تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۴

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

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

پست الکترونیکی: abbasekiani@yahoo.com

چکیده

طبقه‌بندی پوشش اراضی در تصاویر سنجش‌ازدور یکی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات مکانی می‌باشد که می‌تواند با تولید کلاس‌های تصویری عوارض سطح زمین به‌منظور اتوماسیون و تسریع در جهت رفع نیازهای اساسی به‌منظور در اختیار داشتن اطلاعات مکانی بهنگام از منابع با هدف مدیریت، ساماندهی و بهره‌برداری از محیط مفید واقع گردد. به دلیل مشابهت رفتار پیکسل‌ها، طبقه‌بندی تصاویر هوایی در مناطق پیچیده و متراکم شهری صرفاً با استفاده از اطلاعات طیفی و بافتی منجر به ناکارآمدی طبقه‌بندی می‌شود. به عبارتی در طبقه‌بندی رایج بیشتر با استفاده از خصوصیات طیف و ویژگی‌های پیکسل‌های تصویر به شناسایی عوارض و کلاس‌ها پرداخته می‌شود. درصورتی‌که 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 نمود و بر کارایی سیستم افزود. تمرکز اصلی تحقیق حاضر استفاده از مفاهیم سیستم‌های خبره در طبقه‌بندی به‌منظور آنالیز شئ‌گرای تصاویر در سطوح مقیاس کلاسی است. بدین منظور 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 گردد. جهت بررسی کارایی تکنیک پیشنهادی، ارزیابی و مقایسه روش پیشنهادی با چند روش دیگر بر روی تصاویر ماهواره‌ای IRS در منطقه‌ی 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 گردند. طوری که 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.

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

Abbas kiani[۱*], Hamid Ebadi[۲], Hekmat allah khanlou[۳]

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

*Correspondence Address: Department of Photogrammetry and Remote Sensing, Geodesy and Geomatics Faculty, K. N Toosi University of Technology, Postal Code :۱۵۴۳۳-۱۹۹۶۷ , Email: abbasekiani@yahoo.com

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 ۸٪ and ۱۱,۵٪, respectively.

KEY WORDS: classification – High spatial image - knowledge based system - Object based interpretation.

۱- مقدمه

در دهه‌ی اخیر با پیشرفت تکنولوژی‌های تصویربرداری و وجود تصاویر با قدرت تفکیک بالا، به‌کارگیری روش‌های سنجش‌ازدوری به‌منظور تولید اطلاعات مکانی به‌منظور 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 گردد. 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. ۲۰۰۳). به‌منظور رفع ضعف فوق، می‌توان علاوه بر باندهای طیفی، از آماره‌های بافتی و ارتفاعی نیز استفاده نمود. بااین‌حال، 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. ۲۰۱۵).

در نظام کلاسه‌بندی و برچسب‌دهی عوارض در سیستم تفسیری انسان علاوه بر ویژگی‌های نام برده شده مفاهیم نیز ورود پیدا می‌کنند. به عبارتی می‌توان گفت که 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. ۲۰۱۸; Matsuyama ۱۹۸۷). در این حوزه، در تفسیر بصری از اطلاعات طیفی و تفسیر به صورت کمی در سطح پیکسل، به دلیل سطوح مختلف ادراک تفاوت‌هایی مشاهده شده است. در حقیقت اطلاعات معنایی همیشه به وضوح 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 تجزیه‌وتحلیل شده) تعریف شده است (Matsuyama and Hwang, ۱۹۹۰). به‌منظور کاهش شکاف معنایی، روش‌های تجزیه‌وتحلیل تصویر با استفاده روش‌های مبتنی بر شیء گسترش پیدا کرده است (Costa et al. ۲۰۱۷; McKeown ۱۹۹۴).

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 که 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 دادگانی به نام پایگاه‌دانش به شکل ساختارمند ذخیره نموده، و سپس با استفاده از روش‌هایی خاص استنتاج از این داده‌ها نتایج موردنیاز حاصل می‌شود (Tarus et al. ۲۰۱۷). به‌طورکلی، کسب دانش از حوزه خبره دشوار است. کارشناسان به‌ندرت قادر به عرضه‌ی شرح صریح از دانش خود برای شناسایی اشیاء به‌طور مستقیم می‌باشند و این یک مشکل شناخته‌شده در جامعه هوش مصنوعی است. یکی از راه‌کارهای مناسب جهت ارائه دانش استفاده از مفاهیم آنتولوژی است. همان‌طور که در (Gruber ۱۹۹۵) تعریف‌شده 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 حوزه‌ی مولتی‌مدیا استفاده شد. در زمینه‌ی ژئوماتیک آنتولوژی ابتدا به GIS معرفی شد (Agarwal ۲۰۰۵). به تازگی، محققان به اهمیت استفاده از آنتولوژی در زمینه سنجش‌ازدور، به‌ویژه در تفسیر تصویر سنجش از راه دور، اهمیت داده‌اند.

---

[۱] intrinsic properties
[۲] Procedural knowledge

در (Zlatoff et al. ۲۰۰۴)، روابط فضایی بین مفاهیم برای ادغام مناطق و بازشناسی اشیاء به‌کاربرده شده است. استفاده مطلق از روابط فضایی در مورد تصاویر سنجش‌ازدور امکان‌پذیر نمی‌باشد. این کار به اختلافات بین حوزه دانش و رویه‌ها[1] اشاره می‌کند. در (Eric Maillot and Thonnat ۲۰۰۸) یک سیستم بازشناسی و یادگیری شئ بر مبنای آنتولوژی برای تحلیل تصاویر در حوزه‌ی مولتی‌مدیا 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 می‌باشد. در حوزه‌ی GIS، پیشنهادات مختلفی مشتمل بر ساخت یک آنتولوژی وجود دارد. به‌طور مثال، (Fonseca et al. ۲۰۰۲) 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 می‌باشد 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. ۲۰۱۸).

در زمینه‌ی سنجش‌ازدور خلیفا و همکاران (۲۰۱۲) یک تکنیک داده‌کاوی را برای سازه‌های مسکونی (شهرک‌های) غیر برنامه‌ریزی‌شده بر اساس هستی شناسایی ارائه کردند. در این تحقیق مناطق غیر برنامه‌ریزی‌شده از طریق تجزیه‌وتحلیل قطعات خطی غیر منظم شناسایی، و از تصویر ورودی جدا شدند. درنهایت یک آنتولوژی ساده بر اساس مراحل پردازش قبلی ساخته شد. در (Almendros-Jiménez et al. ۲۰۱۳) 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 (۲۰۱۴) یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر آنتولوژی برای استخراج انواع ساختمان با داده‌های اسکن لیزر هوائی استفاده نمودند. لو و همکاران (۲۰۱۶) 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٪ حاصل شد. نویسندگان اظهار داشتند که اگرچه دقت حاصله بسیار زیاد نیست، اما استفاده از آنتولوژی به‌طور قابل‌توجهی باعث بهبود خروجی استخراج شده متناسب با واقعیت بوده و به شکلی که اغلب در کار عملی موردنیاز است می‌باشد، به‌ویژه اینکه پردازش پس از طبقه‌بندی در مطالعه مورد اشاره اعمال نمی‌شود.

از طرفی همه‌ی الگوریتم‌های شناختی موجود تا حد زیادی متکی به نحوه‌ی تشخیص اولیه و استخراج صحیح حدود عوارض و اشیا تصویری در قطعه‌بندی می‌باشند؛ و خطاهای ناشی از این مرحله می‌تواند در نتایج تأثیرات منفی ایجاد نماید. در (Forestier et al. ۲۰۱۲) یک روش برچسب‌دهی اشیاء از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از مفاهیم فرموله شده در یک پایگاه دانش ارائه شد. در این روش ابتدا یک الگوریتم قطعه‌بندی برای به دست آوردن اشیاء از تصویر اعمال شد. پس‌ازآن، روند تطبیق محاسبه شباهت بین ویژگی‌های اشیاء و مفاهیم در پایگاه دانش صورت پذیرفت. اشیاء پس‌ازآن با مفهوم داشتن بالاترین امتیاز شباهت برچسب شده است، همچنین جهت قطعه‌بندی یک فرآیند نظارت‌شده را پیشنهاد نمودند. در (Andres et al. ۲۰۱۲) از استدلال منطقی به‌منظور برچسب‌دهی به اشیاء استخراج‌شده از تصاویر استفاده شد. آن‌ها همچنین برای استخراج اشیاء از قطعه‌بندی تصاویر استفاده نمودند. این روش‌ها بر دانش متخصصین برای تفسیر معنایی از اشیاء استخراج تکیه می‌کنند. بااین‌حال، هیچ‌یک از آن‌ها به‌صورت تلفیقی با

[1] procedures

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 الگوریتم‌های قطعه‌بندی تصویر تولید اجسامی است که مطابق با اشیاء هدف می‌باشند، اما درواقع، قطعه‌بندی یک مشکل حل‌نشده در تحلیل شی‌مبنا باقی‌مانده است (Arvor et al. ۲۰۱۳). علاوه بر این، بسیاری از الگوریتم‌های قطعه‌بندی موجود نیاز به تنظیم پارامترها توسط کاربر برای استخراج اشیاء خاص موردنظر دارند (Hay et al. ۲۰۰۵)، که بدان معنی است که قطعه‌بندی تصویر یک روند دستی و سعی و خطا می‌باشد (Arvor et al. ۲۰۱۳). تلاش‌هایی به‌منظور توسعه‌ی روشی برای شناسایی پارامترهای قطعه‌بندی بهینه صورت گرفته‌اند که به دو صورت نظارت‌شده و یا بدون نظارت می‌باشند که تا حدی به‌صورت خودکار نیز انجام می‌شوند (Belgiu and Drăguţ ۲۰۱۴). 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 می‌باشد مناسب هستند، اما در روش‌هایی که قطعه‌بندی تمام عوارض مدنظر می‌باشند کارایی مناسبی نخواهند داشت و امکان ایجاد خطای فراقطعه‌بندی[1] را نیز ممکن است افزایش دهند.

