از روش های مورد قیاس به صورت جداگانه با روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و خروجی بررسی در جدول پایین هر نمودار در



شکل ۱۱- نتایج طبقه بندی تصاویر منطقه دوم و ارزیابی های مقایسه ای

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 به دست آمده برای تمام تصاویر و انحراف معیار میانگین تمام مقادیر به دست آمده از روش پیشنهاد شده برای تصاویر آزمون در شکل ۱۲ نشان داده شده است. در این نمودار، دقت و واریانس تغییرات در نتایج به دست آمده در تمام پنج تصویر آزمایشی نشان داده شده است. این شکل خلاصه ای از نتایج تفسیری را در تصاویر آزمون نشان می دهد. نتایج عددی روش پیشنهاد شده بر روی تصاویر تست، کیفیت مناسب آن

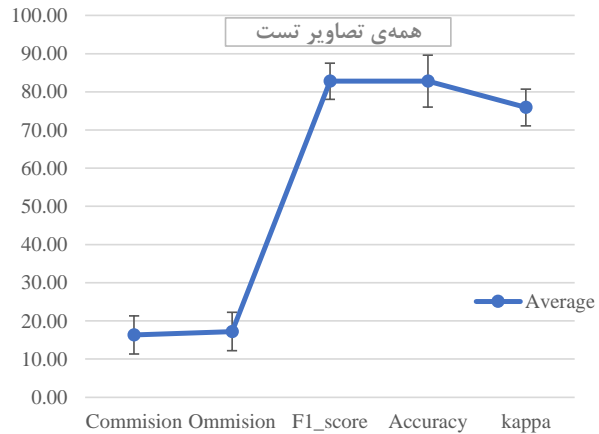
تا پیش از این، روش پیشنهادی ابتدا در داده های آزمون (تصاویر انزلی) اجرا شد و صحت تمام تمایز کلاس و کلاس برای سه صحنه مختلف با کلاس ها با خواص ساختاری مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس به منظور ارزیابی یکپارچگی سیستم و توانایی اجرا بر روی تصاویر مشابه از نظر سنسور و نوع صحنه، تصاویر واهینگن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، جهت ارزیابی صحت روش مبتنی بر دانش برای گسترش فضای ویژگی، و نیز ارزیابی عملکرد سیستم، با روش های معمول استخراج ویژگی و سپس انتخاب و طبقه بندی ویژگی ها مقایسه شد. در این بخش، به منظور بررسی دقت روش پیشنهادی برای اجرای مرحله نظارتی، ابتدا روش پیشنهاد شده یک بار به طور کامل اجرا شد. یک بار دیگر، تا مرحله نظارتی پیاده سازی می شود. 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 فوریه 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 عارضه‌منا 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 پیش‌بینی 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. با این 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

- [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. 268-29.۲۰۱۴, 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.