



تفسیر شی‌مبنای تصاویر سنجش‌ازدوری با حد تفکیک بالا بر مبنای سیستم‌های دانش‌پایه

عباس کیانی^{۱*}، حمید عبادی^۲، حکمت‌الله خانلو^۳

۱. دانشجوی دکتری فتوگرامتری، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۲. استاد گروه فتوگرامتری و سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
۳. کارشناسی ارشد ژئودزی، گروه نقشه‌برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۷

چکیده

طبقه‌بندی پوشش اراضی در تصاویر سنجش‌ازدور، یکی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات مکانی است که می‌تواند با تولید کلاس‌های تصویری عوارض سطح زمین به‌منظور اتوماسیون و تسریع در جهت رفع نیازهای اساسی برای در اختیار داشتن اطلاعات مکانی به‌نگام از منابع، با هدف مدیریت، ساماندهی و بهره‌برداری از محیط مفید واقع شود. به دلیل مشابهت رفتار پیکسل‌ها، طبقه‌بندی تصاویر هوایی در مناطق پیچیده و مترکم شهری، صرفاً با استفاده از اطلاعات طیفی و بافتی منجر به ناکارآمدی طبقه‌بندی می‌شود. به عبارتی در طبقه‌بندی رایج، عمدتاً با استفاده از خصوصیات طیف و ویژگی‌های پیکسل‌های تصویر، به شناسایی عوارض و کلاس‌ها پرداخته می‌شود. در صورتی که بتوان تطابق مکانی و مفهومی پیکسل‌ها را نیز در نظر گرفت، به این ترتیب می‌توان تمایز بیشتری بین کلاس‌های تصویری قائل شد و فرآیند ماشینی را به تفسیر ذهنی و انسانی نزدیک کرده و بر کارایی سیستم افزود. تمرکز اصلی تحقیق حاضر، استفاده از مفاهیم سیستم‌های خبره در طبقه‌بندی، به‌منظور آنالیز شی‌گرای تصاویر در سطوح مقیاس کلاسی است. به همین دلیل، با وارد نمودن قوانین دانش‌پایه به‌منظور کنترل هدفمند و قانونمندسازی روند توأمان قطعه‌بندی و تفسیر تصویر، با در نظر گرفتن ویژگی‌های هندسی کلاس‌های هدف، بهبود دقت را منجر شود. برای بررسی کارایی تکنیک پیشنهادی، ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی با چند روش دیگر بر روی تصاویر ماهواره‌ای IRS در منطقه شهری جزیره کیش صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق، نشان می‌دهد ویژگی‌های هندسی و مفهومی می‌توانند به‌عنوان منبع اطلاعاتی مکمل، سبب بهبود نتایج طبقه‌بندی در منطقه شهری با عوارض ناهمگون طیفی شوند. به‌طوریکه در بررسی مورد اشاره، صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸ درصد و ۱۱/۵ درصد افزایش پیدا کرده‌اند.

کلید واژه‌ها: طبقه‌بندی، تصاویر حد تفکیک بالا، سیستم دانش‌پایه، تفسیر عارضه‌مبنا

*نویسنده عهده دار مکاتبات: تهران، خیابان ولی عصر (عج)، تقاطع میرداماد، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه‌نصیرالدین طوسی، کد پستی: ۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷

Email: abbasekiani@yahoo.com

۱- مقدمه

تفسیر به صورت کمی در سطح پیکسل، به دلیل سطوح مختلف ادراک تفاوت‌هایی مشاهده شده است. درحقیقت، اطلاعات معنایی همیشه به‌وضوح در تصویر، موجود نیست و به حوزه دانش و مفاهیم بستگی دارد. این مسئله به‌عنوان شکاف شناخته شده است و به‌عنوان عدم تطابق بین اطلاعات سطح پایین (یعنی به صورت خودکار از تصاویر استخراج شده) و اطلاعات سطح بالا (یعنی توسط کارشناسان شهری تجزیه و تحلیل شده) تعریف شده است (Matsuyama and Hwang, 1990). به‌منظور کاهش شکاف معنایی، روش‌های تجزیه و تحلیل تصویر با استفاده از روش‌های مبتنی بر شیء گسترش پیدا کرده است (Costa et al. 2017; McKeown 1994).

سیستم‌های درک تصاویر هوایی معمولاً شامل یک مجموعه گوناگون از دانش می‌شوند که عناصر آن را می‌توان درون گروه‌های مربوط به شیء و تصویر دسته‌بندی کرد. عناصر مربوط به شیء را می‌توان به صورت یکی از سه فرم، مشخصات ذاتی^۱ (مثل اندازه، شکل شیء و غیره)، دانش رابطه‌ای که روابط مکانی پیش‌بینی شده بین مجموعه اشیایی با کلاس‌های مختلف را تعریف می‌کند و دانش رویه‌ای^۲ که معمولاً به فرم "اگر و آنگاه" هستند و شروطی را برای تست یک فرضیه در برچسب‌گذاری تحمیل می‌کنند، نیز دسته‌بندی نمود. در این راستا سامانه‌های خبره، معمولاً اطلاعات را به شکل واقعیات و قواعد در داده‌هایی به نام پایگاه دانش به شکل ساختارمند ذخیره نموده و سپس با استفاده از روش‌های خاص استنتاج از این داده‌ها، نتایج موردنیاز حاصل می‌شود (Tarus et al. 2017). به‌طورکلی، کسب دانش از حوزه خبره دشوار است.

در دهه اخیر، با پیشرفت تکنولوژی‌های تصویربرداری و وجود تصاویر با قدرت تفکیک بالا، به‌کارگیری روش‌های سنجش‌ازدوری به‌منظور تولید اطلاعات مکانی برای مدیریت و برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان به امری رایج بدل شده است (Lv et al. 2018; Ma et al. 2017). در این راستا، طبقه‌بندی خودکار تصاویر می‌تواند با تولید کلاس‌های تصویری عوارض در سطح زمین، به‌منظور اتوماسیون و تسریع در جهت رفع نیازهای اساسی مدیریت با هدف ساماندهی و بهره‌برداری از محیط، مفید واقع شود. از طرفی به دلیل مشابهت رفتار طیفی پیکسل‌ها، طبقه‌بندی تصاویر در مناطق پیچیده و متراکم شهری با استفاده از صرفاً اطلاعات طیفی منجر به کاهش دقت می‌شود (Herold et al. 2003). به‌منظور رفع ضعف فوق، می‌توان علاوه بر باندهای طیفی، از آماره‌های بافتی و ارتفاعی نیز استفاده نمود. با این حال، به دلیل تنوع بالای عوارض موجود همچنان صحت روش‌های طبقه‌بندی موجود در مناطق شهری در حد مطلوبی قرار نداشته و نیازمند توسعه است (Yan et al. 2015). در نظام کلاسه‌بندی و برچسب‌دهی عوارض در سیستم تفسیری انسان، علاوه بر ویژگی‌های نام برده شده، مفاهیم نیز ورود پیدا می‌کنند. به‌عبارتی می‌توان گفت طبقه‌بندی هوشمند تصویر، یک کار دشوار است و می‌تواند به‌عنوان استخراج اطلاعات معنایی تصویر (اطلاعات متنی و مفهومی از عوارض تصویری) تعریف شود که در آن سعی در به دست آوردن اطلاعات مفید مکانی و موضوعی در اشیاء با استفاده از دانش و تجربه انسان شده است (Cui et al. 2018; Matsuyama 1987). در این حوزه، در تفسیر بصری از اطلاعات طیفی و

مثال، (Fonseca et al. 2002) نظریه در مورد ساخت و استفاده از آنتولوژی‌ها در سطوح مختلف سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطرح نمود. آن‌ها یک GIS مشتق شده از آنتولوژی را پیشنهاد کردند که به‌عنوان یک سیستم تلفیقی عمل می‌کند. در این سیستم، آنتولوژی مؤلفه‌ای نظیر پایگاه داده است که برای تأمین اهداف سیستم همکاری می‌کند. از تحقیقات جدیدتر در حوزه‌ی GIS می‌توان به تحقیق نیارکی و همکاران اشاره نمود (Jelokhani-Niaraki et al. 2018).

در زمینه سنجش‌ازدور، خلیفا و همکاران (2012) یک تکنیک داده‌کاوی را برای سازه‌های مسکونی (شهرک‌ها) غیر برنامه‌ریزی شده بر اساس هستی‌شناسایی ارائه کردند. در این تحقیق مناطق غیر برنامه‌ریزی شده از طریق تجزیه و تحلیل قطعات خطی غیرمنظم، شناسایی و از تصویر ورودی جدا شدند. در نهایت یک آنتولوژی ساده بر اساس مراحل پردازش قبلی ساخته شد. در (Almendros-Jiménez et al. 2013) یک چارچوب برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش‌ازدور مربوط به مناظر اقیانوسی بر مبنای آنتولوژی ایجاد شده است، که در آن چگونگی ساخت مدل آنتولوژی برای سطوح بالا و پایین ویژگی‌ها و سیستم‌های مبتنی بر قواعد خبره را ارائه نموده‌اند. بلژی و همکاران (2014) یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر آنتولوژی برای استخراج انواع ساختمان با داده‌های اسکن لیزر هوائی استفاده کردند. لو و همکاران (2016) یک چارچوب مبتنی بر آنتولوژی را ایجاد کردند که برای استخراج اطلاعات پوشش زمین در هنگام طبقه‌بندی تصاویر با حد تفکیک بالا در سنجش از راه دور استفاده شد. در این تحقیق، برای پوشش زمین دقت کلی ۶۵/۰۷ درصد حاصل شد. نویسندگان اظهار داشتند

کارشناسان به‌ندرت قادر به عرضه شرح صریح از دانش خود برای شناسایی اشیاء به‌طور مستقیم هستند و این یک مشکل شناخته‌شده در جامعه هوش مصنوعی است. یکی از راهکارهای مناسب به‌منظور ارائه دانش، استفاده از مفاهیم آنتولوژی است. همان‌طور که در (Gruber 1995) تعریف شده است، آنتولوژی یک انطباق از مفاهیم است. در حقیقت آنتولوژی یک راهنما، برای توصیف کمی تصویری از کلاس‌های مدنظر فراهم می‌کند. آنتولوژی در فلسفه غرب به وجود آمد و سپس در سیستم‌های هوش مصنوعی به‌ویژه در حوزه مالتی‌مدیا استفاده شد. در زمینه ژئوماتیک، آنتولوژی ابتدا به GIS معرفی شد (Agarwal 2005). به تازگی، محققان به اهمیت استفاده از آنتولوژی در زمینه سنجش‌ازدور، به‌ویژه در تفسیر تصویر سنجش از راه دور، اهمیت داده‌اند.

در (Zlatoff et al. 2004)، روابط فضایی بین مفاهیم، برای ادغام مناطق و بازشناسی اشیاء به‌کاربرده شده است. استفاده مطلق از روابط فضایی در مورد تصاویر سنجش‌ازدور امکان‌پذیر نیست. این کار به اختلافات بین حوزه دانش و رویه‌ها اشاره می‌کند. در (Eric 2008) (Maillot and Thonnat)، یک سیستم بازشناسی و یادگیری شیء بر مبنای آنتولوژی برای تحلیل تصاویر در حوزه مالتی‌مدیا پیشنهاد شده است. توصیف‌گرهای به‌کاررفته برای انطباق، وابسته به مفاهیم بصری هستند که در طول فاز یادگیری به دست آمده‌اند. مؤلفین اظهار می‌دارند که انطباق کلی، سلسله‌مراتب آنتولوژی را لحاظ می‌کند. این نوع سیستم، نیازمند مرحله یادگیری وقت‌گیر است. در حوزه‌ی GIS، پیشنهادات مختلفی، مشتمل بر ساخت یک آنتولوژی وجود دارد. به‌طور

الگوریتم‌های قطعه‌بندی تصویر، تولید اجسامی است که مطابق با اشیاء هدف هستند، اما در واقع قطعه‌بندی یک مشکل حل‌نشده در تحلیل شی‌مبنا باقی‌مانده است (Arvor et al. 2013). علاوه بر این، بسیاری از الگوریتم‌های قطعه‌بندی موجود، نیازمند تنظیم پارامترها توسط کاربر برای استخراج اشیاء خاص موردنظر هستند (Hay et al. 2005)، که بدان معنی است که قطعه‌بندی تصویر یک روند دستی و سعی و خطا است (Arvor et al. 2013). تلاش‌هایی به‌منظور توسعه روشی برای شناسایی پارامترهای قطعه‌بندی بهینه صورت گرفته‌اند که به دو صورت نظارت‌شده و یا بدون نظارت هستند که تا حدی به‌صورت خودکار نیز انجام می‌شوند (Belgiu and Drăguț 2014). اما با توجه به تنوع اشیاء در دنیای واقعی، به‌ویژه در مناطق شهری، استفاده از یک سطح قطعه‌بندی برای مواجهه با همه نوع از عوارض (کلاس‌ها) دشوار است. این روش‌ها وقتی هدف تعیین یک کلاس مشخص مانند ساختمان باشد مناسب است، اما در روش‌هایی که قطعه‌بندی تمام عوارض مدنظر باشد کارایی مناسبی نخواهند داشت و امکان ایجاد خطای فراقطعه‌بندی¹ را نیز ممکن است افزایش دهند.