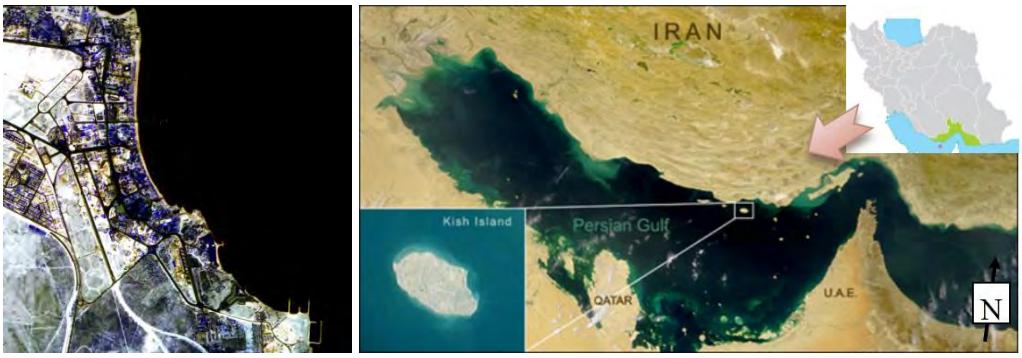
هدف این پژوهش استفاده از مفاهیم تحلیل عارضه‌مبنا و به‌کارگیری سیستم‌های خبره به‌منظور قانون‌مندسازی روند قطعه‌بندی در سطوح مقیاس کلاسی است. بدین منظور با توجه به نیازهای طبقه‌بندی شی‌مبنا و لزوم تلفیق قطعات کلاس‌های صحنه در سطوح کلاس‌های طبقه‌بندی با استفاده از مفاهیم کلاسی و هندسه‌ی گروه کلاس‌های تصویر از طریق تلفیق روند قطعه‌بندی با اطلاعات تفسیری، تصمیم‌گیری وزن‌دهی شده و ارائه روشی مناسب برای پایش و کنترل در سطوح مقیاس کلاسی مدنظر می‌باشند. 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 کد نویسی در محیط نرم‌افزار متلب اجرا شده است. روش پیشنهادی بر روی داده‌هایی که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها بین ۱ و تا ۵ متر می‌باشد 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-۴) و سه باند سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک به همراه داده‌های ارتفاعی متعلق به منطقه‌ای در حوزه‌ی خلیج‌فارس و شهر کیش می‌باشد (شکل ۱-الف). ازآنجایی‌که 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.

[1] under-segmentation



(ب) (الف)

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

۲-۲- مسائل مهندسی دانش

یکی از راه کارهای مناسب جهت 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 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 گردد. برای هر یک از این مفاهیم نیز دسته‌بندی‌های مختلفی در (Maillot and Thonnat ۲۰۰۸) برشمردند که درنهایت ترکیب خاصی از این مجموعه مفاهیم یک معنی ادراکی است. در سنجش‌ازدور نیز این مفاهیم با توجه به کلاس‌های 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 ۱۹۹۶) 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 سبب تصمیم‌گیری‌های شکننده می‌گردد. برای تفسیر انسان از تصاویر این تصور بصری صافی[۲] یا زبری[۳] منطقه یک نشانه مهم است. به‌عنوان‌مثال، آب معمولاً بافت همواری دارند؛ چمن ممکن است به‌عنوان بافت متوسط در نظر گرفته و علف هرز با بافت خشن در تصاویر سنجش‌ازدوری ظاهر می‌شوند (هرچند همیشه استثنا وجود دارد). چنانچه این نمونه نشان می‌دهد، تصویر بافت شامل زمینه‌ی

---

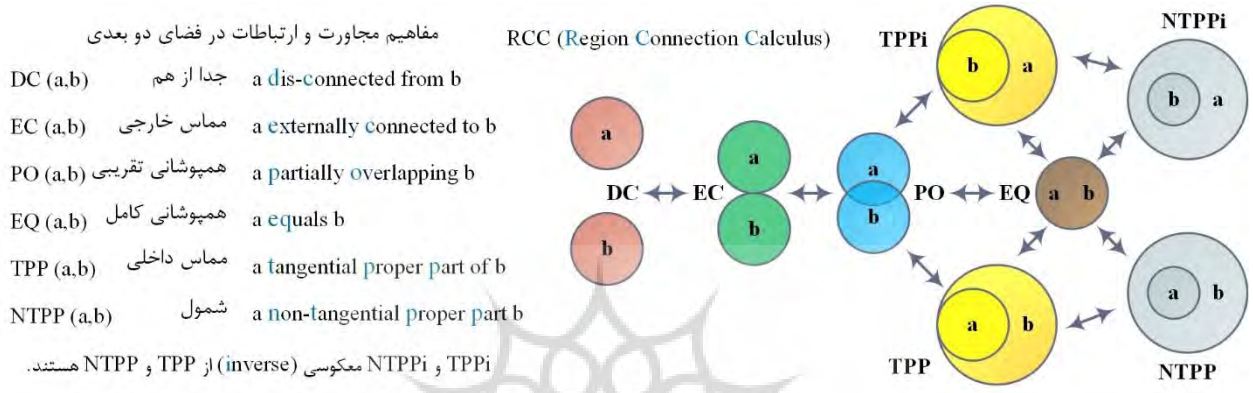
۱ axioms

۲ smoothness

۳ roughness

مکانی است؛ بنابراین نمی‌توان مفهوم آن را در یک پیکسل یا نقطه جستجو نمود (Hay et al. ۱۹۹۶). فرم قوی‌تر از تصویر بافت از تعامل فضایی عوارض تصویری همسایه ایجاد می‌گردد (Powers et al. ۲۰۱۲) که در تحلیل‌های عارضه‌مبنا صورت می‌پذیرد.

بخشی از سلسله‌مراتب مفاهیم، خصوصیات هندسی است که می‌تواند برای توصیف شکل اشیاء مورداستفاده قرار گیرد که در (Di Sciascio et al. ۲۰۰۲) به تفضیل موردبررسی قرارگرفته شده است. سه بخش دیگر از این آنتولوژی حاوی موقعیت، جهت و اندازه مفاهیم است. همچنین مجموعه‌ای از روابط فضایی (Cohn and Renz ۲۰۰۸) است که می‌تواند برای تعریف روابط بین هر اشیاء مانند مجاورت، شمول و ... مورداستفاده قرار گیرد (شکل ۲.).



شکل ۲. مجموعه‌ای از روابط فضایی براساس مدل RCC-۸ (Cohn and Renz ۲۰۰۸)

در فرم کلی بین تفسیر بصری از اطلاعات طیفی و تفسیر معنایی پیکسل به دلیل سطوح مختلف ادراک، تفاوت‌هایی وجود دارد. روش‌های پیکسل‌مبنا دانش ضمنی خود را با دانش صریح به‌دست‌آمده از شرایط آموزش رسمی (به‌عنوان‌مثال رفتار طیفی از پوشش گیاهی) محدودشده می‌بینند. به‌منظور کاهش شکاف معنایی، روش‌های تجزیه‌وتحلیل تصویر با استفاده از روش‌های بر مبنای منطقه (یا مبتنی بر شیء) گسترش پیداکرده است (McKeown ۱۹۹۴). با توسعه روش‌های آنالیز شئ‌گرای تصاویر، نقطه‌ضعف روش‌های مبتنی بر پیکسل رفع شده و طیف وسیعی از اطلاعات طیفی، متنی، ساختاری و مفهومی از عوارض تصویری فراهم شد. درعین‌حال باید توجه داشت که قطعه‌بندی 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 قطعه‌بندی تصاویر قابل‌استفاده خواهد بود. این روش‌ها وقتی هدف تعیین یک کلاس مشخص مانند ساختمان می‌باشد مناسب هستند (Belgiu and Drăguţ ۲۰۱۴)، اما در روش‌هایی که قطعه‌بندی تمام عوارض مدنظر می‌باشند کارایی مناسبی نخواهند داشت؛ و با توجه به بالا بودن تنوع کلاسی عوارض سنجش‌ازدوری هم چنان نمی‌توانند در این تصاویر راه گشا باشند و در اکثر موارد رسیدن به قطعه‌بندی ایده‌آل ممکن نیست و نواحی استخراج‌شده بیشتر یا کمتر از مقدار صحیح رشد می‌کنند. خطای فرا-قطعه‌بندی در فرآیندهای پردازشی بعدی قابل تصحیح نمی‌باشد و خطای وارده در مراحل بعدی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. اما تا زمانی که زیرقطعه‌بندی[۱] در سطح قابل‌قبول باقی می‌ماند، نقص در قطعه‌بندی را می‌توان رد کرد، به‌طوری‌که سطح بالایی از دقت طبقه‌بندی هنوز هم می‌تواند به دست آورد. براین‌اساس در روند

[۱] under-segmentation

پیشنهادی تحقیق حاضر با اتکا بر این موضوع ابتدا یک قطعه‌بندی اولیه به‌منظور 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 ۱۹۹۷). درنتیجه کنترل و انتخاب فرآیندی که بتوانند 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 شئ‌گرای تصاویر در سطوح مقیاس کلاسی تصاویر می‌باشد. بدین منظور 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 گردد. بر این اساس فلوچارت روش پیشنهادی به صورت کلی در شکل ۳ ارائه شده است. مطابق فلوچارت، ابتدا براساس نوع داده‌ی 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 ارائه می‌شود، طراحی گردید. همچنین روند قطعه‌بندی نیز هم‌زمان با روند تفسیری و براساس ویژگی‌های گروه کلاس‌های تفسیری تکامل‌یافته تا به سطح عوارض برسند. در انتها با استفاده از داده واقعیت‌زمینی، خروجی روش پیشنهادی ارزیابی خواهد شد. در ادامه در این بخش جزئیات بیشتری از هریک از این مراحل بیان خواهد شد.

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 می‌گردند. همچنین قطعه‌بندی سطح پایین اولیه جهت 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.

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

شکل ۴. ویژگی‌های مختلف قابل استخراج از تصویر

با توسعه روش‌های آنالیز شئ‌گرای 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 شئ‌گرا در مرحله قطعه‌بندی معمولاً با دشواری همراه بوده و مبتنی بر فرآیند سعی-خطا می‌باشد لذا از سطح اتوماسیون سیستم کاسته و نیاز به تنظیم پارامترها را سبب خواهد **شد** (Kim et al. ۲۰۰۸; Meinel and Neubert ۲۰۰۴). از دیدگاه سنجش‌ازدور، تفاوت در شکل و اندازه‌ی 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 زمینه یافتن مقدار بهینه پارامترهای قطعه‌بندی انجام شده است، بااین‌وجود کماکان روش 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 هم چنان نمی‌توانند در این تصاویر راه گشا باشند. این روش‌ها وقتی هدف تعیین یک کلاس مشخص مانند ساختمان می‌باشد مناسب هستند، اما در روش‌هایی که قطعه‌بندی تمام عوارض مدنظر می‌باشند کارایی مناسبی نخواهند داشت (Belgiu and Drăguţ ۲۰۱۴). از طرفی همان‌طور که در بخش ۲-۲- بیان شد تا زمانی که زیر قطعه‌بندی در سطح قابل‌قبول باقی می‌ماند، نقص در قطعه‌بندی می‌توان رد کرد، به‌طوری‌که سطح بالایی از دقت طبقه‌بندی 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 به‌منظور 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 (آب‌پخشان)، مینیمم انتقال[1]، سوپر پیکسل‌ها و ... معمولاً تصویر را به بسیاری از مناطق کوچک (ریزعارضه) تقسیم خواهد نمود. روش حوضه آبریز قطعات اولیه همگن و نگه‌دارنده‌ی مرز تولید می‌نماید 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 نماید 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 کارآمدی است (Comaniciu and Meer ۲۰۰۲; Dey et al. ۲۰۱۰; Vincent and Soille ۱۹۹۱).

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 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 مبنا و عارضه مبنا خصوصیات، مزایا و معایب مختص به خودشان را دارا می‌باشند و گاها بر حسب نوع تصویر دقت هر یک از روش‌ها برای عوارض مختلف تصویری می‌تواند متفاوت باشد، ازاین‌روی در این پردازش جهت بهره‌برداری ترکیبی از خصوصیات روش‌های پیکسل مبنا و عارضه مبنا این کار صورت گرفته شده است. برای برچسب‌دهی پیکسل‌مبنای اولیه نیز از میان روش‌های موجود روش ماشین بردار پشتیبان انتخاب شده است. طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان یک طبقه‌بندی غیر پارامتریک می‌باشد، به عبارتی در این روش چون هیچ فرضی در مورد توزیع داده‌ها در فضای ویژگی ندارد از لحاظ نحوه‌ی عملکرد نیز می‌تواند مکمل خوبی برای فرآیند تفسیری اولیه باشد. بنابراین در روند پیشنهادی ابتدا تصویر به صورت پیکسل مبنا 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 (جزییات این مفهوم در بخش ۳-۳ شرح داده خواهد شد) در یک متد عارضه‌مبنا 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 جهت افزایش اتوماسیون و از SVM در حالت کرنل خطی استفاده و پارامتر c را در حالت پیش‌فرض (c=۱) قرار داده شده است.

متداول‌ترین روش برای تفسیر دانش‌مبنا روش 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 ویژگی‌ها (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 سلسله‌مراتبی به‌خصوص برای عوارض دارای کلاس متشابه و یا کلاس‌هایی که در برخی از سرشاخه‌ها دارای مقادیر نزدیکی می‌باشند به علت وجود حدودآستانه تصمیم‌گیری مشکل‌زا خواهد شد و یک تصمیم سخت سبب عدم اتخاذ تصمیم مطلوب خواهد شد. اما در روند امتیازدهی حتی در

[1] mean shift

صورت رد شدن در یک‌مرحله تنها امتیاز همان مرحله از دست خواهد رفت ولی قابلیت کسب امتیاز از زیرشاخه‌ها همچنان برقرار است و این موضوع سبب ایجاد رقابت و کسب تصمیم بهینه به‌خصوص در کلاس‌ها و عوارض مرزی خواهد شد. درعین‌حال روش امتیازدهی اگر به صورت خام مورد استفاده قرار گیرد، در عین مزایایی که 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 همه‌ی عوارض شروع نمی‌کند بلکه عوارض دارای حداقل شرایط اجازه‌ی 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 جهت انطباق در همه‌ی کلاس‌های موجود برای آن عارضه انجام نمی‌شود و کلاس‌هایی مانند جاده، پارکینگ، ساختمان و... جهت کاهش حجم محاسبات از سیستم بررسی برای این عارضه خارج می‌گردند. این کار سبب می‌شود حجم عملیات به میزان زیادی کاهش یابد و درعین‌حال 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 می‌باشند. برای انجام این روند، روش سنجش میزان تطابق (سازگاری) پیشنهاد می‌شود. مکانیزم تطابق پیشنهادی یک رویکرد شیءگرا است که چک کردن خصوصیات هر قطعه، با توجه به ویژگی‌ها و برچسب‌دهی پیکسل مبنای اولیه (لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده در شکل) را شامل می‌شود. علاوه بر هر قطعه ورودی، دو ناحیه‌ی 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 مقایسه‌ی ویژگی‌های درونی هر قطعه (همسایگی نزدیک) و ویژگی‌های پیرامونی (همسایگی دورتر) قطعه می‌باشد 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