هدف این پژوهش، استفاده از مفاهیم تحلیل عارضه‌مبنا و به‌کارگیری سیستم‌های خبره به‌منظور قانون‌مندی سازی روند قطعه‌بندی در سطح مقیاس کلاسی است. بدین منظور، با توجه به نیازهای طبقه‌بندی شی‌مبنا و لزوم تلفیق قطعات کلاس‌های صحنه در سطوح کلاس‌های طبقه‌بندی، با استفاده از مفاهیم کلاسی و هندسه گروه کلاس‌های تصویر از طریق تلفیق روند قطعه‌بندی با اطلاعات تفسیری و نیز تصمیم‌گیری، وزن‌دهی شده و

که گرچه دقت حاصله بسیار زیاد نیست، اما استفاده از آنتولوژی به‌طور قابل‌توجهی باعث بهبود خروجی استخراج شده متناسب با واقعیت شده است به‌شکلی که اغلب در کار عملی موردنیاز است، به‌ویژه اینکه پردازش پس از طبقه‌بندی در مطالعه مورد اشاره اعمال نمی‌شود.

از طرفی همه الگوریتم‌های شناختی موجود تا حد زیادی متکی به نحوه تشخیص اولیه و استخراج صحیح، حدود عوارض و اشیاء تصویری در قطعه‌بندی هستند و خطاهای ناشی از این مرحله می‌تواند در نتایج، تأثیرات منفی ایجاد کند. در (Forestier et al. 2012)، یک روش برچسب‌دهی اشیاء از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از مفاهیم فرموله شده در یک پایگاه دانش استفاده شد. در این روش، ابتدا یک الگوریتم قطعه‌بندی، برای به‌دست آوردن اشیاء از تصویر اعمال شد. پس از آن، روند تطبیق محاسبه شباهت بین ویژگی‌های اشیاء و مفاهیم در پایگاه دانش صورت پذیرفت. اشیاء پس از آن با مفهوم داشتن بالاترین امتیاز شباهت برچسب شده است، همچنین جهت قطعه‌بندی، یک فرآیند نظارت‌شده را پیشنهاد نمودند. در (Andres et al. 2012) از استدلال منطقی به‌منظور برچسب‌دهی به اشیاء استخراج‌شده از تصاویر استفاده شد. آن‌ها همچنین برای استخراج اشیاء از قطعه‌بندی تصاویر استفاده کردند. این روش‌ها بر دانش متخصصان، برای تفسیر معنایی از اشیاء استخراج تکیه می‌کنند. باین‌حال، هیچ‌یک از آن‌ها به‌صورت تلفیقی با خوشه‌ها یا قطعه‌بندی پیش نمی‌رود. آن‌ها تنها بر روی اشیاء از پیش استخراج‌شده از تصاویر، تفسیر را انجام داده، و فرآیند قطعه‌بندی را هدایت نمی‌کنند. هدف ایده‌آل

1 Under-segmentation

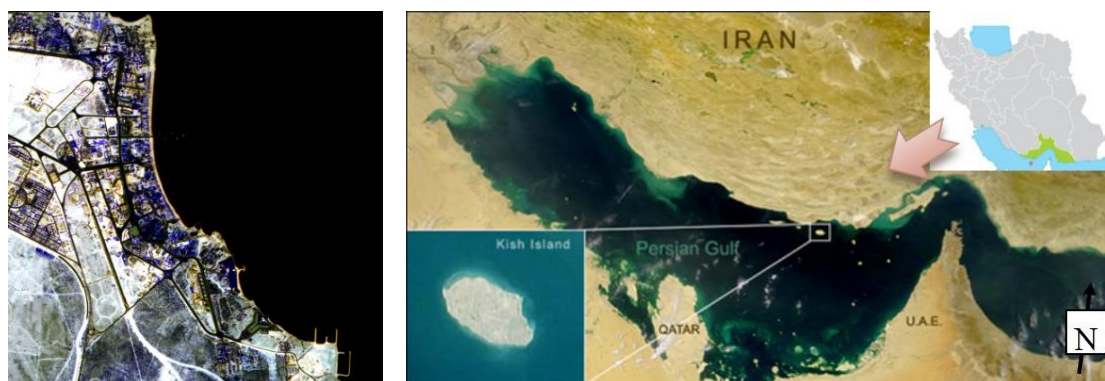
قدرت تفکیک مکانی آن‌ها بین ۱ و ۵ متر است، طراحی شده است. در برخی تحقیقات اخیر، این داده‌ها را تصاویر با رزولوشن متوسط نیز نام‌گذاری کرده‌اند. تصویر تست مورد استفاده در این پژوهش، شامل تصویر ماهواره‌ای اخذشده با سنجنده IRS (LISS-4) و سه باند سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به همراه داده‌های ارتفاعی متعلق به منطقه‌ای در حوزه خلیج فارس و شهر کیش است (شکل ۱-الف). از آنجایی که باندهای طیفی این تصویر، شامل باند آبی نبود با جایگزینی باند مادون‌قرمز به جای آن، تصویر رنگی کاذب آن در شکل ۱-ب نشان داده شده است.

ارائه روشی مناسب برای پایش و کنترل در سطوح مقیاس کلاسی مدنظر قرار می‌گیرد. در نهایت معماری سیستم مورد نظر، بر اساس این مفاهیم بنا شد. نتایج طبقه‌بندی تصویر تست نیز با روش‌های مختلف مورد ارزیابی و قیاس قرار گرفته و در نهایت روش پیشنهادی در ارزیابی‌های نسبی عملکرد مناسبی داشته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده

این پروژه از طریق کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب، اجرا شده است. روش پیشنهادی بر روی داده‌هایی که



شکل ۱. (الف) منطقه جغرافیایی تصویر، (ب) تصویر مورد استفاده (ترکیب رنگی کاذب).

توصیف کمی تصویری از کلاس‌های مدنظر فراهم می‌کند. در ادامه برخی از این مفاهیم ارائه شده است. مفاهیم رنگ می‌تواند سه نوع از مفاهیم رنگ، روشنایی و اشباع را شامل شود. برای هر یک از این مفاهیم نیز دسته‌بندی‌های مختلفی در (Maillot and Thonnat 2008) برشمردند که در نهایت ترکیب خاصی از این مجموعه مفاهیم یک معنی ادراکی است. در سنجش‌ازدور نیز این مفاهیم با توجه به کلاس‌های

۲-۲- مسائل مهندسی دانش

یکی از راهکارهای مناسب برای ارائه دانش، استفاده از مفاهیم آنتولوژی است. همان‌طور که در مقدمه بیان شد آنتولوژی یک انطباق از مفاهیم است. بر اساس این تعریف، آنتولوژی از مجموعه‌ای از مفاهیم به‌عنوان مثال مفاهیم هندسی، مجموعه‌ای از روابط به‌عنوان مثال روابط فضایی و مجموعه‌ای از قواعد بدیهی^۱ تشکیل شده است. در حقیقت آنتولوژی، یک راهنما برای

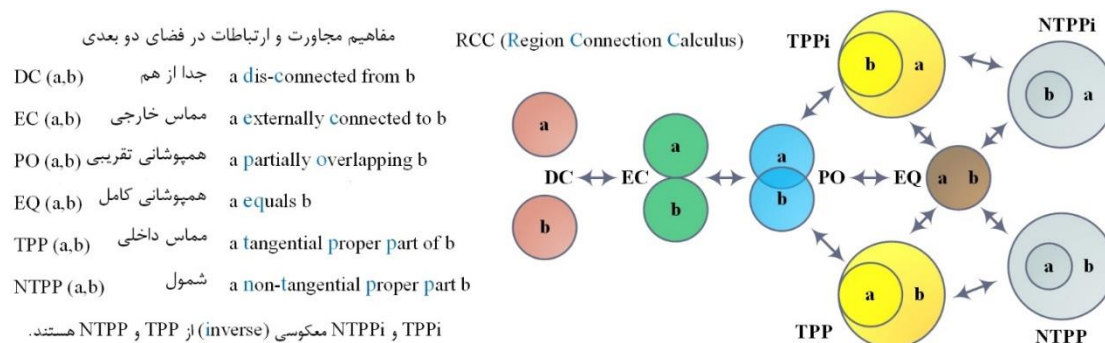
1 axioms

ممکن است به‌عنوان بافت متوسط در نظر گرفته و علف هرز با بافت خشن در تصاویر سنجش‌ازدوری ظاهر شود (هرچند همیشه استثنا وجود دارد). چنانچه این نمونه نشان می‌دهد، تصویر بافت شامل زمینه مکانی است؛ بنابراین نمی‌توان مفهوم آن را در یک پیکسل یا نقطه جستجو نمود (Hay et al. 1996). فرم قوی‌تر از تصویر بافت از تعامل فضایی عوارض تصویری همسایه ایجاد می‌شود (Powers et al. 2012) که در تحلیل‌های عارضه‌مبنا صورت می‌پذیرد.

بخشی از سلسله‌مراتب مفاهیم، خصوصیات هندسی است که می‌تواند برای توصیف شکل اشیاء مورد استفاده قرار گیرد که در (Di Sciascio et al. 2002) به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته شده است. سه بخش دیگر از این آنتولوژی، حاوی موقعیت، جهت و اندازه مفاهیم است. همچنین مجموعه‌ای از روابط فضایی (Cohn and Renz 2008) است که می‌تواند برای تعریف روابط بین اشیاء مانند مجاورت، شمول و ... مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۲).

مدنظر قابل‌تعریف است. برای نمونه، مقادیر کمی به‌منظور شناسایی عوارض با جنس‌های متفاوت و منحصربه‌فرد که در انواع تصاویر، چارچوب تقریباً منظمی دارند، قابل‌استفاده است. رنگ‌های مختلف، برای نمونه قطعات با رنگ خاکی، یا رنگ تیره مربوط به آسفالت جاده‌ها و ... توسط تعریف مفاهیم در حوزه‌های رنگی قابل‌تعریف خواهد بود.

آزمایش‌های انجام‌شده در (Rao and Lohse 1996)، ابعاد اصلی در فرآیند شناختی ادراک بافت را ارائه می‌نماید. در سنجش‌ازدور نیز بافت تصویر به فرکانس‌های خاصی از تغییر در تن و ترتیبات مکانی تصویر اشاره دارد. در محیط طبیعی یا نزدیک به طبیعی، تغییرات، ممکن است فازی و یا با شیب ملایم باشد. این امر، منجر به مشکلاتی برای یک فرایند طبقه‌بندی خواهد شد که باعث تصمیم‌گیری‌های شکننده می‌شود. برای تفسیر انسان از تصاویر، این تصور بصری صافی^۱ یا زبری^۲ منطقه یک نشانه مهم است. به‌عنوان مثال، آب معمولاً بافت همواری دارد؛ چمن



شکل ۲. مجموعه‌ای از روابط فضایی براساس مدل RCC-8 (Cohn and Renz 2008)

تفاوت‌هایی وجود دارد. روش‌های پیکسل‌مبنا، دانش ضمنی خود را با دانش صریح به‌دست‌آمده از شرایط

در فرم کلی، بین تفسیر بصری از اطلاعات طیفی و تفسیر معنایی پیکسل به دلیل سطوح مختلف ادراک،

2 roughness

1 smoothness

بخش‌بندی تصویر به مناطق همگن صورت می‌گیرد تا عملیات تفسیر به‌جای پیکسل‌های تصویری بر روی این نواحی صورت پذیرد.

۳- روش پیشنهادی

کارآمدی وظایف تحلیل تصویر، در انتخاب پارامترهای پردازش و هم در اجرای روند پردازشی است (Guindon 1997). در نتیجه، کنترل و انتخاب فرآیندی که بتواند تمامی این اولویت‌ها و مراحل را به‌صورت یکپارچه و سازمان‌یافته هدایت کند خود یک چالش مهم است.

در این تحقیق، هدف، طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم تفسیری به‌منظور استفاده از مفاهیم سیستم‌های خبره در طبقه‌بندی شیء‌گرایی تصاویر در سطوح مقیاس کلاسی تصاویر است. بدین منظور با وارد نمودن قوانین دانش‌پایه به‌منظور کنترل هدفمند و قانونمندسازی روند توأمان طبقه‌بندی و تفسیر تصویر، با در نظر گرفتن ویژگی‌های هندسی کلاس‌های هدف بهبود دقت را منجر می‌شود. بر این اساس، فلوچارت روش پیشنهادی به صورت کلی در شکل ۳ ارائه شده است. مطابق فلوچارت، ابتدا براساس نوع داده، ورودی پیش‌پردازش‌های موردنیاز صورت پذیرفته و به‌موازات مهندسی دانش و ایجاد پایگاه دانش صورت می‌پذیرد. در ادامه برحسب توصیف‌گرهای موجود، اقدام به تولید فضاهای ویژگی مختلف نمود. در بخش بعد، یک الگوریتم تفسیری ترکیبی، باهدف ترکیب فرآیندهای تحلیل عارضه‌مبنای دانش‌پایه و پیکسل‌مبنای SVM که در آن الگوریتم‌های تصمیم‌گیری و کنترل، جهت تعیین مطابقت میان عوارض و بهبود دقت تعلق کلاسی آن‌ها

آموزش رسمی (به‌عنوان مثال رفتار طیفی از پوشش گیاهی) محدود شده می‌بینند. به‌منظور کاهش شکاف معنایی، روش‌های تجزیه و تحلیل تصویر با استفاده از روش‌های بر مبنای منطقه (یا مبتنی بر شیء) گسترش پیدا کرده است (McKeown 1994). با توسعه روش‌های آنالیز شیء‌گرایی تصاویر، نقطه‌ضعف روش‌های مبتنی بر پیکسل، رفع شده و طیف وسیعی از اطلاعات طیفی، متنی، ساختاری و مفهومی از عوارض تصویری فراهم شد. در عین حال باید توجه داشت که طبقه‌بندی یک مسئله، بد وضع است چرا که هیچ جواب یکتایی برای آن وجود ندارد. لذا با توجه به پارامترهای پردازشی مدنظر کاربر و ملزومات کاربردی پژوهش‌های مختلف، روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی تصاویر قابل‌استفاده خواهد بود. این روش‌ها وقتی هدف، تعیین یک کلاس مشخص مانند ساختمان است مناسب هستند (Belgiu and Drăguț 2014)، اما در روش‌هایی که طبقه‌بندی تمام عوارض مدنظر باشند کارایی مناسبی نخواهند داشت؛ و با توجه به بالا بودن تنوع کلاسی عوارض سنجش‌ازدوری همچنان نمی‌توانند در این تصاویر راه‌گشا باشند و در اکثر موارد، رسیدن به طبقه‌بندی ایده‌آل ممکن نیست و نواحی استخراج‌شده بیشتر یا کمتر از مقدار صحیح رشد می‌کنند. خطای فرا-طبقه‌بندی در فرآیندهای پردازشی بعدی قابل تصحیح نیست و خطای وارده در مراحل بعدی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اما تا زمانی که زیرطبقه‌بندی^۱ در سطح قابل‌قبول باقی می‌ماند، نقص در طبقه‌بندی را می‌توان رد کرد، به‌طوری‌که سطح بالایی از دقت طبقه‌بندی هنوز هم می‌تواند به دست آورد. براین اساس، در روند پیشنهادی تحقیق حاضر، با اتکا بر این موضوع، ابتدا یک طبقه‌بندی اولیه به‌منظور

1 under-segmentation

برسند. در انتها با استفاده از داده واقعیت‌زمینی، خروجی روش پیشنهادی ارزیابی خواهد شد. در ادامه در این بخش جزئیات بیشتری از هر یک از این مراحل بیان خواهد شد.