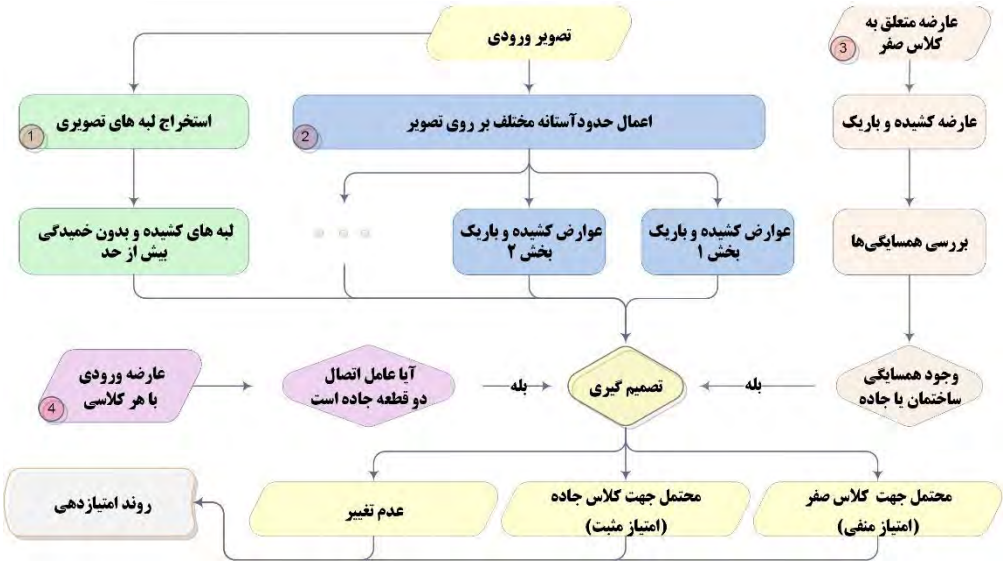
۳-۳- عملیات کنترل و بررسی صحت

پس از تفسیر اولیه مناطق عملیات کنترل و تصحیح آغاز خواهد شد. این فرآیند خود از چند زیر بخش مجزا تشکیل شده است. جهت 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 برچسب 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 درعین‌حال امتیاز راه خاکی و خاک بایر برای آن نزدیک به هم باشد) به آن عارضه برچسب 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 برچسب‌دهی 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 برچسب‌دهی و قطعه‌بندی تصویر، یکسری تصحیحات و قوانین تکمیلی به تفسیر اولیه مناطق اعمال و عوارض مورد وارسی 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 نمودن روند، ممکن است در صورت عدم حذف در مراحل بعدی که برای تصحیح ریزعارضه‌ها به بررسی ویژگی مجاورت پرداخته می‌شود، این نقاط شبه نویز به‌عنوان یک همسایگی شناسایی و موجب اشتباه در روند تصحیحات گردند.

تا مرحله‌ی برچسب‌دهی اولیه مناطق امکان بررسی با ویژگی‌های هندسی، طیفی، بافتی مهیا بود. در مرحله کنترل، قدرت استنتاج و تحلیل بازهم افزایش می‌یابد به این دلیل که در این مرحله‌یک 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 قابل‌تعریف نبود اما در مرحله‌ی 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 براساس خصوصیات کلی کلاس‌های هدف می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند و قطعات علاوه بر بررسی‌های منفرد به‌صورت تعاملی هم مورد تحلیل قرار گیرند. در ادامه امتیازهای کسب‌شده‌ی قطعات در این روند کنترلی می‌تواند در روند شناسایی عوارض در مرحله‌ی تصمیم‌گیری تأثیرگذار باشد.

در ادامه تصحیح هدفمند گروه عوارض شاخص تصویری برای عارضه جاده مدنظر قرار می‌گیرد. منظور از گروه کلاس‌ها مجموعه‌ی عوارضی است که تحت عنوان یک کلاس برگزیده‌شده‌اند، مانند همه‌ی عوارضی که برچسب ساختمان، جاده و ... به آن‌ها داده‌شده است. برای مثال می‌توان قوانینی را در سیستم مدنظر قرارداد تا براساس این قواعد که جاده‌ها عارضه‌هایی کشیده، دارای نسبت قطر بزرگ به کوچک بالا، شیب ملایم، خصوصیات بافتی هموژن، کنتراست بالاتر نسبت به همسایگی و... موردبررسی قرار گیرند (بخش تصمیم‌گیری در شکل ۶) و به‌این‌ترتیب ریزعارضه‌های که در این شرایط صدق می‌کنند را بررسی کرد (شکل ۶).



شکل ۶. کنترل هدفمند گروه عارضه جاده

اطلاعات تصویری به‌طورکلی 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 می‌باشد. 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 شناسایی‌شده و سپس قطعاتی که این خطوط در آن‌ها وجود دارند به‌عنوان عوارض کاندید جاده‌ای موردبررسی بیشتر برای عضویت در این کلاس قرار می‌گیرند (شکل ۶- شماره ۱). همچنین در بررسی موازی عوارض مختلف تصویری با توجه بر این ویژگی آنتولوژی عوارض جاده‌ای که این عوارض خصوصیات بافتی هموژن، کنتراست بالاتر نسبت به همسایگی دارند موردبررسی قرار گیرند. در این روش برای جلوگیری از ورود حدآستانه‌های خاص (وابسته به صحنه) که نیاز به تعیین توسط کاربر دارد، از چند حدآستانه‌های عمومی (تا حالت‌های مختلف پوشش داده شود) استفاده شده است (Kiani and Sahebi ۲۰۱۵). برای تعیین عوارض باریک و کشیده نیز می‌توان از ویژگی خروج از مرکزیت و نسبت قطر اول به اصغر قطعه مورد بررسی استفاده نمود. 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 ازآنجایی‌که 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 کاندیدای ورودی سیستم تصمیم‌گیری روند کنترل گروه عوارض جاده‌ای بوده و مورد کنترل و پردازش‌های بیشتر قرار می‌گیرند. ازآنجایی‌که در این حالات از حدودآستانه 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 همه‌ی ویژگی‌های آن عارضه در نهایت برچسب نهایی به آن داده شود.

در مرحله‌ی بعد اعمال تصحیحات مرحله‌ای به‌صورت متوالی و افزایش میزان ابعاد برای تلفیق قطعات در دستور کار قرار دارد. در هر دوره‌ی تکرار برحسب تغییر اندازه‌ی مقیاس تلفیقی، تغییر همسایگی‌ها و امکان صدق در گروه کلاس‌های تصویری، امتیازهای

جدیدی برای هر قطعه اخذ خواهد گردید 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 توسعه‌ی 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 ...، درنتیجه قطعات می‌توانند در سطوح مقیاس کلاسی و با ابعاد مختلف کنترل‌شده با یکدیگر تلفیق‌شده که ماحصل می‌تواند یک قطعه‌بندی در سطح مقیاس کلاسی باشد.

فرآیند امتیازدهی به این صورت است که برای هر قطعه‌ی تصویری (مانند j) قواعد متناسب با آن قطعه و کلاس‌های مربوطه بررسی و در صورت تطابق در هر قاعده امتیازی کسب می‌گردد و درنهایت با تجمیع امتیازهای به‌دست‌آمده از همه‌ی کلاس‌ها، یک پایگاه داده شامل میزان تطابق (امتیاز) نسبت به کلاس‌های مختلف تصویری برای آن قطعه خواهیم داشت. ازاین‌رو در روش پیشنهادی برای نمونه برای حالت با k کلاس، ابتدا k مقدار اولیه برای هر قطعه تصویری (مانند قطعه‌ی jام) از تفسیر اولیه حاصل می‌شود. این مقادیر در هر قطعه تصویری، ترکیبی از خروجی‌های روش دانش‌پایه[۱] و روش svm می‌باشد (شکل ۵) که از **Error! Reference source not found.** تعیین خواهند شد.

$$T^{0}_{ji} = w_1 \times T^{kb}_{i} + w_2 \times T^{svm}_{i}, \quad \begin{matrix} i = 1:k,\ j = 1:p \\ w_1 = 1 - w_2 \end{matrix}$$ رابطه (۱)

که در آن p تعداد کل قطعات و k تعداد کلاس‌های مدنظر، w_1 و w_2 وزن‌های مؤثر جهت ترکیب امتیازها می‌باشند. لازم به ذکر است که این وزن‌ها آستانه‌های عمومی بوده (آستانه‌های خاص تصویر نیستند). در این تحقیق w_2 برابر ۱/۳ در نظر گرفته شده است. به‌این‌ترتیب فضای ورودی (مقادیر درجات تعلق قطعه jام 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).

$$T^{new}_{ji} = w_1 \times T^{kb(new)}_{ji} + T^{0}_{ji},\ i = 1:k$$ رابطه (۲)

که در آن T^{new}_{ji}، امتیاز به‌روز شده مربوط کلاس iام از قطعه jام تصویری در مراحل کنترل می‌باشد. 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 **Error! Reference source not found.** همه‌ی مقادیر درجات خاکستری بزرگ‌تر از T^{min} را sel می‌نامیم.

$$T^{sel} \equiv \left(T_i > T^{min}\right), T^{min} = 0.5 \times w_1 \times num(T^{kb}_{i}) + w_2 \times \max(T^{svm}_{j}),\ i = 1:k,\ j = 1:p$$ رابطه (۳)

[۱] knowledge-base (KB)

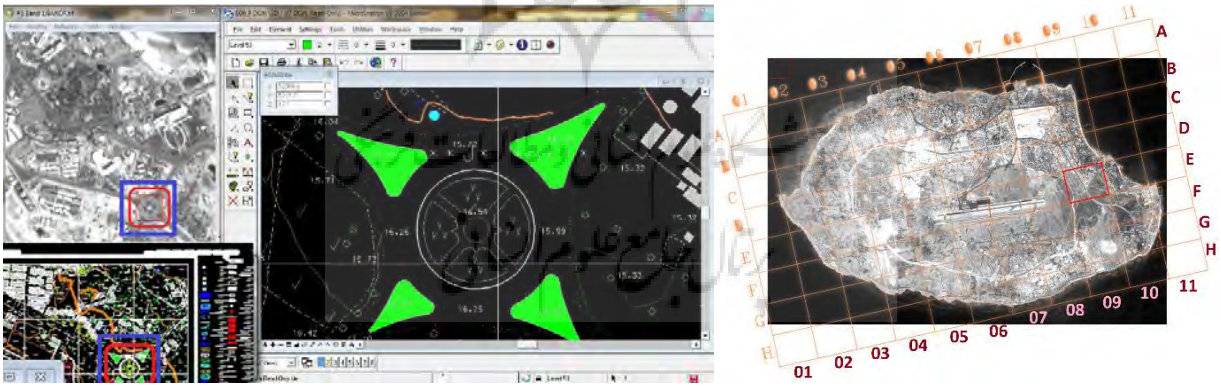
که در آن $\max(T^{svm}_j)$ با بررسی میزان عضویت همه‌ی پیکسل‌های قطعه‌ی zام در طبقه‌بندی svm محاسبه، $num(T^{kb}_i)$ تعداد قواعد (شرایط) بررسی‌شده برای هر کلاس می‌باشد، همچنین x برابر با تعداد اعضای T^{sel}_{ij} خواهد بود. روند به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا اینکه درنهایت همه‌ی قطعه‌هایی که قادر به کسب امتیازهای موردنیاز شدند برچسب‌گذاری خواهد شد. شرط کسب حداقل امتیاز جهت برچسب‌دهی از **Error! Reference source not found.** حاصل می‌گردد.

$$T \in T^{sel} \quad \&\& \quad (T^{max}_j - T^{max-1}_j)/(x) \geq 1 \qquad \text{رابطه (۴)}$$

کلیه مراحل قبل تکرار می‌شوند تا اینکه شرط پایان تکرار محقق شود. هرگاه 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.

۴- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

همان‌گونه که در ابتدای بخش ۲ توضیح داده شد برای ارزیابی این روش از تصویر ماهواره‌ای IRS- p۶ منطقه‌ی کیش در جنوب ایران استفاده شده است. لازم به ذکر است داده‌ی ارتفاعی مورد نیاز نیز از داده‌های در دسترس یک زوج تصویر p۵ و همراه با داده‌های RPC و با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE ۲۰۱۴ 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 p۶ (LISS-۴) که شامل سه باند سبز، قرمز و مادون‌قرمز نزدیک می‌باشد عملیات تصحیح و بارزسازی تصویر صورت گرفت و داده‌ها از نظر توزیع محدوده‌ی رادیومتریکی در سطح هیستوگرام تصویر تصحیح شدند. برای رسیدن به مختصات هندسی تصحیح شده بایستی نقاط کنترلی نیز وارد روند تبدیل گردند. 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 E۰۹

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 می‌باشد. 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 بنماید. شاخص‌های تولیدی از 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. ۲۰۰۸; Bhagat ۲۰۱۴). همچنین تولید باندهای تفاضلی می‌تواند فضاهای ویژگی جدیدی را جهت تمایز کلاس‌های تصویری مهیا سازد.

همان‌طور که عنوان شد راه‌کار استفاده از خصوصیات هندسی و معنایی عوارض علاوه بر خصوصیات طیفی، به‌کارگیری قطعه‌بندی تصویر جهت استخراج عوارض و خصوصیات هندسی آن‌ها می‌باشد. 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 می‌باشد. علاوه بر آن در حال حاضر هیچ روش قطعه‌بندی کاملی وجود ندارد تا بتواند عوارض مختلف تصویری را در سطوح مختلف کلاسی و با محدوده‌ی کامل در اختیار قرار دهد. ازاین‌روی 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 تولید قطعات بیشینه‌ی تصویری (ریزعارضه‌های تصویری) مناسب می‌باشند 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 گاها نیازی به حدودآستانه می‌باشد، از طرفی چون داده‌های آموزشی اولیه موجود می‌باشد، می‌توان حدودآستانه‌های مختلف را با استفاده از این داده‌های آموزشی به دست آورد. برای این کار با یک روند خودکار، میانگین و محدوده‌ی تغییرات از داده‌های ورودی برای کلاس‌های و فضاهای ویژگی مختلف تولیدی استخراج می‌گردد. بعد از طی همه‌ی مراحل قبل درنهایت ویژگی‌های استخراجی مورد اشاره در فلوچارت، به‌صورت شکل ۸ تکمیل‌شده است.

شکل ۸. آماده‌سازی و شکل‌دهی پایگاه داده

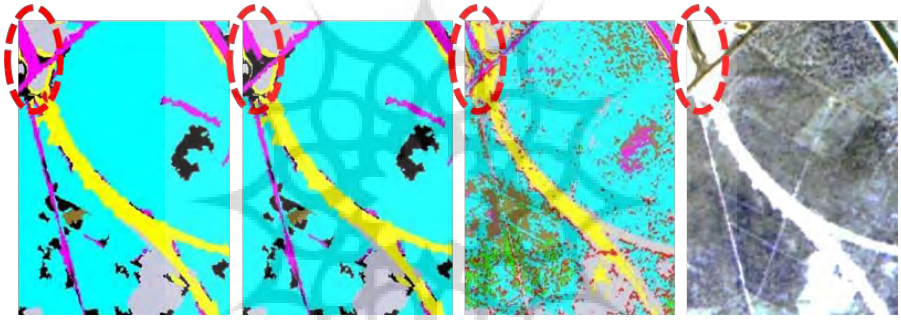
همان‌طور که در بخش ۲-۲ عنوان گردید هر نوع شی با یک مفهوم شهری و محیطی در ارتباط است که برای شناسایی آن می‌توان از یکسری توصیفگرها استفاده نمود. از جمله توصیفگرهایی تحت قواعد مختلف در روند تفسیر و امتیازدهی در این تحقیق استفاده شده‌اند عبارت‌اند از:

- هموژن 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 هموژنیتی میانگین مقادیر ارتفاعی در همسایگی نزدیک نسبت به همسایگی دورتر (بافر بزرگ‌تر) می‌باشند.
- جذب زیاد امواج الکترومغناطیس در مناطق آبی.
- معمولاً سطح راه ازنظر 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 می‌باشد. بعلاوه 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 مورداستفاده قرار گیرد. نمونه‌ای دیگر از نحوه‌ی به‌کارگیری اطلاعات معنایی در قانون یکنواختی درجات خاکستری سطح به‌این‌ترتیب است که ازنظر تئوری سطح راه یا ساختمان معمولاً ازنظر رادیومتریکی یکنواخت است. لذا تغییرات مقادیر روشنایی پیکسل‌ها معمولاً کم است؛ اگرچه ممکن است به دلایل مختلف تغییرات ناگهانی در درجات روشنایی ایجاد گردد، ولی با انجام برخی پیش‌پردازش‌ها و نرم کردن تصاویر می‌توان اثر این عوارض را کاهش داد. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری یکنواختی و یا عدم یکنواختی درجات خاکستری پیشنهادشده است. بااین‌حال، انحراف معیار درجات خاکستری پیکسل‌های یک شیء می‌تواند به‌عنوان معیار همگنی مورداستفاده قرار گیرد. به همین ترتیب کمی سازی درباره‌ی سایر مفاهیم نیز صورت می‌گیرد، که در بخش ۳-۱- نیز بیان گردید. 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 قرارگرفته‌اند) نوبت به بررسی عوارضی که در مرحله‌ی قبل شناسایی نشده‌اند (کلاس صفر) فرا می‌رسد، البته دراین بین به بررسی برخی از گروه کلاس‌هایی که در مرحله‌ی قبل تفسیر

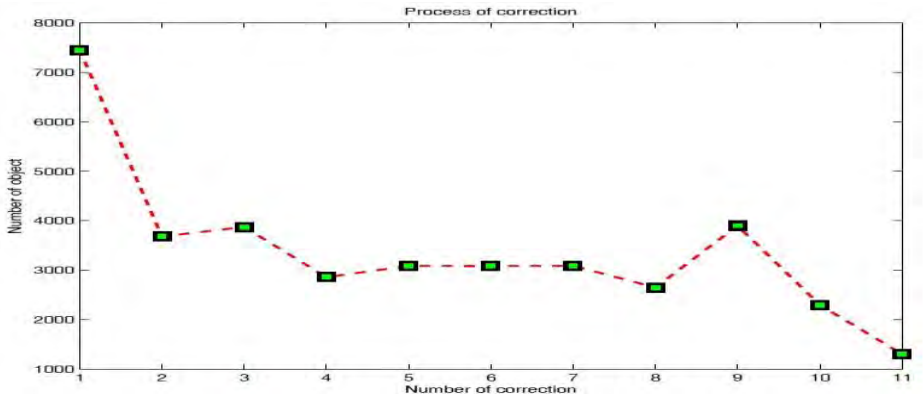
شده‌اند نیز جهت کنترل فرآیند پرداخته می‌شود. این کار جهت بررسی و کنترل بیشتر انجام می‌شود تا اگر باوجود همه‌ی بررسی‌های انجام‌شده باز در انتخاب برچسب قطعه به کلاسی اشتباهی به وجود آمده باشد مورد تحلیل و تصحیح قرار گیرد (مطابق بخش ۳-۳). عملیات کنترل و بررسی صحت علاوه بر افزایش دقت به سبب کنترل فرآیند، 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-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 هموژن برچسب دهی خواهند شد (مقایسه شکل ۹-د و ب).