ارائه می‌شود، طراحی شد. همچنین روند قطعه‌بندی نیز همزمان با روند تفسیری و براساس ویژگی‌های گروه کلاس‌های تفسیری، تکامل‌یافته تا به سطح عوارض



شکل ۳. فلوچارت روش مورد استفاده

۳-۱- پیش‌پردازش و تکمیل پایگاه داده

در این قسمت، ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم مانند تصحیح رادیومتریکی و هندسی تصویر بر روی داده‌های ورودی صورت گرفته و سپس ویژگی‌های مورد نظر از تصویر استخراج می‌شوند. همچنین قطعه‌بندی سطح

پایین اولیه به‌منظور استخراج ریز عارضه‌های اولیه و استخراج حدود تغییرات از داده‌های آموزشی به‌منظور آماده‌سازی و شکل‌دهی پایگاه داده نیز صورت می‌پذیرد. درعین‌حال عملیات جمع‌آوری دانش به‌منظور تکمیل پایگاه دانش نیز صورت پذیرفته است.

عباس کیانی و همکاران

در سیستم ذخیره می‌شود. به‌عنوان مثال، توصیف‌های سطح پایین اطلاعات رنگ به انعکاس رادیوسنجی اشیاء و برخی از شاخص‌های محاسبه‌شده از این بازتابش بستگی دارد. از دیگر شاخص‌های نسبی مورد استفاده در حوزه تفسیر تصویر برای توصیف این اشیاء می‌توان به بافت، ویژگی‌های هندسی، مفاهیم و روابط مکانی اشاره کرد (شکل ۴).

هر نوع شی، با یک مفهوم شهری و محیطی در ارتباط است که برای شناسایی آن می‌توان از یکسری شاخص‌ها و توصیف‌گرهای کیفی استفاده کرد. از طرفی هر توصیف کیفی با یک ویژگی سطح پایین کمی در ارتباط است و این توصیف‌های کیفی بایستی به توصیف‌های کمی سطح پایین (قوانین) با توجه به تجزیه و تحلیل تصویر ترجمه شوند. نحوه انجام این ترجمه و فرمولاسیون، تحت عنوان دانش



شکل ۴. ویژگی‌های مختلف قابل استخراج از تصویر

زمینه یافتن مقدار بهینه پارامترهای قطعه‌بندی انجام شده است، با این وجود، کماکان روشی که بتواند به صورت کامل در تصاویر گوناگون، مقدار بهینه این مقادیر را محاسبه کند، ارائه نشده است. این روش‌ها تا حدی توانستند عملکرد را بهبود دهند اما با توجه به بالا بودن تنوع کلاسی عوارض سنجش‌ازدوری، همچنان نمی‌توانند در این تصاویر راه گشا باشند. این روش‌ها وقتی هدف، تعیین یک کلاس مشخص مانند ساختمان است مناسب هستند، اما در روش‌هایی که قطعه‌بندی تمام عوارض مدنظر باشد کارایی مناسبی نخواهند داشت (Belgiu and Drăguț 2014). از طرفی همان‌طور که در بخش ۲-۲- بیان شد تا زمانی که زیرقطعه‌بندی در سطح قابل قبول باقی می‌ماند، نقص در قطعه‌بندی را

با توسعه روش‌های آنالیز شی‌گرای تصاویر، نقطه‌ضعف روش‌های مبتنی بر پیکسل رفع شده و طیف وسیعی از اطلاعات طیفی، متنی، ساختاری و مفهومی از عوارض تصویری فراهم شد. از طرفی تعیین پارامترهای بهینه در روش‌های شی‌گرا در مرحله قطعه‌بندی معمولاً با دشواری همراه بوده و مبتنی بر فرآیند سعی-خطا است لذا از سطح اتوماسیون سیستم کاسته و نیاز به تنظیم پارامترها را سبب خواهد شد (Kim et al. 2008; Meinel and Neubert 2004). از دیدگاه سنجش‌ازدور، تفاوت در شکل و اندازه اشیاء دنیای واقعی، علاوه بر امضا و روشنایی تغییرات طیفی آن‌ها، سبب پیچیدگی در تشخیص، طبقه‌بندی و شناسایی خود، با استفاده از یک پارامتر مقیاس خواهد شد. اگرچه تحقیقاتی در

حقیقت سازوکار اصلی روش بر مبنای خصوصیات عارضه مبنای روش بنا شده است، اما با توجه به بررسی‌های انجام شده و وجود این حقیقت که هر یک از روش‌های پیکسل مبنای و عارضه مبنای خصوصیات، مزایا و معایب مختص به خودشان را دارا هستند و گهگاه بر حسب نوع تصویر، دقت هر یک از روش‌ها برای عوارض مختلف تصویری می‌تواند متفاوت باشد، از این روی در این پردازش به منظور بهره‌برداری ترکیبی از خصوصیات روش‌های پیکسل مبنای و عارضه مبنای این کار صورت گرفته شده است. برای برچسب‌دهی پیکسل مبنای اولیه نیز از میان روش‌های موجود روش ماشین بردار پشتیبان انتخاب شده است. طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان یک طبقه‌بندی غیر پارامتریک است، به عبارتی در این روش چون هیچ فرضی در مورد توزیع داده‌ها در فضای ویژگی ندارد از لحاظ نحوه عملکرد نیز می‌تواند مکمل خوبی برای فرآیند تفسیری اولیه باشد. بنابراین در روند پیشنهادی، ابتدا تصویر به صورت پیکسل مبنای و بر اساس داده‌های آموزشی موجود مورد برآورد اولیه قرار می‌گیرد و سپس تولید برچسب اولیه مناطق با استفاده از ریزعارضه‌های استخراجی و فرآیند امتیازدهی (جزئیات این مفهوم در بخش ۳-۳ شرح داده خواهد شد) در یک متد عارضه‌مبنای انجام خواهد شد. مطابق فلوچارت، روش SVM مورد استفاده صرفاً جهت تعیین برآوردی از پیکسل‌های تصویری وارد شده است و در ادامه مورد کنترل قرار خواهد گرفت. بر این اساس به منظور افزایش اتوماسیون و از SVM در حالت کرنل خطی استفاده و پارامتر c را در حالت پیش فرض ($c=1$) قرار داده شده است.

متداول‌ترین روش، برای تفسیر دانش‌مبنای روش

می‌توان رد کرد، به طوری که سطح بالایی از دقت طبقه‌بندی را هنوز هم می‌تواند به دست آورد. بر این اساس، در این پژوهش برای گریز از این موانع روش ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، ابتدا یک قطعه‌بندی اولیه به منظور بخش‌بندی تصویر به مناطق همگن صورت می‌گیرد تا عملیات ادغام نواحی به جای پیکسل‌های تصویری بر روی این نواحی صورت پذیرد. این کار توسط هر یک از روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین موجود می‌تواند صورت پذیرد. برای نمونه روش قطعه‌بندی سطح پایین تصویر، مانند حوضه آبریز (آب‌پخش)، مینیمم انتقال، سوپر پیکسل‌ها و ... معمولاً تصویر را به بسیاری از مناطق کوچک (ریزعارضه) تقسیم خواهد نمود. روش حوضه آبریز، قطعات اولیه همگن و نگه‌دارنده مرز تولید می‌کند اما در حالت بهینه قطعات آن دارای ابعاد کوچکی است که موجب طولانی شدن روند ادغام و بروز اشتباه در روند تلفیق خواهد شد. روش سوپر پیکسل که می‌تواند ابعاد بزرگ‌تری را اختیار کند اما در حفظ مرز نواحی دچار مشکل است و لبه‌ها در این روش به خوبی حفظ نمی‌شود. روش مینیمم انتقال به دلیل استخراج بهینه قطعات اولیه و حفظ لبه‌های عوارض، روشی کارآمد است (Comaniciu and Meer 2002; Dey et al. 2010; Vincent and Soille 1991).

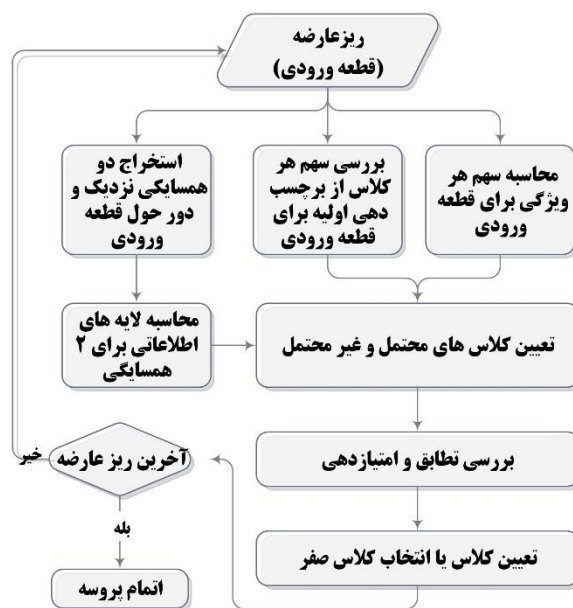
۳-۲- تفسیر اولیه و روند امتیازدهی

پس از آماده‌سازی و ذخیره داده‌ها در پایگاه داده، یک برچسب‌دهی پیکسلی مقدماتی صرفاً جهت تعیین برآوردی از پیکسل‌های تصویری جهت ورود به سیستم برچسب‌دهی اولیه مناطق به کار برده می‌شود. در

سلسله مراتبی است که در آن ویژگی‌های مختلف، زیرشاخه‌های آن را تشکیل می‌دهند. عبور از سلسله مراتب مفاهیم، نیازمند انطباق در ویژگی‌های آن زیرشاخه است. در روش سلسله مراتبی، هر عارضه با عبور از سلسله مراتب تطبیق ویژگی‌های (قوانین شرطی جهت انطباق یا رد یک ویژگی) مختلف، مورد بررسی قرار می‌گیرد و عبور از سلسله مراتب، مجوز حضور در زیرشاخه‌هاست و در نتیجه روند تصمیم‌گیری، سخت (حد آستانه قطعی) خواهد بود. اما در روند امتیازدهی، درصد مشارکت زیرشاخه‌ها و خصوصیات با درجه عضویت مختلف، بیشتر خواهد بود. تصمیم‌گیری سلسله مراتبی به‌ویژه برای عوارض دارای کلاس متشابه و یا کلاس‌هایی که در برخی از سرشاخه‌ها دارای مقادیر نزدیکی هستند، به علت وجود حدود آستانه، تصمیم‌گیری مشکل‌زا خواهد شد و یک تصمیم سخت، باعث عدم اتخاذ تصمیم مطلوب خواهد شد. اما در روند امتیازدهی، حتی در صورت رد شدن در یک مرحله، تنها امتیاز همان مرحله از دست خواهد رفت ولی قابلیت کسب امتیاز از زیرشاخه‌ها همچنان برقرار است و این موضوع باعث ایجاد رقابت و کسب تصمیم بهینه به‌ویژه در کلاس‌ها و عوارض مرزی خواهد شد. در عین حال، روش امتیازدهی اگر به صورت خام مورد استفاده قرار گیرد، در عین حال که مزایایی دارد، موجب افزایش بار محاسبات خواهد شد. برای رفع این مشکل، یک سیستم کنترل روند نیز باید تعبیه شود. این سیستم، خصوصیات اصلی (قطعی) کلاس‌های مورد نظر را به صورت فرموله شده در خود ثبت کرده و هنگام تفسیر اولیه مناطق، عملیات امتیازدهی را برای همه عوارض شروع نمی‌کند، بلکه عوارض دارای حداقل شرایط، اجازه عبور و ورود به سیستم

امتیازدهی کلاس مربوطه خواهند داشت (قسمت تعیین کلاس‌های محتمل و غیرمحتمل در شکل ۵). برای نمونه، اگر یک عارضه دارای شاخص گیاهی بالایی باشد، روند بررسی امتیاز به‌منظور انطباق در همه کلاس‌های موجود برای آن عارضه انجام نمی‌شود و کلاس‌هایی مانند جاده، پارکینگ، ساختمان و... به‌منظور کاهش حجم محاسبات از سیستم بررسی برای این عارضه خارج می‌شوند. این کار سبب می‌شود حجم عملیات به میزان زیادی کاهش یابد و در عین حال به علت در نظر گرفتن شرایط حداقلی و برخورد نرم، عیوب روش سلسله مراتبی برای تصمیم‌گیری را نیز نداشته باشد.