(د) (ج) (ب) (الف)

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

در بخش ۲-۲ مشکلات موجود در روند انجام قطعه‌بندی کامل تصاویر مورد بررسی قرار گرفت بر این اساس در این سیستم جهت دوری از مشکلات مربوط به قطعه‌بندی (مانند ورود زیرقطعه‌بندی و یا مشکلات مربوط به استفاده از یک سطح قطعه‌بندی برای همه کلاس‌ها) از روند قطعه‌بندی تلفیقی مناطق همگام با روند برچسب‌دهی استفاده‌شده است. براین‌اساس ابتدا استخراج ریزعارضه‌هایی تصویری صورت می‌پذیرد و در ادامه‌ی روند تکمیلی و کنترلی سیستم همراه با ادغام و تلفیق مناطق همراه است (شکل ۱۰). اعمال کنترل‌های متوالی به‌صورت دوره‌ای، می‌تواند اعمال سطوح تلفیق مقیاس کلاسی بر روند تعاملی قطعه‌بندی و تفسیر را سبب شود. چون روند تفسیر براساس ویژگی‌های هر کلاس صورت می‌پذیرد درنتیجه 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 توسعه‌ی ابعاد و تجمیع ریزعارضه‌ها، روند برچسب‌دهی 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 افزایش پیدا خواهد نمود. بعد اتمام کلیه‌ی مراحل و زیر بخش‌های روند کنترل، تصویر تفسیر شده نهایی تولید خواهد شد. این ادغام به‌مرور تشکیل محدوده‌های کلاسی و درنتیجه کاهش تعداد ریزعارضه‌ها را در بر خواهد داشت (شکل ۱۰).



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

جهت ارزیابی می‌توان ماتریس ابهام هر یک از گروه‌های تفسیری و همچنین ماتریس ابهام کلی تصویر را تشکیل داد و سپس بر اساس آن میزان دقت پارامترهای مختلف به صورت درصد ارائه نمود. 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 ۱۹۹۶) محاسبه گردیده 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 تعداد نقاط هستند که توسط سیستم به اشتباه شناسایی شده و FN تعداد 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 (صحت تولیدکننده یا صحت فرآورده) Completeness = TP/(TP+FN)

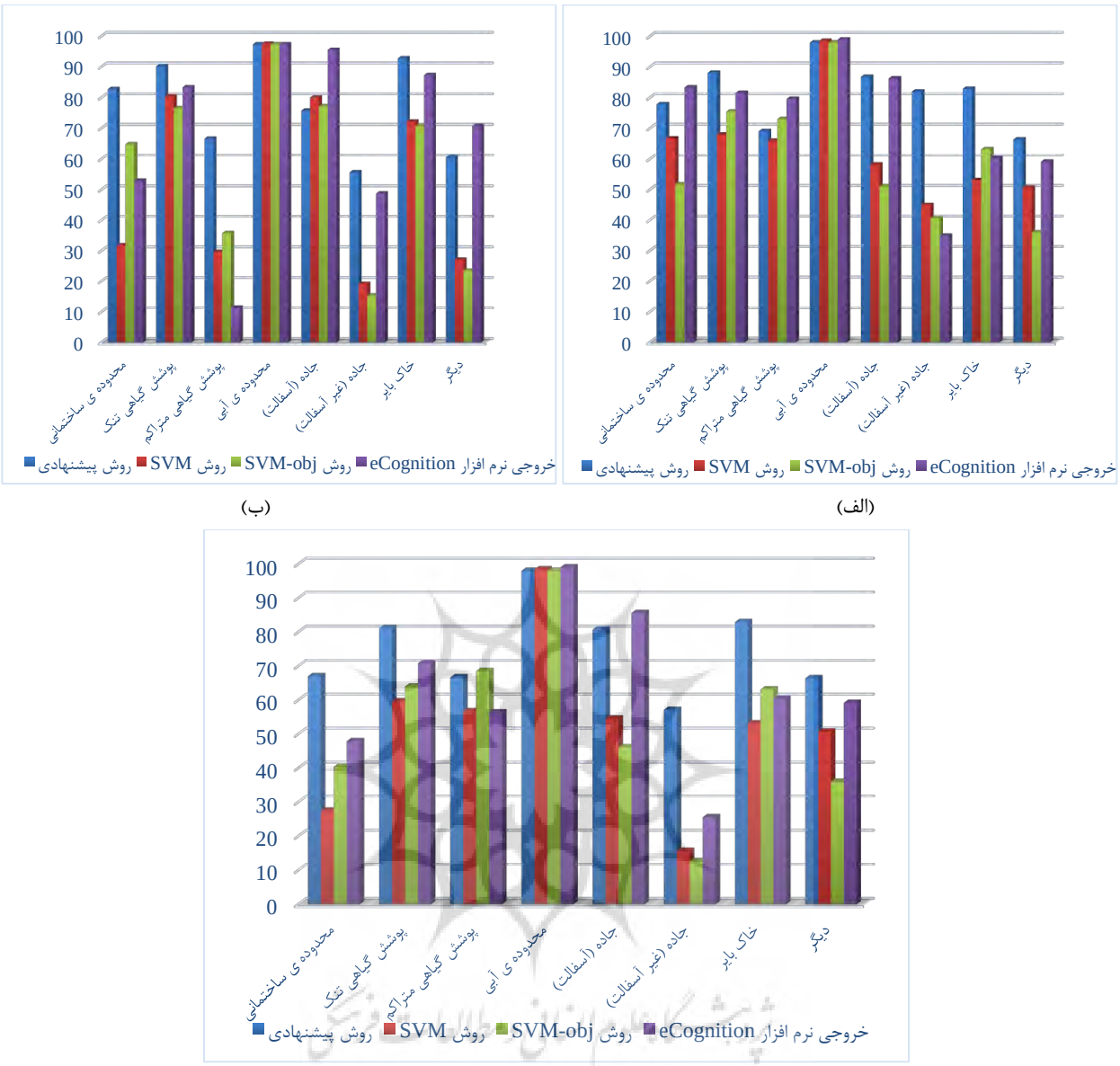
رابطه (۸) صحیح بودن (صحت کاربر) Correctness = TP/(TP+FP)

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

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

داده‌ی واقعیت‌زمینی که از روی نقشه‌های موجود تهیه‌شده‌اند، سپس براساس روابط فوق نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر تست با روش پیشنهادی محاسبه‌شده است. به‌منظور ارزیابی نسبی، سیستم تصویر مورد اشاره توسط سه روش ماشین بردار پشتیبان پیکسل‌مبنا (SVM)، ماشین بردار پشتیبان عارضه‌مبنا (SVM-obj) و همچنین خروجی نرم‌افزار eCognition که براساس قطعه‌بندی مولتی رزولوشن اجراشده، 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 به‌صورت کلی نیز با یکدیگر مورد قیاس قرارگرفته شد (جدول ۱) و درنهایت عملکرد هر یک از سیستم‌ها به تفکیک شاخص‌های ارزیابی در یک نمودار با یکدیگر مقایسه شد (شکل۱۲).

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.



(ب)

(الف)

(ج)

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

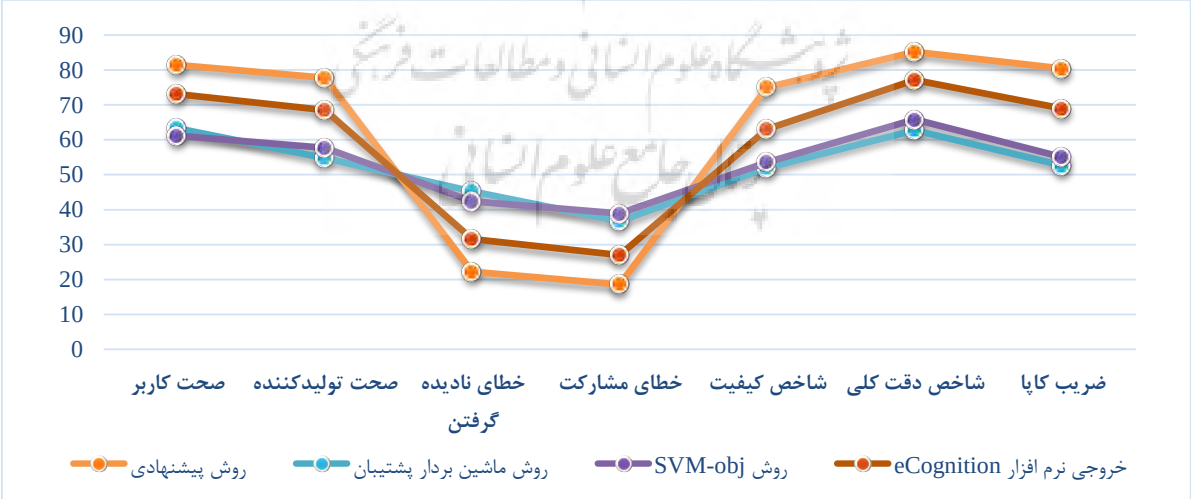
شکل ۱۱ ب و ج نیز نتایج بررسی تفکیک کلاسی بر اساس شاخص‌های جامع بودن و کیفیت را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نتایج نیز مشخص است با افزایش توصیفگرهای کیفی دقت طبقه‌بندی نیز بهبود پیدا کرده است. برای نمونه در روش ماشین بردار پشتیبان که روی عارضه‌های تصویری صورت گرفته شده است دقت بیشتری را از روش پیکسل مبنا شاهد هستیم اما نسبت به تحلیل عارضه‌مبنا و همراه با داده‌های هندسی که توسط نرم‌افزار اکاگنیشن صورت پذیرفته است دقت کمتری دارا می‌باشد. همچنین روش پیشنهادی در اکثر کلاس‌ها از سایر روش‌ها نتایج بهتری داشته است اما در کلاس جاده آسفالته خروجی اکاگنیشن بهترین نمایش را داشته است. ولی در مجموع کلاس جاده (آسفالته 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 بر عملکرد کلی روش‌ها خواهیم داشت (شکل ۱۲ و جدول ۱).

جدول ۱. نتایج روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

شاخص ارزیابی	دقت میانگین			
	روش پیشنهادی	روش SVM	روش SVM Obj	خروجی نرم‌افزار eCognition
صحت کاربر	۸۱,۳۹	۶۳,۲۶۵	۶۱,۱۱۴	۷۳,۰۲۲
صحت تولیدکننده	۷۷,۷۴۴	۵۴,۷۳۶۰	۵۷,۶۴۷	۶۸,۴۴۳
خطای نادیده گرفتن	۲۲,۲۵۵	۴۵,۲۶۴	۴۲,۳۵۳	۳۱,۵۵۷
خطای مشارکت	۱۸,۶۰۹	۳۶,۷۳۴	۳۸,۸۸۶	۲۶,۹۷۸
شاخص کیفیت	۷۴,۹۸۸	۵۲,۰۱۷	۵۳,۵۶۳	۶۳,۰۷۷
شاخص دقت کلی	۸۵,۱۷۷	۶۲,۷۴۹	۶۵,۸۰۳	۷۷,۰۹۶
ضریب کاپا	۸۰,۳۴۸	۵۲,۶۲۴	۵۵,۰۲	۶۸,۸۹۷

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



شکل ۱۲. نمودار مقایسه خروجی روش پیشنهادی و دیگر روش‌ها

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 جهت سنجش معنی‌داری مورد نیاز است. آزمون مک‌نمار شاید بهترین روش برای مقایسه دقیق نقشه موضوعی باشد، که براساس یک تفاوت باینری بین تخصیص کلاس‌های درست و نادرست است (de Leeuw et al. ۲۰۰۶; Foody ۲۰۰۴). آزمون مک‌نمار[1] یک آزمون آماری است که برای بررسی معنی‌داری آزمون با استفاده از داده‌های زوج برای نمونه در طرح‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حقیقت 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 نمود و میزان سطح وابستگی آماری بین آن دو را مورد تحلیل قرار داد. بر این اساس به‌منظور بررسی معنی‌داری اختلاف‌های ذکر شده در نتایج، به بررسی موردی هر یک از روش‌های مورد قیاس با روش پیشنهادی در سطح معنی‌داری ۹۵٪ پرداخته شد و نتایج هر از روش‌های مورد قیاس 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	eCognition	SVM-obj	SVM
سطح معنی‌داری ۹۵٪	**۹۰,۳۱٤**	**۳۷٦,٥۲**	**٤۱٦,۳۹**

بر طبق نتایج جدول ۲ ارتباطی بین میزان اطمینان آماری آن‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ وجود ندارد، به‌عبارت‌دیگر نتایج طبقه‌بندی روش پیشنهادی قابل‌قبول است. همچنین نتایج جدول نشان می‌دهد نتایج حاصله از خروجی اکانگنشن نسبت به سایرین کوچک‌تر بوده یعنی شباهت آماری این خروجی به روش پیشنهادی بیشتر است اما همچنان سطح معنی‌داری حفظ شده است.

در این پژوهش سعی شد یک سیستم تفسیری ساختاریافته طراحی شود تا براساس قواعد مفهومی روند کنترل‌شده‌ای را در جهت بهبود طبقه‌بندی تصاویر به کار گیرد. چون گروه کلاس‌های اصلی مورد انتظار در روند تفسیری سنجش‌ازدوری محدود می‌باشند قواعد کلی موردنیاز جهت استفاده تا حد زیادی پایدار باقی خواهند ماند، اما درعین‌حال توسعه‌ی یک الگوریتم کلی برای تفسیر همه‌ی کلاس‌ها مشکل است، زیرا ویژگی‌های تصویری برای تصاویر مناطق مختلف و ویژگی‌های منطقه‌ای، محیطی و ... متفاوت است. به‌عبارت‌دیگر قوانین معنایی موجود در حالت حفظ شرایط نوع صحنه و محدوده‌ی جغرافیایی موردنظر برقرار بوده اما با تغییر وسیع شرایط کلاسی و صحنه نیاز به به‌روزرسانی پایگاه دانش متناسب با آن خواهد داشت. براین‌اساس یک سیستم تفسیری مناسب بایستی امکان ایجاد و توسعه به‌منظور استفاده در کاربردهای مختلف را داشته باشد. که این موضوع با در نظر گرفتن قابلیت استفاده از دانش اضافی درباره اشیاء صحنه به‌طورکلی و یا دانش خاص در مورد منطقه مشاهده در سیستم دانش‌پایه مورداستفاده در روند تصمیم‌گیری تا حدی مدنظر قرارداده شد؛ هرچند خود این روند نیز می‌تواند در ادامه مورد تکمیل قرار گیرند. همچنین در این تحقیق از ویژگی‌های طیفی محدودی استفاده‌شده است، درحالی‌که گسترش حوزه‌های ویژگی می‌تواند توان سیستم را در تفکیک-پذیری افزایش دهد، براین‌اساس اضافه شدن یک روند انتخاب ویژگی خودکار یا بهینه‌سازی در روند تعیین ویژگی‌های بافتی مختلف نیز می‌تواند در امر بهبود دقت مؤثر باشد.

[1] McNemar

۵- نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش استفاده از مفاهیم تحلیل عارضه مبنا و به‌کارگیری سیستم‌های خبره به‌منظور قانون‌مندسازی روند قطعه‌بندی در سطوح مقیاس کلاسی است. بدین منظور با وارد نمودن قابلیت تحلیل سیستم‌های خبره به‌منظور کنترل هدفمند روند توأمان قطعه‌بندی و طبقه‌بندی تصویر، با در نظر گرفتن ویژگی‌های آنتولوژی کلاس‌های هدف بهبود دقت را منجر گردد. 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 هندسه‌ی گروه کلاس‌های تصویر و جلوگیری از ورود زیر قطعه‌بندی[1] از طریق تلفیق روند قطعه‌بندی با اطلاعات تفسیری، ترکیب روش‌های طبقه‌بندی جهت نتیجه‌گیری بهتر (دانش‌پایه– svm)، تصمیم‌گیری وزن‌دهی شده و ارائه روشی مناسب برای پایش و کنترل در سطوح مقیاس کلاسی مدنظر می‌باشند.

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 می‌باشد و ادامه با افزایش قدرت استنتاج سیستم بار دیگر تحلیل و برچسب‌دهی صورت پذیرفته و بعد از سری کنترل‌ها، برچسب نهایی صادر خواهد شد. جهت اطمینان از کارایی سیستم، بر روی تصویر منطقه شهری تست و در نهایت با دقت کلی ۸۵/۱۷ و ضریب کاپا ۸۰/۳۵ عملکرد مناسبی از خود نشان شد. جهت 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 می‌باشد کمتر می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که روش پیشنهادی که علاوه بر دقت، صحت بالاتری را نیز دارا باشد. همچنین نزدیکی میزان دو خطای مشارکت و کیفیت نشان‌دهنده‌ی ثبات روش پیشنهادی است که البته این موضوع در خروجی نرم‌افزار اکاگنیشن نیز مشاهده می‌گردد 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. درنهایت می‌توان عنوان نمود که اگرچه تفسیر رقومی با ابزارهای امروزی توان کمتری در تحلیل‌های کیفی در قیاس با تفسیر چشمی دارد، اما مزایای آن از یک‌سو و توسعه ابزارهای هوش مصنوعی از سوی دیگر باعث شده است که موضوعی موردتوجه در تحقیقات امروزی فتوگرامتری و سنجش‌ازدور باشد. هرگونه پیشرفت در این زمینه می‌تواند ضمن افزایش صحت نتایج، سبب تسریع و تسهیل در آنالیز تصاویر و کاهش هزینه تولید اطلاعات شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دارند از سازمان جغرافیایی نیروهای مسطح که تأمین‌کنندهٔ داده در پیشبرد تحقیق حاضر بوده تشکر و قدردانی به عمل آورند.