مطابق شکل ۵، به‌جای پیکسل‌ها، قطعات حاصل از طبقه‌بندی سطح پایین اولیه و ویژگی‌های آن‌ها، ورودی‌های روند تفسیر هستند. برای انجام این روند، روش سنجش میزان تطابق (سازگاری) پیشنهاد می‌شود. مکانیسم تطابق پیشنهادی، یک رویکرد شیء‌گرا است که چک کردن خصوصیات هر قطعه، با توجه به ویژگی‌ها و برجسته‌دهی پیکسل مبنای اولیه (لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده در شکل) را شامل می‌شود. علاوه بر هر قطعه ورودی، دو ناحیه همسایگی، یکی درون قطعه و دیگری حول قطعه (محیط پیرامونی قطعه) در نظر گرفته شده است. این همسایگی‌ها با ۲ کرنل مربعی به مرکز قطعه و برابر با نصف ابعاد (همسایگی نزدیک) و دیگری با ابعاد دو برابر قطر عارضه بدست خواهند آمد. علت انتخاب این دو همسایگی، مقایسه ویژگی‌های درونی هر قطعه (همسایگی نزدیک) و ویژگی‌های پیرامونی (همسایگی دورتر) قطعه است تا بدین ترتیب تأثیر ناحیه‌ای و مجاورت را بتوان در این مرحله نیز تا حدی در نظر گرفت.



شکل ۵. فرآیند کلی مورد استفاده در تفسیر اولیه

۳-۳- عملیات کنترل و بررسی صحت

پس از تفسیر اولیه مناطق، عملیات کنترل و تصحیح آغاز خواهد شد. این فرآیند، خود از چند زیر بخش مجزا تشکیل شده است. به منظور آشنایی با لزوم ایجاد این زیر بخش‌ها لازم است در ابتدا نگاهی دقیق‌تر بر خروجی تفسیر اولیه مناطق داشت. در تفسیر اولیه مناطق هر یک از ریزعارضه‌های تولیدی وارد سیستم تفسیر شده و در روند تصمیم‌گیری برای عضویت در کلاس‌های مختلف امتیازهای مختلفی به دست می‌آورد. حال اگر عارضه‌ای امتیازهای موردنیاز جهت اخذ برجسب یک کلاس را به دست آورده باشد، وارد آن گروه کلاسی خواهد شد (فرآیند امتیازدهی در ادامه شرح داده خواهد شد). در غیر این صورت، اگر عارضه‌ای نتواند حداقل‌های موردنیاز جهت ورود به هیچ یک از کلاس‌ها را به دست آورد، و یا اینکه امتیازهای حداقلی را به دست آورده اما امتیازهای آن جهت تعلق به دو کلاس مختلف نزدیک به هم باشد (مثلاً عارضه‌ای امتیازهای تعلق به کلاس راه خاکی را کسب کرده باشد

ولی درعین حال امتیاز راه خاکی و خاک بایر برای آن نزدیک به هم باشد) به آن عارضه برجسب کلاس صفر تعلق می‌گیرد. این بدین معنی است که اطلاعات ورودی کافی جهت تفسیر با اطمینان بالا به آن عارضه وجود نداشته است.

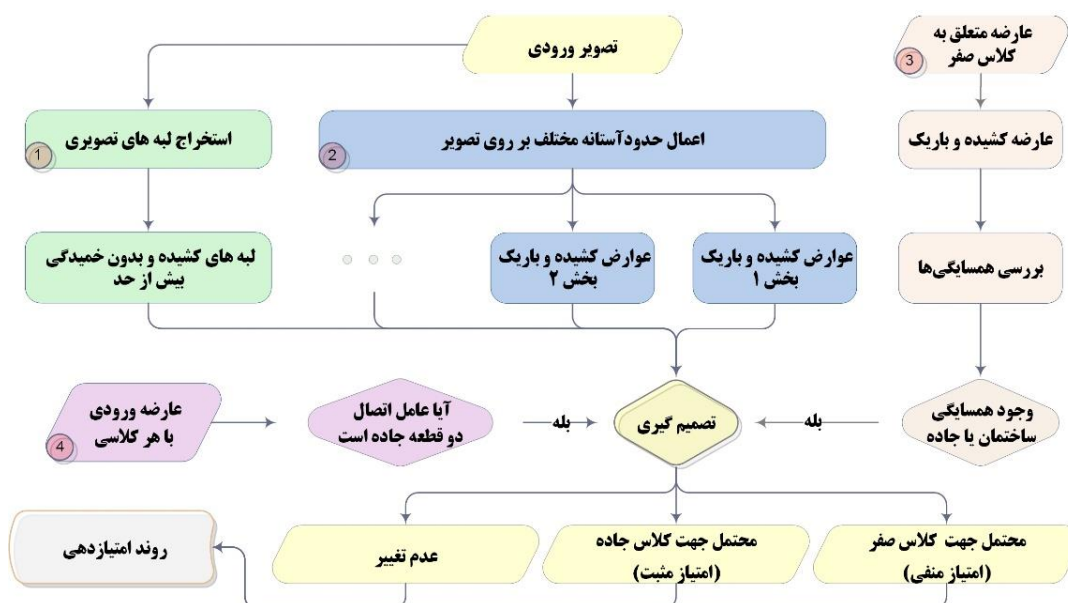
در حقیقت عوارضی در تفسیر اولیه مناطق برجسب‌دهی می‌شوند که با درصد اطمینان بالایی در ویژگی‌های کلاس مورد نظر صدق کنند و صرفاً نزدیکی ویژگی‌های طیفی مانند آنچه در کلاسه‌بندی رایج مدنظر است معیار نخواهد بود. در ادامه، جهت ویرایش و تکمیل روند برجسب‌دهی و قطع‌بندی تصویر، یکسری تصحیحات و قوانین تکمیلی به تفسیر اولیه مناطق اعمال و عوارض مورد واریسی مجدد قرار خواهند گرفت. این روند مطابق مراحل زیر خواهد بود، نخست تصحیح ریز عارضه‌های با ابعاد خیلی کوچک (در حد چند پیکسل) و انتساب آن‌ها به بهترین گروه ممکن (بر اساس امتیاز و درصد تعلق آن عارضه به گروه‌های مختلف). در غیر این صورت، علاوه بر طولانی کردن روند، ممکن است

بر اساس خصوصیات کلی کلاس‌های هدف می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند و قطعات علاوه بر بررسی‌های منفرد به صورت تعاملی هم مورد تحلیل قرار گیرند. در ادامه امتیازهای کسب‌شده‌ی قطعات در این روند کنترلی می‌تواند در روند شناسایی عوارض در مرحله تصمیم‌گیری تأثیرگذار باشد.

در ادامه تصحیح هدفمند گروه عوارض، شاخص تصویری برای عارضه جاده مدنظر قرار می‌گیرد. منظور از گروه کلاس‌ها مجموعه عوارضی است که تحت عنوان یک کلاس برگزیده شده‌اند، مانند همه عوارضی که برچسب ساختمان، جاده و ... به آن‌ها داده شده است. برای مثال می‌توان قوانینی را در سیستم مدنظر قرارداد تا بر اساس این قواعد که جاده‌ها عارضه‌هایی کشیده، دارای نسبت قطر بزرگ به کوچک بالا، شیب ملایم، خصوصیات بافتی هموزن، کنتراست بالاتر نسبت به همسایگی و ... مورد بررسی قرار گیرند (بخش تصمیم‌گیری در شکل ۶) و به این ترتیب ریزعارضه‌های که در این شرایط صدق می‌کنند را بررسی کرد (شکل ۶).

در صورت عدم حذف در مراحل بعدی که برای تصحیح ریزعارضه‌ها به بررسی ویژگی مجاورت پرداخته می‌شود، این نقاط شبه نویز، به عنوان یک همسایگی شناسایی و موجب اشتباه در روند تصحیحات گردند.

تا مرحله برچسب‌دهی اولیه مناطق، امکان بررسی با ویژگی‌های هندسی، طیفی، بافتی مهیا بود. در مرحله کنترل، قدرت استنتاج و تحلیل باز هم افزایش می‌یابد به این دلیل که در این مرحله یک عامل تأثیرگذار دیگر نیز اضافه خواهد شد و آن قوانین معنایی و مجاورت خواهد بود. قبل از برچسب‌دهی اولیه مناطق، هیچ برآوردی از عوارض وجود نداشت و مجاورت عوارض (همانند شکل ۲) در نظام معنایی قابل تعریف نبود، اما در مرحله کنترل می‌توان برای هر یک از عوارض مجاورت آن با سایر عوارض را در نظر گرفت و قوانین معنایی را نیز در روند تصمیم‌گیری دخیل نمود و بدین ترتیب بر میزان توانایی تفسیری عوارض تا حد زیادی افزود. در حقیقت در این مرحله کنترل هدفمند عوارض



شکل ۶. کنترل هدفمند گروه عارضه جاده

کاندیدای ورودی سیستم تصمیم‌گیری روند کنترل گروه عوارض جاده‌ای بوده و مورد کنترل و پردازش‌های بیشتر قرار می‌گیرند. از آنجایی که در این حالات از حدود آستانه عمومی استفاده شده است، بنابراین قطعات خروجی به‌عنوان قطعات جاده استخراجی در نظر گرفته نمی‌شوند، صرفاً قطعات محتمل هستند و امتیاز مثبت به آن‌ها تعلق می‌گیرد تا در فرآیند امتیازدهی با بررسی همه ویژگی‌های آن عارضه در نهایت برچسب نهایی به آن داده شود.

در مرحله بعد اعمال تصحیحات مرحله‌ای به‌صورت متوالی و افزایش میزان ابعاد برای تلفیق قطعات در دستور کار قرار دارد. در هر دوره تکرار برحسب تغییر اندازه مقیاس تلفیقی، تغییر همسایگی‌ها و امکان صدق در گروه کلاس‌های تصویری، امتیازهای جدیدی برای هر قطعه اخذ خواهد شد و روند کسب امتیاز، عناصر شناسایی نشده را به کلاس موردنظر نزدیک می‌سازد. به‌عبارتی به امتیازهای کسب‌شده برای تعلق یک قطعه در کلاس‌های مختلف افزوده‌شده و امتیازها به‌روز می‌شوند تا در فرآیند تصمیم‌گیری، قطعات حداقل امتیاز لازم برای برچسب‌دهی به کلاس‌های مختلف را پیدا کنند (معادله ۲). در حقیقت تصحیحات مرحله‌ای به‌صورت متوالی با در نظر گرفتن روند توسعه ابعاد و تجمیع قطعات با افزایش ابعاد تلفیقی همراه خواهد بود. این موضوع از اتخاذ اشتباه‌های بزرگ در مراحل ابتدایی جلوگیری کرده و هم‌زمان با افزایش میزان اعتماد به نتایج، ابعاد قطعات افزایش پیدا خواهد نمود. به‌ویژه اینکه چون در قواعد آنتولوژی، خصوصیات کلاس‌های مختلف تعریف‌شده است؛ مثلاً ساختمان‌ها می‌توانند مساحت‌های محدود داشته باشند اما نواحی آبی در این قاعده صدق نمی‌کنند و یا طویل بودن ابعاد راه در مقیاس کلی و ...، در نتیجه قطعات می‌توانند در سطوح

به‌طورکلی، اطلاعات تصویری بر یکی از دو ویژگی اساسی مقادیر شدت روشنایی تصویر استوار است: تشابه و ناپیوستگی. تشخیص لبه به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین و رایج‌ترین روش برای تشخیص ناپیوستگی‌های معنی‌دار در سطح تصویر است. از سوی دیگر قطعه تصویری به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه (مجموعه‌ای از پیکسل) است که شباهت، مهم‌ترین معیار مشترک آن‌هاست. در روش پیشنهادی ابتدا لبه‌هایی که می‌توانند کاندید مرز عوارض جاده‌ای باشند شناسایی شده و سپس قطعاتی که این خطوط در آن‌ها وجود دارند به‌عنوان عوارض کاندید جاده‌ای برای عضویت در این کلاس، مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرند (شکل ۶- شماره ۱). همچنین در بررسی موازی عوارض مختلف تصویری با توجه به این ویژگی آنتولوژی عوارض جاده‌ای که این عوارض خصوصیات بافتی هموزن، کنتراست بالاتر نسبت به همسایگی دارند مورد بررسی قرار گیرند. در این روش برای جلوگیری از ورود حدآستانه‌های خاص (وابسته به صحنه) که نیاز به تعیین توسط کاربر دارد، از چند حد آستانه‌های عمومی (تا حالت‌های مختلف پوشش داده شود) استفاده شده است (Kiani and Sahebi 2015). برای تعیین عوارض باریک و کشیده نیز می‌توان از ویژگی خروج از مرکزیت و نسبت قطر اول به اصغر قطعه مورد بررسی استفاده کرد. سپس اگر در بیش از نیمی از حالت‌های مورد بررسی یک عارضه صدق کند، می‌تواند امتیاز مثبت (محتمل جهت کلاس جاده) باشد (شکل ۶- شماره ۲). برای حالت‌های ۳ و ۴ نیز از آنجایی که در مراحل قبل، بسیاری از عوارض برچسب‌دهی شده‌اند با بررسی قطعات مجاور هر قطعه قابل حصول خواند بود. به‌طور خلاصه می‌توان گفت در نمودار شکل ۶، چهار دسته از قطعات مختلف، از میان تمامی قطعات موجود، به‌عنوان

رابطه (۲)

$$T_{ji}^{new} = w_1 \times T_{ji}^{kb(new)} + T_{ji}^0, \quad i = 1:k$$

که در آن T_{ji}^{new} ، امتیاز به روز شده مربوط به کلاس i ام از قطعه j ام تصویری در مراحل کنترل است. در ادامه با استفاده از امتیازهای جدید، بار دیگر شرایط جدید، جهت بررسی (تصمیم‌گیری) برای آن قطعه به دست خواهند آمد. در روند بررسی، طبق همه مقادیر درجات خاکستری بزرگ‌تر از T^{min} را sel می‌نامیم.

رابطه (۳)

$$T^{sel} \equiv (T_i > T^{min}), T^{min} \\ = 0.5 \times w_1 \times num(T_i^{kb}) + w_2 \times \max(T_j^{svm}), \\ = 1:k, j = 1:p$$

که در آن $\max(T_j^{svm})$ با بررسی میزان عضویت همه پیکسل‌های قطعه‌ی j ام در طبقه‌بندی svm محاسبه، $num(T_i^{kb})$ تعداد قواعد (شرایط) بررسی شده برای هر کلاس است، همچنین x برابر با تعداد اعضای T^{sel} خواهد بود. روند به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اینکه در نهایت همه قطعه‌هایی که قادر به کسب امتیازهای موردنیاز شدند برچسب‌گذاری خواهد شد. شرط کسب حداقل امتیاز، جهت برچسب‌دهی از معادله ۴ حاصل می‌شود.

رابطه (۴)

$$T \in T^{sel} \quad \&\& \quad (T_j^{max} - T_j^{max-1}) / (x) \geq 1$$

تمامی مراحل قبل تکرار می‌شوند تا اینکه شرط پایان تکرار، محقق شود. هر گاه اختلاف تغییرات جدید و قدیم در دوره متوالی تغییر چندانی نداشت، شرط پایان تکرار محقق شده و دیگر نیازی به بروز رسانی بیشتر وجود ندارد.

مقیاس کلاسی و با ابعاد مختلف کنترل شده با یکدیگر تلفیق شده که حاصل می‌تواند یک قطعه‌بندی در سطح مقیاس کلاسی باشد.

فرآیند امتیازدهی به این صورت است که برای هر قطعه تصویری (مانند j)، قواعد متناسب با آن قطعه و کلاس‌های مربوطه بررسی و در صورت تطابق در هر قاعده امتیازی کسب می‌گردد و در نهایت با جمع امتیازهای به دست آمده از همه‌ی کلاس‌ها، یک پایگاه داده شامل میزان تطابق (امتیاز) نسبت به کلاس‌های مختلف تصویری برای آن قطعه خواهیم داشت. از این رو در روش پیشنهادی، برای نمونه برای حالت با k کلاس، ابتدا k مقدار اولیه برای هر قطعه تصویری (مانند قطعه‌ی j ام) از تفسیر اولیه حاصل می‌شود. این مقادیر در هر قطعه تصویری، ترکیبی از خروجی‌های روش دانش‌پایه^۱ و روش svm است (شکل ۵) که از تعیین خواهند شد.

رابطه (۱)

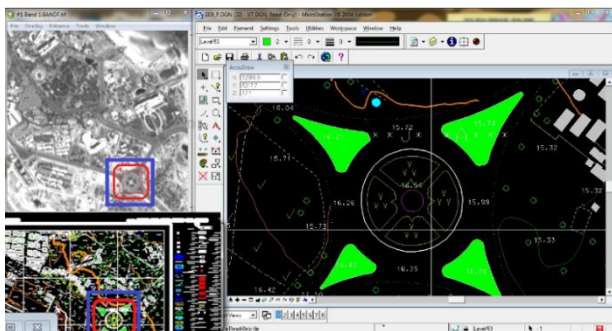
$$T_{ji}^0 = w_1 \times T_{ji}^{kb} + w_2 \times T_{ji}^{svm}, \quad i = 1:k, j = 1:p \\ w_1 = 1 - w_2$$

که در آن p تعداد کل قطعات و k تعداد کلاس‌های مدنظر، w_1 و w_2 وزن‌های مؤثر جهت ترکیب امتیازها هستند. لازم به ذکر است که این وزن‌ها آستانه‌های عمومی هستند. (آستانه‌های خاص تصویر نیستند). در این تحقیق w_2 برابر $1/3$ در نظر گرفته شده است. به این ترتیب فضای ورودی (مقادیر درجات تعلق قطعه j ام به کلاس‌های مختلف) به k زیر فضا بخش‌بندی خواهد شد. سپس در روند کنترلی در صورت کسب امتیاز یک قطعه در هر روند کسب امتیاز کلاسی، آن امتیاز به امتیازهای قبلی اضافه خواهد شد (رابطه ۳).

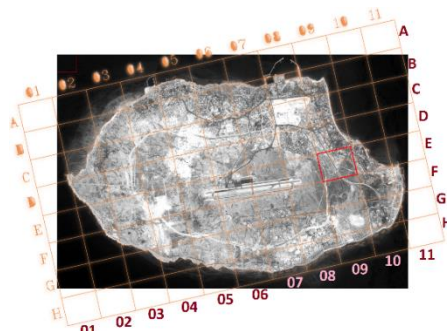
۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

همان‌گونه که در ابتدای بخش ۲، توضیح داده شد، برای ارزیابی این روش از تصویر ماهواره‌ای IRS-p6 منطقه کیش در جنوب ایران استفاده شده است. لازم به ذکر است داده ارتفاعی مورد نیاز نیز از داده‌های در دسترس یک زوج تصویر p5 و همراه با داده‌های RPC و با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 و اخذ چند نقطه کنترل و گرهی در سطح دو تصویر مدل رقومی منطقه تولید شد. مطابق با فلوچارت، روند اجرا و زیربخش‌های مختلف آن در

ادامه بیان خواهد شد. در ابتدا بر روی تصویر p6 (LISS-4) که شامل سه باند سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک است عملیات تصحیح و بارزسازی تصویر صورت گرفت و داده‌ها از نظر توزیع محدوده رادیومتریکی در سطح هیستوگرام تصویر تصحیح شدند. برای رسیدن به مختصات هندسی تصحیح شده بایستی نقاط کنترلی نیز وارد روند تبدیل شوند. این نقاط از نقشه‌های موجود منطقه که دارای مقیاس ۱/۲۰۰۰ بودند تولید شد. نمونه‌ای از این نقاط در شکل ۷ نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۷. تصحیح هندسی تصویر، الف) اندکس نقشه‌های موجود، ب) نمونه‌ای از نقطه کنترل استخراج شده از زیر نقشه E09

باند‌های طیفی نیز به‌عنوان انواع دیگری از فضاهای ویژگی می‌توانند اثر قابل ملاحظه‌ای در بهبود دقت و شناسایی برخی از کلاس‌های پوششی عوارض داشته باشد. در این پژوهش از شاخص گیاهی نرمالیزه شده و شاخص خاک بایر استفاده شده است (Azizia et al., 2008; Bhagat 2014). همچنین تولید باند‌های تفاضلی می‌تواند فضاهای ویژگی جدیدی را جهت تمایز کلاس‌های تصویری مهیا کند. همان‌طور که عنوان شد راهکار استفاده از خصوصیات هندسی و معنایی عوارض، علاوه بر خصوصیات طیفی، به‌کارگیری قطعه‌بندی تصویر، جهت استخراج عوارض و

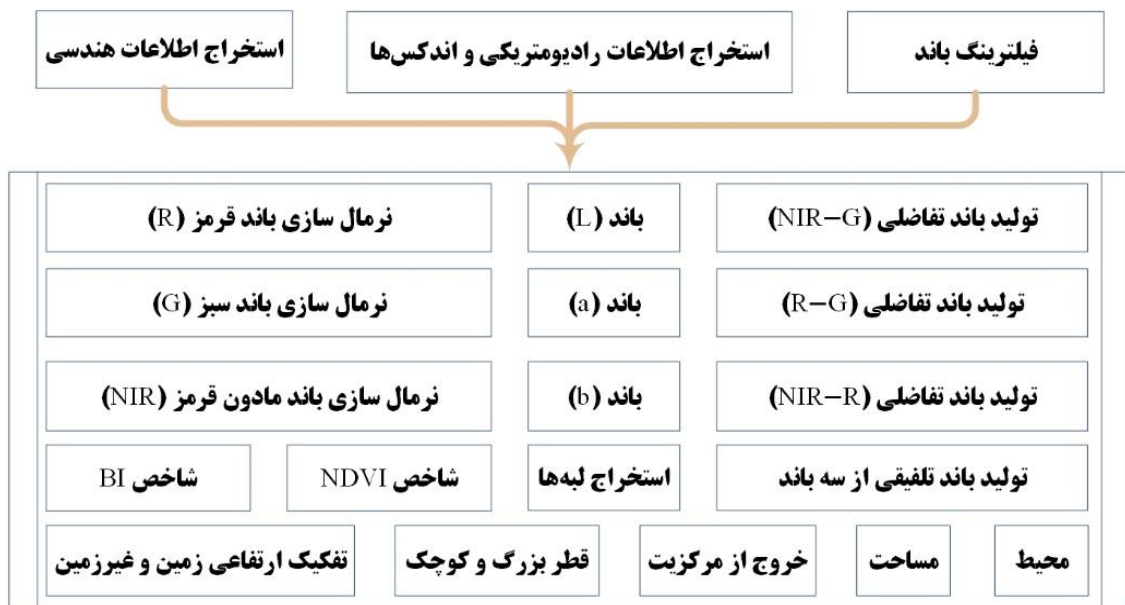
سپس این داده‌ها فراخوانی و عملیات نرمال‌سازی داده‌ها، بر روی آن‌ها صورت گرفته و داده‌های نرمال شده وارد پایگاه داده شدند. این اطلاعات اولیه شامل باند‌های قرمز، سبز، مادون‌قرمز و مدل رقومی ارتفاعی تولیدی هستند. در ادامه به تولید ویژگی‌های دیگر قابل حصول از تصاویر پرداخته شد. برای این کار، فضای رنگی Lab در نظر گرفته شده است. این فضا با تفکیک درجات روشنایی (شدت) از "مشخص کننده رنگ" و "درصد خلوص رنگ"، می‌تواند هم در تفکیک گونه‌های رنگی متفاوت و هم در تفکیک عوارض روشن و تیره کمک شایانی در تمایز عوارض کند. شاخص‌های تولیدی از

عباس کیانی و همکاران

تولید قطعات بیشینه تصویری (ریزعارضه‌های تصویری) مناسب هستند، مبادرت ورزیده شده است. از میان روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین، روش مینیمم انتقال به دلیل تولید ریز عارضه‌های همگن و با لبه‌های بارز به‌عنوان روش مورد نظر در این پژوهش انتخاب شده است.

روند تولید ویژگی‌های جدید و یا تولید قواعد کمی، گاه‌ها نیازمند حدودآستانه است، از طرفی چون داده‌های آموزشی اولیه موجود است، می‌توان حدودآستانه‌های مختلف را با استفاده از این داده‌های آموزشی به‌دست آورد. برای این کار با یک روند خودکار، میانگین و محدوده تغییرات از داده‌های ورودی برای کلاس‌ها و فضاهای ویژگی مختلف تولیدی استخراج می‌شود. بعد از طی همه مراحل قبل، درنهایت ویژگی‌های استخراجی مورد اشاره در فلوجارت، به‌صورت شکل ۸ تکمیل شده است.

خصوصیات هندسی آن‌ها است. قطعه‌بندی کامل تصویر با توجه به صحنه مورد نظر و پارامترهای تنظیمی روش مورد استفاده، قابل برآورد خواهد بود. در حقیقت روش‌های قطعه‌بندی مختلف برای رسیدن به سطح تعمیم‌پذیری و دقت مناسب نیاز به تنظیم پارامترهای مختص به خود دارند، متعاقباً این موضوع نیازمند یک کاربر انسانی جهت کنترل روند و انتخاب پارامترهای بهینه است. علاوه بر آن، در حال حاضر هیچ روش قطعه‌بندی کاملی وجود ندارد تا بتواند عوارض مختلف تصویری را در سطوح مختلف کلاسی و با محدوده کامل در اختیار قرار دهد. از این‌رو، در پژوهش حاضر به دو دلیل ذکر شده از به‌کارگیری یک روش قطعه‌بندی کامل به‌منظور استخراج عوارض تصویری اجتناب شده است و به جای به‌کارگیری یک روش سطح بالای قطعه‌بندی، روش‌های قطعه‌بندی سطح پایین که بدون نیاز به مقادیر دقیق و تنها با مقادیر پیش فرض، قادر به



شکل ۸. آماده‌سازی و شکل‌دهی پایگاه داده

همان‌طور که در بخش ۲-۲ عنوان شد هر نوع شی با یک مفهوم شهری و محیطی در ارتباط است که برای

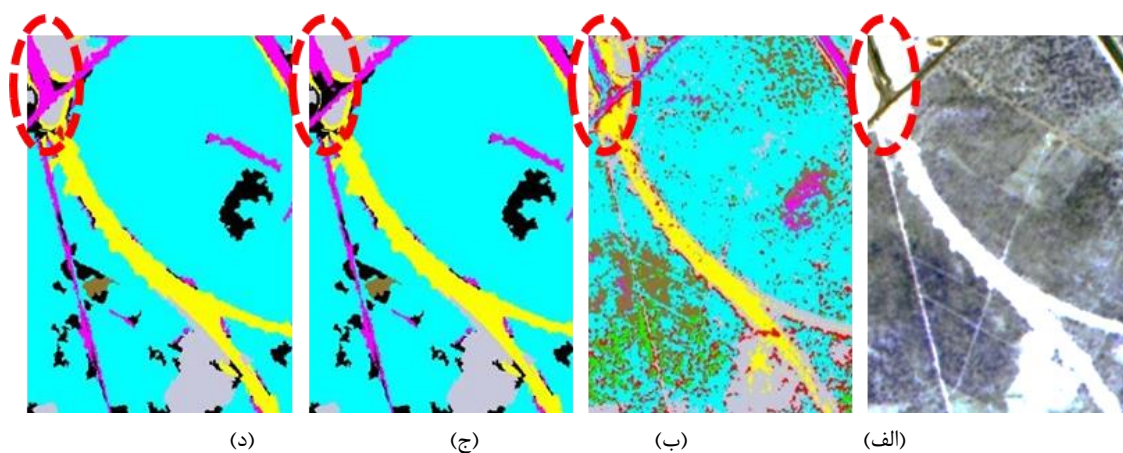
اینکه امکان وزن‌دهی به این قوانین نیز خود حائز اهمیت است. این امکان به علت استفاده از سیستم دانش‌پایه پدید آمده است و می‌تواند به‌صورت الزام وجود یک شرایط برای آن کلاس مانند مرتفع بودن برای ساختمان‌ها و یا مقادیر بالای NIR برای پوشش گیاهی، شرایط معمول و همچنین شرایط غیرقابل‌پذیرش مانند ارتفاع برای پارکینگ و جاده مورد استفاده قرار گیرد. نمونه‌ای دیگر از نحوه به‌کارگیری اطلاعات معنایی، در قانون یکنواختی درجات خاکستری سطح به‌این‌ترتیب است که از نظر تئوری سطح راه با ساختمان معمولاً از نظر رادیومتریکی یکنواخت است. لذا تغییرات مقادیر روشنایی پیکسل‌ها معمولاً کم است؛ اگرچه ممکن است به دلایل مختلف تغییرات ناگهانی در درجات روشنایی ایجاد شود، ولی با انجام برخی پیش‌پردازش‌ها و نرم‌کردن تصاویر می‌توان اثر این عوارض را کاهش داد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری یکنواختی و یا عدم یکنواختی درجات خاکستری پیشنهاد شده است. باین-حال، انحراف معیار درجات خاکستری پیکسل‌های یک شیء می‌تواند به‌عنوان معیار همگنی مورد استفاده قرار گیرد. به همین ترتیب، کمی‌سازی درباره سایر مفاهیم نیز صورت می‌گیرد، که در بخش ۳-۱- نیز بیان شد. این قوانین در پایگاه دانش ذخیره و در روند استخراج ویژگی و تفسیر مورد استفاده قرار خواهند گرفت. اکنون به تعداد عناصر اولیه تصویری، بردار توصیف‌گر در دست است که می‌تواند مطابق شکل ۵، مبنای تفسیر اولیه عناصر تصویری قرار گیرند. بعد از تفسیر اولیه (عوارض با قطعیت بیشتر مورد تفسیر و شناسایی قرار گرفته‌اند)، نوبت به بررسی عوارضی که در مرحله قبل شناسایی نشده‌اند (کلاس صفر) می‌رسد، البته در این بین به بررسی برخی از گروه کلاس‌هایی که در مرحله قبل تفسیر شده‌اند نیز جهت کنترل فرآیند،

شناسایی آن می‌توان از یک‌سری توصیف‌گرها استفاده کرد. از جمله توصیف‌گرهای تحت قواعد مختلف که در روند تفسیر و امتیازدهی در این تحقیق استفاده شده‌اند عبارت‌اند از:

- هموزن بودن سقف ساختمان در داده‌های ارتفاعی.
 - تمایز ساختمان‌ها در مادون‌قرمز نزدیک نسبت به درختان.
 - آنتروپی بالای قطعات درختان در داده‌های ارتفاعی و طیفی.
 - اختلاف در میانگین مقادیر ارتفاعی تک درختان در همسایگی نزدیک نسبت به همسایگی دورتر (بافر بزرگ‌تر).
 - مناطق دارای پوشش گیاهی کم ارتفاع مانند چمن دارای هموزنیته میانگین مقادیر ارتفاعی در همسایگی نزدیک نسبت به همسایگی دورتر (بافر بزرگ‌تر) هستند.
 - جذب زیاد امواج الکترومغناطیس در مناطق آبی.
 - معمولاً سطح راه از نظر طیفی حداقل به‌صورت محلی یکنواخت است.
 - راه عارضه‌ای سطحی و کشیده با عرض محدود است.
 - مساحت محدود عوارض ساختمانی و شکل هندسی منظم.
 - انحناء محلی راه و تغییرات انحناء آن محدود هستند.
 - مجاورت ساختمان‌ها با راه‌های ارتباطی و سایه‌ها (به علت مرتفع بودن).
 - ...
- اگرچه ممکن است برخی عوارض دیگر نیز، برخی خصوصیات فوق را داشته باشند، ولی ترکیب خصوصیات فوق معمولاً نشانگر وجود کلاس محتمل است. بعلاوه

(شکل ۹-ج) به علت عدم قطعیت بالا، سیستم برچسب صفر به عارضه مورد نظر در روند تصمیم‌گیری الصاق نموده است اما در روند کنترل با بررسی قواعد معنایی و مجاورتی موجود در پایگاه دانش و اینکه این عارضه می‌تواند محل اتصال دو عارضه جاده به یکدیگر باشد آن را مورد تفسیر قرار داده و برچسب درست را به آن اختصاص داده است (شکل ۹-د). در روند تحلیلی کلاسه‌بندی، روند برچسب‌گذاری قادر به تحلیل نبوده و برچسب کلاس خاک با پوشش گیاهی تنک به آن اختصاص داده است (شکل ۹-ب). همچنین مزیت دیگر روش پیشنهادی در این پژوهش روند عدم نویزی شدن تصویر برچسب‌گذاری شده نهایی است و اطلاعات تصویر تفسیری به صورت هموزن برچسب دهی خواهند شد (مقایسه شکل ۹-د و ب).

پرداخته می‌شود. این کار، جهت بررسی و کنترل بیشتر انجام می‌شود تا اگر باوجود همه بررسی‌های انجام‌شده، باز در انتخاب برچسب قطعه به کلاسی اشتباهی به وجود آمده باشد مورد تحلیل و تصحیح قرار گیرد (مطابق بخش ۳-۳). عملیات کنترل و بررسی صحت، علاوه بر افزایش دقت به سبب کنترل فرآیند، میزان قابلیت سیستم را در جهت اعمال قوانین معنایی و مفهومی نیز افزایش خواهد داد. بر این اساس پس از تفسیر اولیه، بر اساس یک سیستم دانش‌پایه عملیات کنترلی بر روی داده‌ها انجام شده تا صحت نتایج خروجی افزایش یابد. در این پروژه، تنها گروه عوارض جاده‌ای مورد بررسی قرار گرفته و مراحل کنترلی آن در شکل ۹، برای بخشی از ساختار جاده که دچار تخریب و تغییر گشته، نشان داده شده است. در تفسیر اولیه



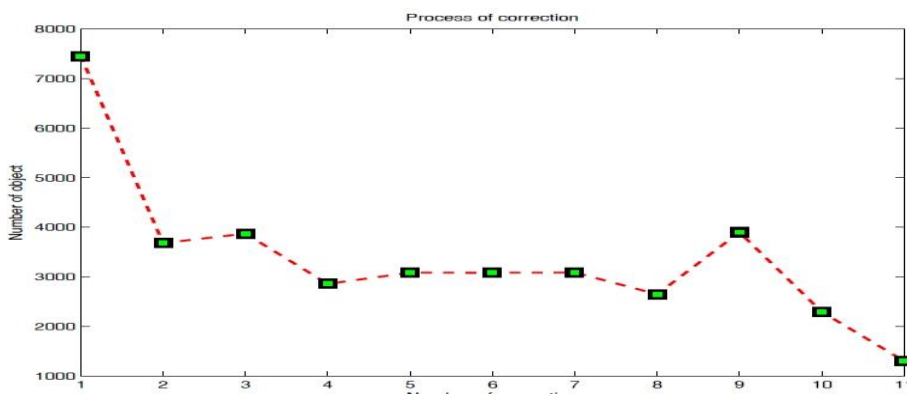
شکل ۹. قیاس بصری روند کنترل، (الف) تصویر اصلی، (ب) تصویر کلاسه‌بندی شده، (ج) تفسیر اولیه مناطق، (د) فرآیند کنترل و تصحیح

تلفیقی مناطق همگام با روند برچسب‌دهی استفاده شده است. براین اساس ابتدا استخراج ریزعارضه‌هایی تصویری صورت می‌پذیرد و در ادامه روند تکمیلی و کنترلی سیستم همراه با ادغام و تلفیق مناطق همراه است (شکل ۱۰). اعمال کنترل‌های متوالی به صورت دوره‌ای، می‌تواند اعمال سطوح تلفیق

در بخش ۲-۲ مشکلات موجود در روند انجام قطعه‌بندی کامل تصاویر، مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس، در این سیستم به منظور دوری از مشکلات مربوط به قطعه‌بندی (مانند ورود زیرقطعه-بندی و یا مشکلات مربوط به استفاده از یک سطح قطعه‌بندی برای همه کلاس‌ها) از روند قطعه‌بندی

افزایش ابعاد تلفیقی همراه خواهد بود. این موضوع از اتخاذ اشتباه‌های بزرگ در مراحل ابتدایی جلوگیری کرده و هم‌زمان با افزایش میزان اعتماد به نتایج، ابعاد افزایش پیدا خواهد کرد. بعد اتمام تمامی مراحل و زیر بخش‌های روند کنترل، تصویر تفسیر شده نهایی تولید خواهد شد. این ادغام به‌مرور تشکیل محدوده‌های کلاسی و در نتیجه کاهش تعداد ریزعارضه‌ها را در بر خواهد داشت (شکل ۱۰).

مقیاس کلاسی بر روند تعاملی قطعه‌بندی و تفسیر را سبب شود. چون روند تفسیر، براساس ویژگی‌های هر کلاس صورت می‌پذیرد، در نتیجه قطعه‌بندی هم‌زمان با تفسیر، روند کنترل بر مقیاس را می‌تواند به‌صورت جداگانه برای هر کلاس در نظر گرفته و فرآیند تلفیق قطعات، به‌صورت کنترل‌شده صورت پذیرد. همچنین در روند ویرایشی مدنظر، با در نظر گرفتن روند توسعه ابعاد و تجمیع ریزعارضه‌ها، روند برچسب‌دهی با



شکل ۱۰. فرآیند کنترل و تلفیق ریزعارضه‌ها، مراحل تدریجی تلفیق ریزعارضه‌ها و تکمیل فرآیند تفسیر و قطعه‌بندی توأمان تصویر

نقاطی است که توسط سیستم به اشتباه مورد شناسایی واقع نشده است.

رابطه (۵) نادیده گرفتن $Omission = FN/(TP+FN)$

رابطه (۶) مشارکت $Commission = FP/(TP+FP)$

رابطه (۷) جامع بودن $Completeness = TP/(TP+FN)$

رابطه (۸) صحیح بودن $Correctness = TP/(TP+FP)$

رابطه (۹) شاخص کیفیت $Quality = TP/(FN+TP+FP)$

رابطه (۱۰) شاخص دقت کلی $Overall\ accuracy = (TP+TN)/(TP+FN+TN+FP)$

داده واقعیت‌زمینی از روی نقشه‌های موجود تهیه‌شده، سپس براساس روابط فوق، نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر تست با روش پیشنهادی محاسبه‌شده است. به‌منظور ارزیابی نسبی، سیستم تصویر مورد اشاره توسط

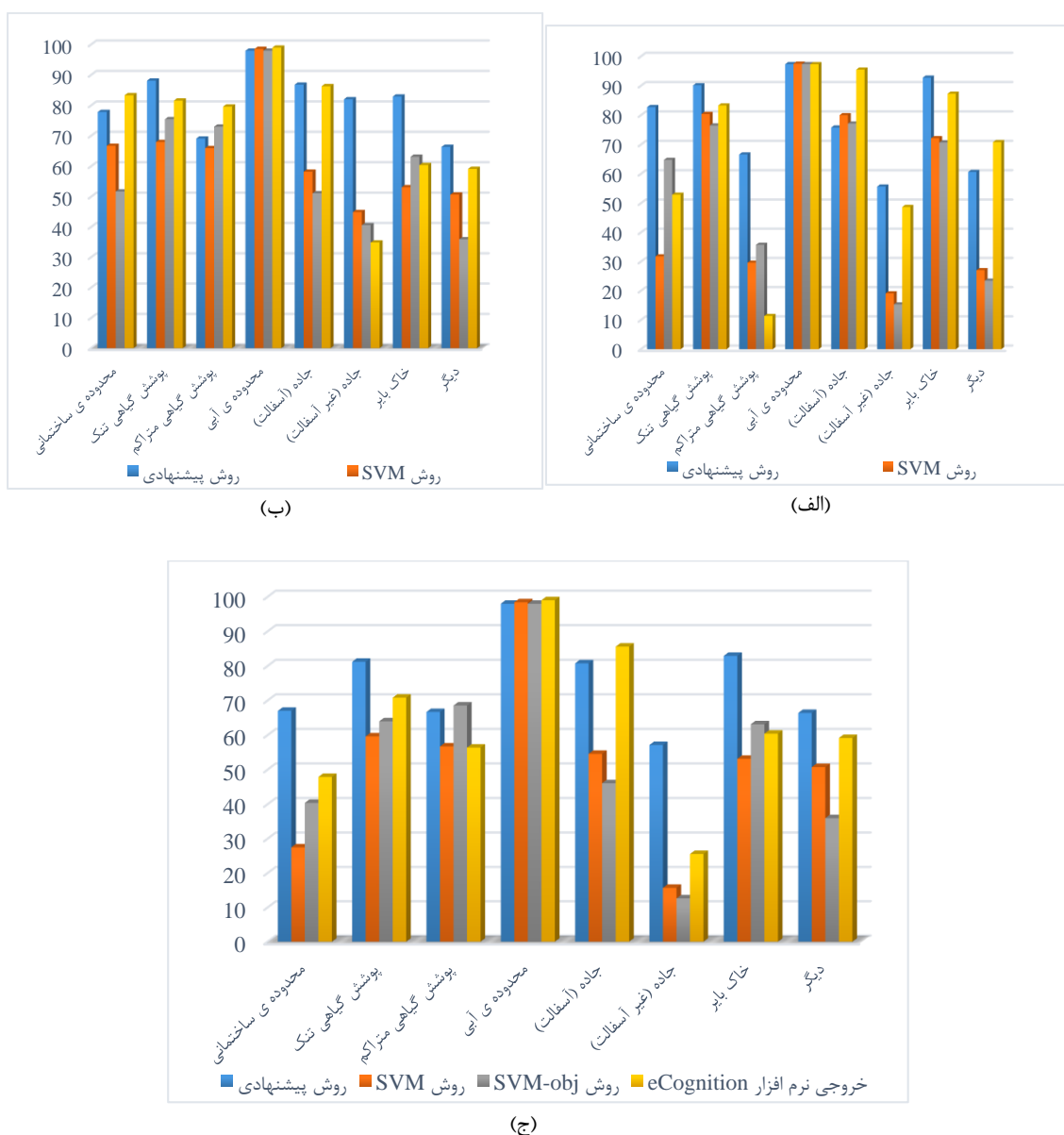
برای ارزیابی می‌توان ماتریس ابهام هر یک از گروه‌های تفسیری و همچنین ماتریس ابهام کلی تصویر را تشکیل داد و سپس براساس آن، میزان دقت پارامترهای مختلف را به صورت درصد ارائه کرد. در نهایت، با توجه به اطلاعات به دست آمده از این جدول خطاهای نادیده گرفتن، مشارکت، و دقت‌های جامع بودن و صحیح بودن، شاخص کیفیت و ضریب کاپا (Carletta 1996) محاسبه شده است (معادلات ۵ تا ۱۰). در ماتریس ابهام، TP تعداد نقاطی است که در هر دو مجموعه داده‌ها برچسب توصیفی برای آن شناسایی شده است. TN، تعداد نقاطی را مشخص می‌کند که در هر دو داده مورد شناسایی واقع نشده باشد. FP هم، تعداد نقاطی است که توسط سیستم به اشتباه شناسایی شده و FN تعداد

عباس کیانی و همکاران

نیز با یکدیگر مورد قیاس قرار گرفته شد (جدول ۱) و در نهایت عملکرد هر یک از سیستم‌ها به تفکیک شاخص‌های ارزیابی در یک نمودار با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۱۲).

در شکل ۱۱- الف نتایج حاصل از بررسی جداگانه هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده، بر اساس شاخص صحیح بودن با یکدیگر، مورد قیاس قرار گرفته شد.

سه روش ماشین بردار پشتیبان پیکسل‌مبنا (SVM)، ماشین بردار پشتیبان عارضه‌مبنا (SVM-obj) و همچنین خروجی نرم‌افزار eCognition که براساس قطعه‌بندی مولتی رزولوشن اجرا شده، صورت پذیرفته است و برای هر یک از آن‌ها نیز شاخص‌های ارزیابی نام‌برده شده به تفکیک کلاس‌های موردنظر به دست آمد (شکل ۱۱). در ادامه عملکرد روش‌ها به صورت کلی



شکل ۱۱. مقایسه نتایج، الف) صحیح بودن (صحت کاربر)، ب) جامع بودن (صحت تولیدکننده)، ج) شاخص کیفیت.

داشته، اما در کلاس جاده آسفالت خروجی اکاگنیشن بهترین نمایش را داشته است. ولی در مجموع کلاس جاده (آسفالت و غیرآسفالت)، عملکرد روش پیشنهادی مناسب بوده است.

همان‌طور که گفته شد علاوه بر ارزیابی روش پیشنهادی با داده‌های واقعیت زمینی (ارزیابی مطلق)، تصویر تست مورد استفاده با روش‌های دیگر طبقه‌بندی نیز مورد تحلیل قرار گرفت (ارزیابی نسبی). ارزیابی نسبی به تفکیک کلاس‌ها در قبل بیان شد. حال در ادامه، نگاهی به عملکرد کلی روش‌ها خواهیم داشت (شکل ۱۲ و جدول ۱).

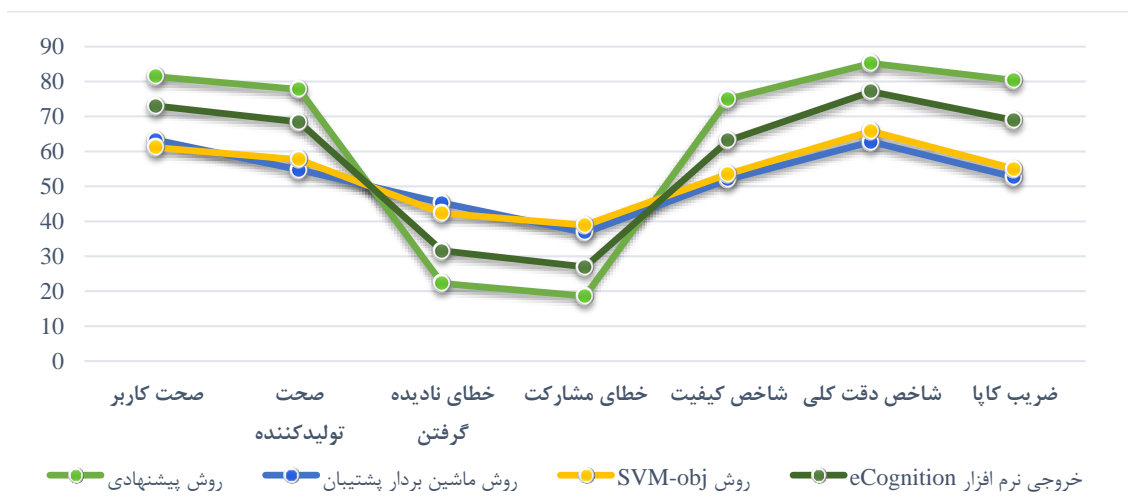
شکل ۱۱ ب و ج نیز، نتایج بررسی تفکیک کلاسی براساس شاخص‌های جامع بودن و کیفیت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج نیز، مشخص است با افزایش توصیف‌گرهای کیفی، دقت طبقه‌بندی نیز بهبود یافته‌است. برای نمونه، در روش ماشین بردار پشتیبان که روی عارضه‌های تصویری صورت گرفته شده، دقت بیشتری را از روش پیکسل مینا شاهد هستیم. اما نسبت به تحلیل عارضه‌مبنا و همراه با داده‌های هندسی که توسط نرم‌افزار اکاگنیشن صورت پذیرفته، دقت کمتری داراست. همچنین روش پیشنهادی در اکثر کلاس‌ها از سایر روش‌ها نتایج بهتری

جدول ۱. نتایج روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

شاخص ارزیابی	دقت میانگین			
	روش پیشنهادی	روش SVM	روش SVM Obj	خروجی نرم‌افزار eCognition
صحت کاربر	81.39	63.265	61.114	73.022
صحت تولیدکننده	77.744	54.7360	57.647	68.443
خطای نادیده گرفتن	22.255	45.264	42.353	31.557
خطای مشارکت	18.609	36.734	38.886	26.978
شاخص کیفیت	74.988	52.017	53.563	63.077
شاخص دقت کلی	85.177	62.749	65.803	77.096
ضریب کاپا	80.348	52.624	55.02	68.897

سخت‌گیرانه است کمتر بوده و نشان‌دهنده این مطلب است که روش پیشنهادی علاوه بر دقت، صحت بالاتری را نیز داراست. همچنین نزدیکی میزان دو خطای مشارکت و کیفیت، نشان‌دهنده ثبات روش پیشنهادی است که البته این موضوع در خروجی نرم‌افزار اکاگنیشن نیز مشاهده می‌شود، اما در نهایت، کمتر بودن این خطا در روش پیشنهادی، عملکرد بهتر آن را نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج حاصله، روش پیشنهادی، به علت سیستم کنترلی موجود در آن و استفاده از توصیف‌گرهای کیفی هندسی و مفهومی علاوه بر توصیف‌گرهای مرسوم توانست نتایج قابل‌قبولی را کسب کند. مطابق نتایج، اختلاف روش پیشنهادی و سایر روش‌ها در معیار دقت کلی که یک معیار خوش‌بینانه است، نسبت به معیار کیفیت و کاپا که معیارهای



شکل ۱۲. نمودار مقایسه خروجی روش پیشنهادی و دیگر روش‌ها

شده در نتایج، به بررسی موردی هر یک از روش‌های مورد قیاس با روش پیشنهادی در سطح معنی‌داری ۹۵٪ پرداخته شد و نتایج هر یک از روش‌های مورد قیاس به صورت جداگانه با روش پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته و خروجی بررسی در ستون‌های جدول ۲، آورده شده است. اگر نتایج بررسی که در جدول زیر آورده شده، بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، وابستگی آماری بین نتایج وجود ندارد و اختلاف موجود (نتایج جدول ۱) معنی‌دار خواهد بود.

جدول ۲. بررسی وابستگی نتایج روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

قیاس با روش پیشنهادی	SVM	SVM-obj	eCognition
سطح معنی‌داری ۹۵٪	416.39	376.52	90.314

بر طبق نتایج جدول ۲، ارتباطی بین میزان اطمینان آماری آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود ندارد، به عبارت دیگر نتایج طبقه‌بندی روش پیشنهادی قابل قبول است. همچنین نتایج جدول نشان می‌دهد

در بررسی و قیاس روش‌های مختلف طبقه‌بندی، یک رویکرد تحلیلی، بررسی روشی است که طبقه‌بندی را با دقت بیشتری انتخاب می‌کند. با این وجود، هر اختلافی معنی‌دار نیست و از این روی، آزمون‌های آماری به‌منظور 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 (de Leeuw et al. 2006; Foody 2004). آزمون مک‌نمار^۱ یک آزمون آماری است که برای بررسی معنی‌داری آزمون با استفاده از داده‌های زوج، برای نمونه در طرح-های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحقیقت این آزمون، از آزمون‌های آماری ناپارامتری است که برای ارزیابی همانندی دو نمونه استفاده می‌شود. بر اساس این تست می‌توان نتایج طبقه‌بندی با دو روش مختلف را به صورت دودویی با هم قیاس کرد و میزان سطح وابستگی آماری بین آن دو را مورد تحلیل قرار داد. بر این اساس به‌منظور بررسی معنی‌داری اختلاف‌های ذکر

1 McNemar

اضافه شدن یک روند انتخاب ویژگی خودکار یا بهینه‌سازی در روند تعیین ویژگی‌های بافتی مختلف نیز می‌تواند در امر بهبود دقت، مؤثر باشد.

۵- نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، استفاده از مفاهیم تحلیل عارضه مبنا و به‌کارگیری سیستم‌های خبره به منظور قانون‌مندی در روند قطعه‌بندی در سطوح مقیاس کلاسی است. بدین منظور با وارد کردن قابلیت تحلیل سیستم‌های خبره برای کنترل هدفمند روند توأمان قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر، با در نظر گرفتن ویژگی‌های آنتولوژی کلاس‌های هدف، بهبود دقت تحقق می‌یابد. در نهایت معماری سیستم مورد نظر بر اساس این مفاهیم بنا شد. در این راستا، توجه به نیازهای طبقه‌بندی شی‌مبنا و لزوم تلفیق قطعات کلاس‌های صحنه در سطوح کلاس‌های طبقه‌بندی، با استفاده از مفاهیم کلاسی و هندسه گروه کلاس‌های تصویر و جلوگیری از ورود زیر قطعه‌بندی از طریق تلفیق روند قطعه‌بندی با اطلاعات تفسیری، ترکیب روش‌های طبقه‌بندی جهت نتیجه‌گیری بهتر (دانش‌پایه-SVM)، تصمیم‌گیری وزن دهی شده و ارائه روشی مناسب برای پایش و کنترل در سطوح مقیاس کلاسی مدنظر است.

یکی از ویژگی‌های این سیستم، قابلیت تصحیح سیستم است، این ویژگی در بحث کنترل به صورت ویژه، خود را نمایان می‌سازد، برای نمونه پس از تفسیر اولیه مناطق سیستم با توجه به نمونه‌های اولیه، محدود به داده‌های با درصد اطمینان بالا است و در ادامه با افزایش قدرت استنتاج سیستم، بار دیگر تحلیل و برچسب‌دهی صورت پذیرفته و بعد از سری

نتایج حاصله از خروجی اکانگنشن نسبت به سایرین کوچک‌تر بوده، یعنی شباهت آماری این خروجی به روش پیشنهادی بیشتر است، اما همچنان سطح معنی-داری حفظ شده است.

در این پژوهش، سعی شد یک سیستم تفسیری ساختار یافته طراحی شود تا براساس قواعد مفهومی روند کنترل شده‌ای را در جهت بهبود طبقه‌بندی تصاویر به کار گیرد. چون گروه کلاس‌های اصلی مورد انتظار در روند تفسیری سنجش‌ازدوری محدود است، قواعد کلی مورد نیاز به منظور استفاده، تا حد زیادی پایدار باقی خواهند ماند، اما در عین حال توسعه یک الگوریتم کلی برای تفسیر همه کلاس‌ها مشکل است، زیرا ویژگی‌های تصویری برای تصاویر مناطق مختلف و ویژگی‌های منطقه‌ای، محیطی و ... متفاوت است. به عبارت دیگر قوانین معنایی موجود در حالت حفظ شرایط نوع صحنه و محدوده جغرافیایی مورد نظر برقرار بوده اما با تغییر وسیع شرایط کلاسی و صحنه، نیازمند به‌روزرسانی پایگاه دانش متناسب با آن خواهد بود. بر این اساس، یک سیستم تفسیری مناسب، بایستی امکان ایجاد و توسعه به منظور استفاده در کاربردهای مختلف را داشته باشد که این موضوع، با در نظر گرفتن قابلیت استفاده از دانش اضافی، درباره اشیاء صحنه به‌طور کلی و یا دانش خاص در مورد منطقه مشاهده در سیستم دانش‌پایه مورد استفاده در روند تصمیم‌گیری تا حدی مدنظر قرار داده شد؛ هر چند خود این روند نیز می‌تواند در ادامه، مورد تکمیل قرار گیرد. همچنین در این تحقیق، از ویژگی‌های طیفی محدودی استفاده شده است، در حالی که گسترش حوزه‌های ویژگی می‌تواند توان سیستم را در تفکیک‌پذیری افزایش دهد. بر این اساس،

۶- سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح که تأمین‌کننده داده، در پیشبرد تحقیق حاضر بوده، تشکر و قدردانی به عمل آورند.

۷- منابع

- Agarwal, P., 2005, **Ontological considerations in GIScience**, International journal of geographical information science, 19, 501-536
- Almendros-Jiménez, J.M., Domene, L. & Piedra-Fernández, J.A., 2013, **A framework for ocean satellite image classification based on ontologies**, IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, 6, 1048-1063
- Andres, S., Arvor, D. & Pierkot, C., 2012, **Towards an ontological approach for classifying remote sensing images**, in Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS), 2012 Eighth International Conference on (pp. 825-832): IEEE
- Arvor, D., Durieux, L., Andrés, S. & Laporte, M.-A., 2013, **Advances in geographic object-based image analysis with ontologies: A review of main contributions and limitations from a remote sensing perspective**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 82, 125-137
- Azizia, Z., Najafi, A. & Sohrabia, H., 2008, **Forest Canopy Density Estimating Using Satellite Images**, The International Archives of

کنترل‌ها، برچسب نهایی صادر خواهد شد. جهت اطمینان از کارایی سیستم، بر روی تصویر منطقه شهری، تست شده و در نهایت با دقت کلی ۸۵/۱۷ و ضریب کاپا ۸۰/۳۵ عملکرد مناسبی از خود نشان داده است. برای ارزیابی‌های نسبی تصویر، تست با روش‌های دیگری نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که در نهایت روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها با بهبود ۸٪ دقت کلی و ۱۱/۵٪ دقت کاپا، نتایج بهتری را به دست آورده است. مطابق نتایج، اختلاف روش پیشنهادی و سایر روش‌ها در معیار دقت کلی که یک معیار خوش‌بینانه است نسبت به معیار کیفیت و کاپا که معیارهای سخت‌گیرانه است کمتر بوده و نشان‌دهنده این مطلب است که روش پیشنهادی که علاوه بر دقت، صحت بالاتری را نیز دارا باشد. همچنین نزدیکی میزان دو خطای مشارکت و کیفیت، نشان‌دهنده ثبات روش پیشنهادی است که البته این موضوع در خروجی نرم‌افزار اکاگنیشن نیز مشاهده می‌شود، اما در نهایت کم‌تر بودن این خطا در روش پیشنهادی عملکرد بهتر آن را نشان می‌دهد. نتایج طبقه‌بندی تصویر تست با روش‌های مختلف مورد ارزیابی و قیاس قرار گرفته و در نهایت روش پیشنهادی در ارزیابی‌های نسبی نیز عملکرد مناسبی داشته است. برای همین می‌توان گفت اگرچه تفسیر رقومی با ابزارهای امروزی توان کمتری در تحلیل‌های کیفی در قیاس با تفسیر چشمی دارد، اما مزایای آن از یک سو و توسعه ابزارهای هوش مصنوعی از سوی دیگر باعث شده، موضوعی مورد توجه در تحقیقات امروزی فتوگرامتری و سنجش‌ازدور باشد. هرگونه پیشرفت در این زمینه می‌تواند با افزایش صحت نتایج، سبب تسریع و تسهیل در آنالیز تصاویر و کاهش هزینه تولید اطلاعات شود.

- Cui, P., Liu, S., & Zhu, W., 2018, **General Knowledge Embedded Image Representation Learning**, IEEE Transactions on Multimedia, 20, 198-207
- de Leeuw, J., Jia, H., Yang, L., Liu, X., Schmidt, K., & Skidmore, A., 2006, **Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods**, International Journal of Remote Sensing, 27, 223-232
- Dey, V., Zhang, Y. & Zhong, M., 2010, **A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective**. na
- Di Sciascio, E., Donini, F.M. & Mongiello, M., 2002, **Structured Knowledge Representation for Image Retrieval**, J. Artif. Intell. Res.(JAIR), 16, 209-257
- Eric Maillot, N. & Thonnat, M., 2008, **Ontology based complex object recognition**, Image and Vision Computing, 26, 102-113
- Fonseca, F.T., Egenhofer, M.J., Agouris, P. & Câmara, G., 2002, **Using ontologies for integrated geographic information systems**, Transactions in GIS, 6, 231-257
- Foody, G.M., 2004, **Thematic map comparison**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 70, 627-633
- Forestier, G., Puissant, A., Wemmert, C. & Gançarski, P., 2012, **Knowledge-based region labeling for remote sensing image interpretation**, Computers, Environment and Urban Systems, 470-480
- the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37, 1127-1130
- Belgiu, M. & Drăguț, L., 2014, **Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 96, 67-75
- Belgiu, M., Tomljenovic, I., Lampoltshammer, T.J., Blaschke, T. & Höfle, B., 2014, **Ontology-based classification of building types detected from airborne laser scanning data**, Remote Sensing, 6, 1347-1366
- Bhagat, V., 2014, **Use of IRS P6 LISS-IV data for land suitability analysis for cashew plantation in hilly zone**, Asian Journal of Geoinformatics, 14, 23-35
- Carletta, J., 1996, **Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic**, Computational linguistics, 22, 249-254
- Cohn, A.G. & Renz, J., 2008, **Qualitative spatial representation and reasoning**, Foundations of Artificial Intelligence, 3, 551-596
- Comaniciu, D. & Meer, P., 2002, **Mean shift: A robust approach toward feature space analysis**, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 24, 603-619
- Costa, H., Foody, G.M. & Boyd, D.S., 2017, **Using mixed objects in the training of object-based image classifications**, Remote Sensing of Environment, 190, 188-197

- image analysis and data mining for building ontology of informal urban settlements**, In, Image and Signal Processing for Remote Sensing XVIII (p. 853711): International Society for Optics and Photonics
- Kiani, A. & Sahebi, M.R., 2015, **Edge detection based on the Shannon Entropy by piecewise thresholding on remote sensing images**, IET Computer Vision, 9, 758-768
- Kim, M., Madden, M. & Warner, T., 2008, **Estimation of optimal image object size for the segmentation of forest stands with multispectral IKONOS imagery**. Object-based image analysis (pp. 291-307): Springer
- Luo, H., Li, L., Zhu, H., Kuai, X., Zhang, Z. & Liu, Y., 2016, **Land cover extraction from high resolution zy-3 satellite imagery using ontology-based method**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 5, 31
- Lv, Z., Liu, T., Wan, Y., Benediktsson, J.A. & Zhang, X., 2018, **Post-Processing Approach for Refining Raw Land Cover Change Detection of Very High-Resolution Remote Sensing Images**, Remote Sensing, 10, 472
- Ma, L., Fu, T., Blaschke, T., Li, M., Tiede, D., Zhou, Z., Ma, X. & Chen, D., 2017, **Evaluation of feature selection methods for object-based land cover mapping of unmanned aerial vehicle imagery using random forest and support vector machine classifiers**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 6, 51
- Gruber, T.R., 1995, **Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing?**, International journal of human-computer studies, 43, 907-928
- Guindon, B., 1997, **Computer-based aerial image understanding: A review and assessment of its application to planimetric information extraction from very high resolution satellite images**, Canadian journal of remote sensing, 23, 38-47
- Hay, G., Niemann, K. & McLean, G., 1996, **An object-specific image-texture analysis of H-resolution forest imagery**, Remote Sensing of Environment, 55, 108-122
- Hay, G.J., Castilla, G., Wulder, M.A. & Ruiz, J.R., 2005, **An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7, 339-359
- Herold, M., Liu, X. & Clarke, K.C., 2003, **Spatial metrics and image texture for mapping urban land use**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 69, 991-1001
- Jelokhani-Niaraki, M., Sadeghi-Niaraki, A. & Choi, S.-M., 2018, **Semantic interoperability of GIS and MCDA tools for environmental assessment and decision making**, Environmental Modelling & Software, 100, 104-122
- Khelifa, D. & Mimoun, M., 2012, **Object-based**

- system for e-learning based on ontology and sequential pattern mining**, Future Generation Computer Systems, 72, 37-48
- Vincent, L. & Soille, P., 1991, **Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations**, IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 583-598
- Yan, W.Y., Shaker, A. & El-Ashmawy, N., 2015, **Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review**, Remote Sensing of Environment, 158, 295-310
- Zlatoff, N., Tellez, B. & Baskurt, A., 2004, **Image understanding and scene models: a generic framework integrating domain knowledge and gestalt theory**, In, Image Processing, 2004. ICIP'04. 2004 International Conference on (pp. 2355-2358): IEEE
- Maillot, N.E. & Thonnat, M., 2008, **Ontology based complex object recognition**, Image and Vision Computing, 26, 102-113
- Matsuyama, T., 1987, **Knowledge-based aerial image understanding systems and expert systems for image processing**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 25, 305-316
- Matsuyama, T. & Hwang, V., 1990, **SIGMA: A knowledge-based aerial image understanding system**, Perseus Publishing
- McKeown, D.M., et al., 1994, **Research in the Automated Analysis of Remotely Sensed Imagery**, DARPA Image Understanding Workshop, 99-132
- Meinel, G. & Neubert, M., 2004, **A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 35, 1097-1105
- Powers, R.P., Hay, G.J. & Chen, G., 2012, **How wetland type and area differ through scale: A GEOBIA case study in Alberta's Boreal Plains**, Remote Sensing of Environment, 117, 135-145
- Rao, A.R. & Lohse, G.L., 1996, **Towards a texture naming system: identifying relevant dimensions of texture**, Vision Research, 36, 1649-1669
- Tarus, J.K., Niu, Z. & Yousif, A., 2017, **A hybrid knowledge-based recommender**



سنجش از دور , GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال دهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۷
Vol.10, No.4, Winter 2019 Iranian Remote Sensing & GIS

27-54

Object based interpretation of high spatial remote sensing images based on knowledge-based systems

Kiani A.^{1*}, Ebadi H.², Khanlou H.³

1. Ph.D. student in Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology
2. Professor in Geomatics Engineering Faculty, K.N.Toosi University of Technology
3. Master of Science in Geodesy, Department of Geomatics Engineering, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Abstract

Land cover classification in remote sensing imagery is one of the most widely used spatial information extraction methods, which can facilitate generating object imagery classes of the ground surface in order to automate and accelerate meeting the basic needs of management, organization, and exploitation of the environment. Due to the similar behavior of pixels, remote-sensing image classification using merely the spectral and textural information would lead to inefficiency in the classification. In fact, in classification process, objects are commonly identified using spectral properties of image pixels. If the spatial and conceptual properties are also considered, it causes to a better distinction between image classes and closes the machine process to human interpretation and adds to the system's performance. The present research is mainly focused on the use of interactive segmentation and interpretation processes with respect to the geometry of the image classes. The accuracy of the results have improved by introducing the knowledge-based rules to control and regulate the interactive process, taking into account the geometric properties of target classes. To evaluate the efficiency of the proposed method, the results were evaluated and compared with some of the other methods on IRS satellite images in an urban area. The results showed that geometric and conceptual features as a complementary information source, improve classification results in the urban area with heterogeneous spectral effects. Overall, the proposed hybrid technique improved overall accuracy and Kappa coefficient by 8% and 11.5%, respectively.

Key words: classification, High spatial image, knowledge based system, Object based interpretation

*Correspondence Address: Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Geodesy and Geomatics Faculty, K. N Toosi University of Technology, Postal Code: 15433-19967, Email: abasekiani@yahoo.com