منابع

Agarwal, P. (۲۰۰۵). Ontological considerations in GIScience. *International journal of geographical information science,* ۱۹, ۵۰۱-۵۳۶

[1] Under-segmentation

Almendros-Jiménez, J.M., Domene, L., & Piedra-Fernández, J.A. (۲۰۱۳). A framework for ocean satellite image classification based on ontologies. *IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing,* ٦, ١٤٤٨-١٠٦٣

Andres, S., Arvor, D., & Pierkot, C. (۲۰۱۲). Towards an ontological approach for classifying remote sensing images. In, *Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS), ۲۰۱۲ Eighth International Conference on* (pp. ٨٢٥-٨٣٢): IEEE

Arvor, D., Durieux, L., Andrés, S., & Laporte, M.-A. (۲۰۱۳). 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,* ٨٢, ١٢٥-١٣٧

Azizia, Z., Najafi, A., & Sohrabia, H. (۲۰۰۸). Forest Canopy Density Estimating Using Satellite Images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* ٣٧, ١١٢٧-١١٣٠

Belgiu, M., & Drăguț, L. (٢٤١٤). Comparing supervised and unsupervised multiresolution segmentation approaches for extracting buildings from very high resolution imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* ٩٦, ٦٧-٧٥

Belgiu, M., Tomljenovic, I., Lampoltshammer, T.J., Blaschke, T., & Höfle, B. (٢٤١٤). Ontology-based classification of building types detected from airborne laser scanning data. *Remote Sensing,* ٦, ١٣٤٧-١٣٦٦

Bhagat, V. (٢٤١٤). Use of IRS P٦ LISS-IV data for land suitability analysis for cashew plantation in hilly zone. *Asian Journal of Geoinformatics,* ١٤, ٢٣-٣٥

Carletta, J. (١٩٩٦). Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic. *Computational linguistics,* ٢٢, ٢٤٩-٢٥٤

Cohn, A.G., & Renz, J. (۲۰۰۸). Qualitative spatial representation and reasoning. *Foundations of Artificial Intelligence,* ٣, ٥٥١-٥٩٦

Comaniciu, D., & Meer, P. (۲۰۰۲). Mean shift: A robust approach toward feature space analysis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on,* ٢٤, ٦٠٣-٦١٩

Costa, H., Foody, G.M., & Boyd, D.S. (۲۰۱۷). Using mixed objects in the training of object-based image classifications. *Remote Sensing of Environment,* ١٩٠, ١٨٨-١٧٧

Cui, P., Liu, S., & Zhu, W. (۲۰۱۸). General Knowledge Embedded Image Representation Learning. *IEEE Transactions on Multimedia,* ٢٠, ١٨٨-٢٠٧

de Leeuw, J., Jia, H., Yang, L., Liu, X., Schmidt, K., & Skidmore, A. (٦٠٠٦). Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing,* ٢٧, ٢٢٣-٢٣٢

Dey, V., Zhang, Y., & Zhong, M. (۲۰۱۰). *A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective*. na

Di Sciascio, E., Donini, F.M., & Mongiello, M. (۲۰۰۲). Structured Knowledge Representation for Image Retrieval. *J. Artif. Intell. Res.(JAIR),* ١٦, ٢٠٩-٢٥٧

Eric Maillot, N., & Thonnat, M. (۲۰۰۸). Ontology based complex object recognition. *Image and Vision Computing,* ٦٦, ١٠٢-١١٣

Fonseca, F.T., Egenhofer, M.J., Agouris, P., & Câmara, G. (۲۰۰۲). Using ontologies for integrated geographic information systems. *Transactions in GIS,* ٦, ٢٣١-٢٥٧

Foody, G.M. (٢٤٤٤). Thematic map comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* ٧٠, ٢٢٧-٦٣٣

Forestier, G., Puissant, A., Wemmert, C., & Gançarski, P. (۲۰۱۲). Knowledge-based region labeling for remote sensing image interpretation. *Computers, Environment and Urban Systems*, ٠٧٠-٠٨٠

Gruber, T.R. (١٩٩٥). Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? *International journal of human-computer studies,* ٤٣, ٧٠٧-٨٢٨

Guindon, B. (١٧٧٧). 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,* ٢٣, ٣٨-٤٧

Hay, G., Niemann, K., & McLean, G. (١٩٩٦). An object-specific image-texture analysis of H-resolution forest imagery. *Remote Sensing of Environment,* ٥٥, ١٠٨-١٢٢

Hay, G.J., Castilla, G., Wulder, M.A., & Ruiz, J.R. (۲۰۰٥). An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,* ٧, ٣٣٩-٣٥٩

Herold, M., Liu, X., & Clarke, K.C. (۲۰۰۳). Spatial metrics and image texture for mapping urban land use. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* ٦٩, ٩٩١-١٠٠١

Jelokhani-Niaraki, M., Sadeghi-Niaraki, A., & Choi, S.-M. (۲۰۱۸). Semantic interoperability of GIS and MCDA tools for environmental assessment and decision making. *Environmental Modelling & Software,* ١٠٠, ١٤٤-١٢٢

Khelifa, D., & Mimoun, M. (۲۰۱۲). Object-based image analysis and data mining for building ontology of informal urban settlements. In, *Image and Signal Processing for Remote Sensing XVIII* (p. ٧٥٣٧١I): International Society for Optics and Photonics

Kiani, A., & Sahebi, M.R. (۲۰۱۵). Edge detection based on the Shannon Entropy by piecewise thresholding on remote sensing images. *IET Computer Vision,* ۹, ۸۵۸-۸٦۸

Kim, M., Madden, M., & Warner, T. (۲۰۰۸). Estimation of optimal image object size for the segmentation of forest stands with multispectral IKONOS imagery. *Object-based image analysis* (pp. ۲۹۱-۳۰۷): Springer

Luo, H., Li, L., Zhu, H., Kuai, X., Zhang, Z., & Liu, Y. (٦۰۱٦). Land cover extraction from high resolution zy-۳ satellite imagery using ontology-based method. *ISPRS International Journal of Geo-Information,* ٥, ۳۱

Lv, Z., Liu, T., Wan, Y., Benediktsson, J.A., & Zhang, X. (۲۰۱۸). Post-Processing Approach for Refining Raw Land Cover Change Detection of Very High-Resolution Remote Sensing Images. *Remote Sensing,* ۱۰, ٤۷۲

Ma, L., Fu, T., Blaschke, T., Li, M., Tiede, D., Zhou, Z., Ma, X., & Chen, D. (۲۰۱۷). 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,* ٦, ٥۱

Maillot, N.E., & Thonnat, M. (۲۰۰۸). Ontology based complex object recognition. *Image and Vision Computing,* ٦٦, ۱۰۲-۱۱۳

Matsuyama, T. (۱۷۷۷). Knowledge-based aerial image understanding systems and expert systems for image processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,,* ۲٥, ۳۰٥-۳۱٦

Matsuyama, T., & Hwang, V. (۱۹۹۰). *SIGMA: A knowledge-based aerial image understanding system*. Perseus Publishing

McKeown, D.M., et al. (۱۹۹٤). Research in the Automated Analysis of Remotely Sensed Imagery. *DARPA Image Understanding Workshop*, ۹۹-۱۳۲

Meinel, G., & Neubert, M. (۲٤٤٤). A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,* ۳٥, ۱۰۷۷-۱۱۰٥

Powers, R.P., Hay, G.J., & Chen, G. (۲۰۱۲). How wetland type and area differ through scale: A GEOBIA case study in Alberta's Boreal Plains. *Remote Sensing of Environment,* ۱۱۷, ۱۳٥-۱٤٥

Rao, A.R., & Lohse, G.L. (۱۹۹٦). Towards a texture naming system: identifying relevant dimensions of texture. *Vision Research,* ۳٦, ۱٦٤۹-۱٦٦۹

Tarus, J.K., Niu, Z., & Yousif, A. (۲۰۱۷). A hybrid knowledge-based recommender system for e-learning based on ontology and sequential pattern mining. *Future Generation Computer Systems,* ۷۲, ۳۷-٤۸

Vincent, L., & Soille, P. (۱۹۹۱). Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, ٥۸۳-٥۸۸

Yan, W.Y., Shaker, A., & El-Ashmawy, N. (۲۰۱٥). Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review. *Remote Sensing of Environment,* ۱٥۸, ۲۹٥-۳۱۰

Zlatoff, N., Tellez, B., & Baskurt, A. (۲٤٤٤). Image understanding and scene models: a generic framework integrating domain knowledge and gestalt theory. In, *Image Processing,* ۲٤٤٤. *ICIP'٤٤.* ۲٤٤٤ *International Conference on* (pp. ۲۳٥٥-۲۳٥۸): IEEE

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی