



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال ششم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۳
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.6, No.1, Spring 2014

۶۸-۴۹

طبقه‌بندی کاربری اراضی برمبنای ویژگی‌های مفهومی و مدل گام‌به‌گام طبقه‌بندی پوشش اراضی

محسن قلوبی*^۱، سعید رمضان‌خانی^۱، محمدجواد ولدان‌زوج^۲، مهدی مختارزاده^۳، حامد ساعتی^۴

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. استادیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۷/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۲۵

چکیده

امروزه استخراج اطلاعات از چگونگی بهره‌برداری از سطح زمین در نواحی شهری، از المان‌های مهم در سطوح خرد و کلان برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به‌شمار می‌رود. تاکنون تحقیقات چندانی در حوزه استخراج خودکار اطلاعات کاربری اراضی انجام نشده است. سنجش از دور به‌عنوان یکی از ارزان‌ترین و سریع‌ترین راه‌ها، به‌ویژه پس از ظهور آنالیزهای شی‌ء‌مبنا، توانایی مناسبی در این حوزه یافته است. هدف پژوهش حاضر، استخراج اطلاعات کاربری اراضی روی یک ناحیه شهری متراکم و پیچیده است و برای این منظور از سیستم سلسله‌مراتبی شامل سطوح پوشش اراضی و کاربری اراضی استفاده شد. پس از پیاده‌سازی روش طبقه‌بندی پوشش اراضی مرحله به مرحله، استخراج واحدهای کاربری اراضی با استفاده از اطلاعات پوشش اراضی انجام شد و فضای ویژگی‌ای شامل بیش از ۵۰ ویژگی مفهومی، براساس اطلاعات سطوح پوشش اراضی طراحی و استخراج گردید. پس از این مرحله، ویژگی‌های بهینه با بالاترین میزان جداپذیری بین کلاسی با استفاده از الگوریتم SFFS از میان این ویژگی‌ها استخراج شدند. در نهایت با پیاده‌سازی روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی، طبقه‌بندی کاربری اراضی براساس ویژگی‌های بهینه اجرا شد. طبقه‌بندی کاربری اراضی روی دو سیستم کلاسی ترکیبی و غیرترکیبی پیاده‌سازی شد و سیستم ترکیبی به‌عنوان مناسب‌ترین سیستم کلاسی شناسایی گردید. روش پیش رو بدون در نظر گرفتن معیار مساحت اشیای کاربری اراضی، دارای دقت ۸۸ درصد و با در نظر گرفتن این معیار، دارای دقت ۹۳ درصد است.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری اراضی، ویژگی‌های مفهومی، سطوح سلسله‌مراتبی، شی‌ء‌مبنا.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولی عصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده نقشه‌برداری، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور

۱- مقدمه

افزون بر اطلاعات طیفی، براساس اطلاعات هندسی، شکلی، مکانی، بافتی و مفهومی نیز عمل می‌کنند (Benz et al., 2004). با طبقه‌بندی این نواحی همگن یا به اصطلاح اشیا، نتایج عاری از نویز خواهند شد. روش‌های طبقه‌بندی شیء‌مبنا، از دو گام اصلی قسمت‌بندی و طبقه‌بندی تشکیل شده‌اند. در مرحله قسمت‌بندی، با در نظر گرفتن معیارهای شباهت، مجموعه‌ای از پیکسل‌های همجوار در قالب یک شیء تصویری ایجاد می‌شود. سپس بردار ویژگی در هریک از اشیا، تصویری تولید می‌شود و با روش‌های مختلف و معمول طبقه‌بندی، اشیا، تصویری طبقه‌بندی می‌شوند. از روش‌های شیء‌گرا با سرعت فزاینده‌ای در استخراج اطلاعات پوشش اراضی استفاده می‌شود (Zhou et al., 2009; Syed et al., 2005; Gholoobi et al., 2010, 2012; Cleve et al., 2008; Mathieu et al., 2007). اما تاکنون توجه چندانی به طبقه‌بندی کاربری اراضی در این حوزه نشده است (Lackner et al., 2008). چراکه به علت متنوع بودن پارامترهای محلی و میزان توسعه‌یافتگی در شهرهای مختلف، امکان به‌کارگیری مدل طبقه‌بندی کاربری اراضی یک شهر برای شهر دیگر بسیار سخت است.

یکی از بخش‌های مهم در طبقه‌بندی کاربری اراضی، یافتن واحدهای مکانی کاربری اراضی است. روش‌های گوناگونی برای تعیین مرز واحدهای کاربری اراضی به کار گرفته شده‌اند. برخی از این روش‌ها بر ترسیم دستی مرزها متکی بودند (Herold et al., 2003)، یا از داده‌های فرعی استفاده کردند (Bauer and Steinnocher, 2001). در برخی از تحقیقات از اطلاعات طبقه‌بندی پوشش اراضی برای معرفی واحدهای کاربری اراضی استفاده شده است و برخی نیز با مبنا قراردادن کلاس پوشش اراضی ساختمان، از معیارهای شباهت و خوشه‌بندی ساختمان‌ها استفاده کرده‌اند (Zhan, 2003) که این کار نیازمند استخراج

شناخت کافی از نوع استفاده بشر از سطح زمین برای سازمان‌های دولتی، برنامه‌ریزان، مهندسان و بسیاری از حوزه‌های مرتبط با تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان اهمیت بالایی در نواحی شهری دارد (Lackner et al., 2008). از این رو تهیه و تولید نقشه کاربری اراضی همواره به‌عنوان یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی مطرح بوده است. بزرگ‌ترین مشکل روش‌های سنتی نقشه‌برداری زمینی و تفسیر تصاویر هوایی، زمان‌بر بودن و هزینه بالای آنها در استخراج اطلاعات کاربری اراضی است (Herold et al., 2003). سنجش از دور با کارکرد فناوری استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند راه‌حل مناسبی برای این مشکل قلمداد شود (Lackner et al., 2008). امروزه با ظهور تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای، قابلیت‌های این فناوری در حوزه‌های شهری افزایش یافته است (Benz et al., 2004). از آنجاکه در پردازش‌های روش‌های سنتی از اطلاعات طیفی استفاده می‌شود، تنوع طیفی و پیچیدگی آنها در نواحی شهری، نتایج آنها را روی داده‌های HR¹ با نویز همراه می‌سازد و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست نمی‌دهد (Baatz et al., 2000; Lackner et al., 2008). از طرفی دیگر، استخراج مستقیم و خودکار اطلاعات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر نیست (Cihlar et al., 2001). به همین دلیل برای تولید این اطلاعات، ابتدا برداشتن گامی اولیه، یعنی استخراج اطلاعات پوشش اراضی ضروری است (Zhang, 2003). سپس از طریق روابط مکانی و ارتباطات مفهومی میان المان‌های مختلف کلاس‌های پوشش اراضی، اطلاعات کاربری اراضی استخراج می‌شوند. این ساختار، وجود یک شبکه سلسله‌مراتبی را میان طبقه‌بندی پوشش اراضی و کاربری اراضی نشان می‌دهد که روش‌های آنالیز سنتی توانایی درک آن را ندارند (Zhang, 2003).

در سال‌های اخیر، روش‌هایی به نام روش‌های شیء‌مبنا قابلیت‌های فراوانی از خود نشان داده‌اند. این روش‌ها براساس طبقه‌بندی نواحی همگنی از پیکسل‌ها،

1. High Resolution

مکانی بر اساس کاهش میزان استقلال کلاسی کاربری اراضی روی یک منطقه شهری متراکم و پیچیده استفاده شده است (Gholoobi et al., 2012). طبقه‌بندی فازی بر مبنای پارسل‌های کاربری اراضی نیز روش دیگری است که برخی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی از آن استفاده کرده‌اند (Zhan 2003, Zhan et al., 2003). طبقه‌بندی فازی به‌عنوان روشی مستحکم، به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه در طبقه‌بندی کاربری اراضی شناخته می‌شود (Zhan, 2003)، زیرا برخلاف پوشش اراضی، مرز میان کلاس‌های کاربری اراضی با عدم قطعیت بالا همراه است.

در پژوهش حاضر برای طراحی واحدهای کاربری اراضی، به‌علت ساختار شطرنجی المان‌های شهری و تراکم بالا و پیچیدگی منطقه در حال مطالعه، از کلاس پوشش اراضی راه (راه اصلی) به‌عنوان اصلی‌ترین المان برای استخراج واحدهای کاربری اراضی استفاده شد. به‌منظور طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری اراضی، حدود ۵۰ ویژگی مفهومی برای انتقال اطلاعات از طبقه‌بندی پوشش اراضی به طبقه‌بندی کاربری اراضی به‌کار گرفته شد. برای یافتن فضای ویژگی بهینه به‌منظور طبقه‌بندی نهایی، از الگوریتم^۱ SFFS استفاده شد. روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی نیز برای طبقه‌بندی نهایی واحدهای کاربری اراضی به‌کار گرفته شد. افزون بر اینها از دو سیستم کلاسی ترکیبی و غیرترکیبی کاربری اراضی نیز در این تحقیق استفاده شد.

۲- مواد و روش تحقیق

در مرحله نخست تحقیق، قسمت‌بندی و طبقه‌بندی مرحله پوشش اراضی در دو سطح انجام می‌شود و پس از آن نوبت به قسمت‌بندی سطح کاربری اراضی و استخراج واحدهای کاربری اراضی می‌رسد. بعد از این مرحله، فضای ویژگی مفهومی سطح کاربری اراضی

دقیق ساختمان‌ها با استفاده از اطلاعات جانبی از قبیل لیدار است. در بخشی از تحقیقات، راه‌ها یا گیاهان به‌عنوان مرزهای جداکننده واحدهای کاربری اراضی در نظر گرفته شده‌اند (Lackner et al., 2008). ادغام واحدهای پوشش اراضی مبتنی بر ساختار کلاسی کاربری اراضی مبنای بعضی پژوهش‌ها بوده است (Gholoobi et al., 2012).

چالش دیگر در بخش طبقه‌بندی واحدهای کاربری اراضی است. ساده‌ترین روش برای انجام این کار نسبت‌دادن یک یا چند کلاس پوشش اراضی به کلاس‌های کاربری اراضی و استفاده از ارتباطات بدیهی بین کلاسی است (Cihlar et al., 2001). در این روش به اطلاعات منطقه‌ای نیاز است و در نواحی شهری غیرمتراکم، بخش وسیعی از شهر در آنالیز کاربری اراضی، طبقه‌بندی نشده باقی می‌ماند. روش پیچیده‌تر انجام طبقه‌بندی، استفاده از یک پنجره متحرک یا یک کرنل است. در این روش با عبور کرنل روی یک طبقه‌بندی پوشش اراضی و آنالیز مشخصات همسایگی و مکانی، طبقه‌بندی کاربری اراضی انجام می‌شود (Chen et al., 2004, Barnsley et al., 1996, Zhang et al., 2003). مشکل اصلی این روش، انتخاب بهترین اندازه کرنل و عدم انطباق احتمالی شکل واحد کاربری اراضی با فرم راست‌گوشه کرنل است. در برخی تحقیقات از مفهومی شیء‌مبنا روی اطلاعات پوشش اراضی از پیش تعیین شده استفاده شده است. این روش شامل یک چرخه مرحله‌به‌مرحله قسمت‌بندی و طبقه‌بندی، بر اساس برخی ویژگی‌های مفهومی محدود مانند درصد فضای گیاهی یا ساختمانی و مساحت است (Lackner et al., 2008). از مشکلات این روش نیز به‌کارگیری ویژگی‌های مفهومی محدود و عدم امکان تعمیم این روش در مناطق شهری پیچیده، متراکم و توسعه‌نیافته است. اشکال دیگر این روش، لزوم به‌کارگیری ترتیب در طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری اراضی است. در تحقیقی دیگر نیز از مدل گام‌به‌گام شیء‌مبنا با به‌کارگیری ویژگی‌های مفهومی، هندسی و

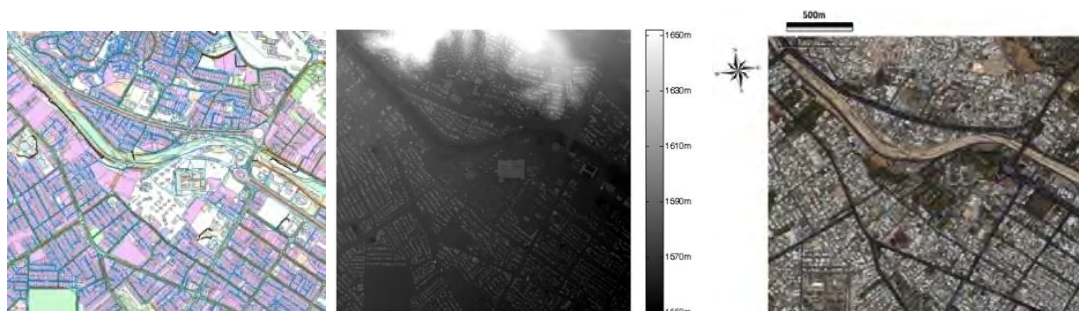
1. Sequential Feature Forward Selection

قدرت تفکیک مکانی ۱ متر است. برای بهره‌برداری مناسب و یک‌جا از دقت مکانی باند Pan و توان تفکیک طیفی تصویر چندطیفی، با استفاده از روش sharpening Gram-Schmidt spectral باند Pan به تصویر ۱ متری با ۴ باند تبدیل شد. در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی نتایج، از داده‌های مرجع شامل نقشه ۱:۲۰۰۰ متعلق به سازمان نقشه‌برداری ایران استفاده شده است (شکل ۲ چپ).

طراحی می‌شود و پس از بهینه‌سازی آن فضا، از روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی پارسل مبنا استفاده می‌شود. شکل ۱ مراحل مختلف روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد. داده استفاده شده در پژوهش حاضر، تصویر ۱۱ بیتی سنجنده آیکنوس از شهر شیراز ایران است (شکل ۲). این تصویر georectified، شامل ۴ باند قرمز، سبز، آبی و مادون قرمز نزدیک است. قدرت تفکیک مکانی داده‌های چندطیفی ۴ متر و باند Pan این سنجنده با



شکل ۱. گام‌های روش پیشنهادی



شکل ۲. منطقه مطالعه شده از شهر شیراز در تصویر آیکنوس، مدل رقومی سطح زمین و نقشه مرجع

۲-۱- قسمت‌بندی و طراحی مدل سلسله‌مراتبی

در مرحله نخست هر آنالیز شیء‌گرا، اشیا به وسیله فرایند قسمت‌بندی تصویر ایجاد می‌شوند (Benz et al., 2004). تاکنون روش‌های گوناگونی برای قسمت‌بندی به کار گرفته شده است که می‌توان آنها را در سه گروه جای داد: الگوریتم‌های point-based، الگوریتم‌های edge-based و الگوریتم‌های region based. دسته‌بندی دیگری این روش‌ها به روش‌های آستانه‌گذاری (Suzuki and Toriwaki, 1991)، کشف لبه (Canny, 1986) و روش‌های رشد نواحی (Pohle and Toennies, 2001) و نیز روش‌های خوشه‌بندی (Clarke et al., 1995) دسته‌بندی شده‌اند (Forouzanfar et al., 2010).

سطوح سلسله‌مراتبی در این تحقیق به وسیله روش قسمت‌بندی ادغام نواحی^۱ چندمقیاسه^۲ ایجاد می‌شود (Batz et al., 2000). این سطوح در روش قسمت‌بندی چندمقیاسه، تحت یک شبکه سلسله‌مراتبی قرار می‌گیرد که در آن هر سطح با سطوح زیرین و بالایی خود در ارتباط است. برای اجرای این روش، ۵ پارامتر شامل پارامترهای مقیاس، وزن ناهمگنی - طیفی (W_{smooth}) و فشردگی (W_{compt}) باید تعیین شوند (Batz et al., 2000) (۱ تا ۴).

سایر پارامترها یعنی Δh_{compt} و Δh_{shaps} و Δh_{smooth} بر اساس میزان ناهمگنی طیفی و ناهمگنی شکلی که تابعی از محیط و مساحت شیء مورد نظر است، برای هر شیء محاسبه می‌شوند. آنچه اهمیت دارد، انتخاب وزن این پارامترهاست. رابطه‌ای خطی از همه این پارامترها برای هر شیء، پارامتری به نام فاکتور مقیاس (f) را تشکیل می‌دهد. چنانچه مقدار فاکتور مقیاس حاصل از ادغام دو شیء همجوار از عدد مقیاس معرفی شده بیشتر نباشد، دو شیء مجاز به ادغام می‌شوند. تاکنون روشی مناسب و بهینه برای انتخاب این پارامترها ارائه نشده است و در بیشتر تحقیقات بر اساس سعی و خطا و نیز قواعد تجربی انتخاب می‌شوند. در نواحی شهری که تنوع ناهمگنی طیفی

بالایی در اشیا یک کلاس وجود دارد، باید وزن کمتری برای ناهمگنی طیفی در نظر گرفت؛ در غیر این صورت اشیا شکل هندسی نامتوازی پیدا می‌کنند و بسیاری از ویژگی‌های شکلی و هندسی از بین می‌رود. به منظور انتخاب وزن مناسب برای پارامترهای نرمی و فشردگی طبق رابطه (۳) وزن بالاتر برای پارامتر فشردگی اشیا مختلف اعم از راه و خانه به صورت فرم‌های فشرده ایجاد می‌شود، که این امر شناسایی اشیا خطی را از اشیا غیرخطی بسیار دشوار می‌کند.

$$f = W_{color} \cdot \Delta h_{color} + W_{shape} \cdot \Delta h_{shape} \quad (۱)$$

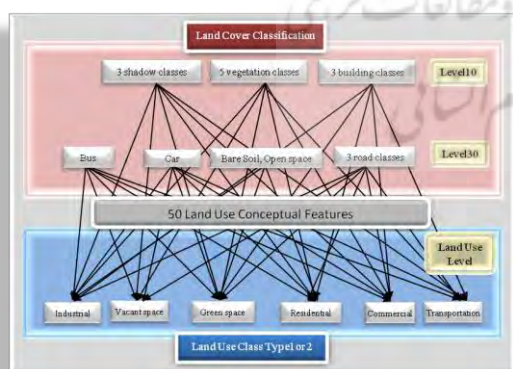
$$W_{color} + W_{shape} = 1 \quad (۲)$$

$$W_{compt} + W_{smooth} = 1 \quad (۳)$$

$$\Delta h_{shape} = W_{compt} \cdot \Delta h_{compt} + W_{smooth} \cdot \Delta h_{smooth}$$

بر اساس آنچه گفته شد، به منظور طبقه‌بندی پوشش اراضی، دو سطح با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ ایجاد می‌شود.

برای اتصال نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی به طبقه‌بندی کاربری اراضی به یک شبکه سلسله‌مراتبی نیاز است. شکل ۳ سطوح این شبکه سلسله‌مراتبی را نمایش می‌دهد. اتصال این دو سطح بر اساس ویژگی‌های مفهومی انجام می‌پذیرد.



شکل ۳. شبکه سلسله‌مراتبی پوشش اراضی و کاربری اراضی

1. Region Growing
2. Multi Scale (Multi Resolution)

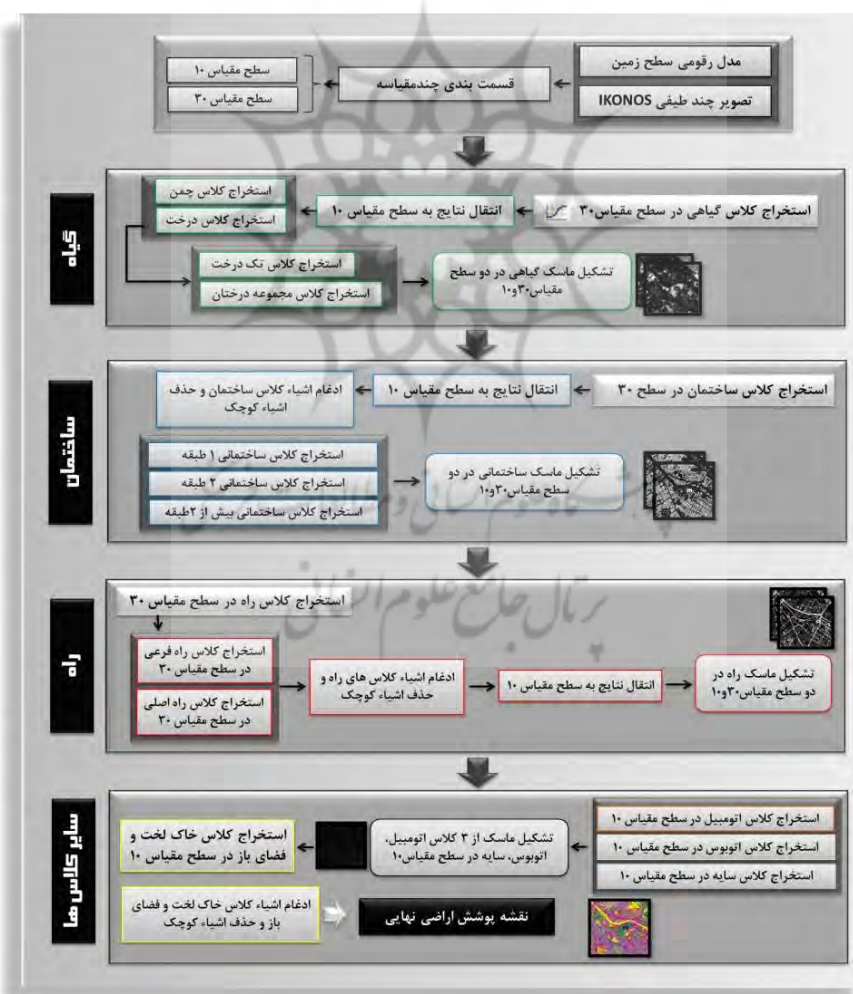
جدول ۱. پارامترهای سطوح مختلف قسمت‌بندی

وزن ناهمگنی شکلی - طیفی	مقیاس	سطح	وزن فشردگی - نرمی
۰/۹ ° ۰/۱	۱۰	سطح ۱۰	۰/۹ ° ۰/۱
۰/۹ ° ۰/۱	۳۰	سطح ۳۰	۰/۹ ° ۰/۱

۲-۲- طبقه‌بندی پوشش اراضی

پس از مرحله قسمت‌بندی، برای طبقه‌بندی پوشش اراضی، خصوصیت‌های مختلف کلاس‌ها در آنالیزهای شیء‌مبنا با به‌کارگیری ویژگی‌ها تشریح می‌شود. با توجه به تنوع و پیچیدگی امان‌های شهری، طراحی مدل یا استراتژی طبقه‌بندی ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف روش طبقه‌بندی قانون‌مبنای پیشنهادی، رسیدن

به کمترین فضای ویژگی برای تشریح خصوصیات کلاس‌های مختلف است. به همین دلیل در آن از استراتژی گام‌به‌گام برای طبقه‌بندی پوشش اراضی استفاده شده است. استراتژی اصلی در طراحی این ترتیب بر دو معیار قابلیت استخراج بالاتر و اهمیت کلاسی استوار است. گام‌های این مدل در شکل ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. مراحل مختلف طبقه‌بندی مرحله‌به‌مرحله پوشش اراضی

طبقه‌بندی کاربری اراضی بر مبنای ویژگی‌های مفهومی و مدل گام‌به‌گام طبقه‌بندی پوشش اراضی

جدول ۲. تشریح مشخصات کلاسی در طبقه‌بندی پوشش اراضی

ویژگی/کلاس	ویژگی‌های هندسی		ویژگی‌های طیفی										ویژگی‌های مفهومی											
	Length/Width	Elliptic Fit Rectangular Fit	Area	NDVI MF	Brightness	Hue	Saturation	Mean Red	Mean Green	Mean Blue	Mean NIR	Mean dif. to scene Red	Mean Diff to Scene Green	Mean Diff to Scene NIR	Contrast to neighbor pixels(DSM)	Min diff to Scene(DSM)	Ratio to Scene(DSM)	Mean Diff to neighbor object(DSM)	Contrast to neighbor pixels	Border to road	Rel. Border to road	Classified as Main Road	Rel. Border to Vegetation	Rel. Border to Building
سطح ۳۰ گیاه			۰/۶ >																					
سطح ۱۰ چمن												-۲۴۳ >	-۱۸۸ >											
درخت											-۲۱۹ <	۱۸۰ <	۳۱۵ <											
ساختمان															۲ >	۰/۵ >	۰/۷۵ >							
سطح ۳۰ راه	۱ >					۰/۱۷۱ (۰/۲۶۸)		۱۰۰۰ <			۱۷۰ <=													
راه اصلی						۶۱۵ < (۰/۲۸۰)		۵۹۱ <																
راه فرعی								۶۸۲ <																
خودرو																								
اتوبوس																								
سطح ۱۰ سایه درختی																								۰/۶ >
سایه ساختمانی																								۰/۶ >
خاک لخت																								

کلاس راه استخراج می‌شود؛ پس از کلاس راه، کلاس خودرو، اتوبوس و سایه طبقه‌بندی می‌شود؛ در پایان نیز کلاس خاک لخت با توجه به بالاترین تنوع طیفی و کمترین خصوصیات هندسی و مفهومی اشیای این

خصوصیات ویژه گیاهان در باندهای مرئی و مدل رقومی سطح زمین در این پژوهش نشان می‌دهند که کلاس‌های گیاه و ساختمان بالاترین قابلیت استخراج را دارند. بعد از این دو کلاس با توجه به اهمیت کلاسی،

قرارگیری ساختمان‌ها، بهترین راه‌حل برای طبقه‌بندی صحیح این کلاس، استفاده از خصوصیت ارتفاعی اشیای این کلاس نسبت به سایر کلاس‌هاست. برای طبقه‌بندی این کلاس از ۴ ویژگی طیفی مربوط به لایه DSM استفاده شد. دو ویژگی این لایه که بر تشریح خصوصیات ارتفاعی ساختمان در یک همسایگی محلی متمرکزند ((Contrast to neighbor pixels (DSM) و Mean Diff to neighbor object (DSM) و دو ویژگی دیگر برای مدل‌سازی این خصوصیت در دیدی کلی در تمام سطح تصویر ((Ratio to Scene (DSM) و Min (DSM) (diff to Scene) به کار گرفته شدند.

ویژگی‌های مفهومی نیز شامل مجموع مرز مشترک با اشیای کلاس راه (Border to road)، و سه ویژگی درصد مرز مشترک (Rel. Border) با اشیای کلاس‌های راه، ساختمان و درخت است. این ویژگی‌ها فقط در سطح ۱۰ و برای کلاس وسایل نقلیه و زیرکلاس‌های سایه - که عموماً ماهیت مفهومی دارند - به کار گرفته شده‌اند. در جدول ۱، علاوه بر معرفی ویژگی‌های لازم برای جداسازی کلاس‌ها، حدود آستانه هر ویژگی نیز ارائه شده است. به‌عنوان مثال، اگر اشیای طبقه‌بندی‌نشده در سطح ۳۰ دارای مقدار میانگین Hue در محدوده ۰/۱۳ تا ۰/۱۷ و مقدار میانگین Saturation بالاتر از ۰/۲۰ باشد، در کلاس خاک لخت قرار می‌گیرند. رابطه منطقی شروط معرفی‌شده برای تفکیک هر کلاس، عملگر منطقی AND است.

در پژوهش حاضر برای تفکیک کلاس گیاه، از شاخص گیاهی NDVI استفاده شده است. به‌منظور مدیریت عدم قطعیت ناشی از مرحله قسمت‌بندی، از آستانه‌گذاری فازی روی معیار NDVI استفاده شده که مستلزم طراحی تابع عضویت S شکل برای کلاس گیاه است. به‌منظور طراحی صحیح این تابع عضویت، از دو مرکز خوشه گیاهی و غیرگیاهی استفاده شد. در اینجا نیز با قطعیت نمی‌توان اشیای گیاهی و غیرگیاهی را برچسب‌دهی کرد. بخشی از یک شیئی گیاهی ممکن است دربرگیرنده پیکسل‌های غیرگیاهی باشد و برعکس، که این مفهوم، خاصیتی فازی را نشان می‌دهد. در نتیجه

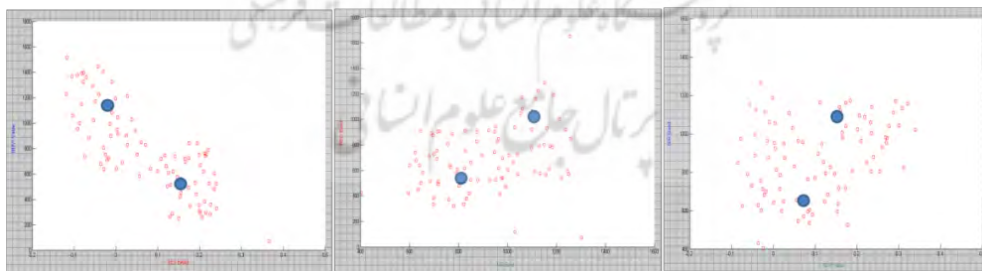
کلاس، طبقه‌بندی می‌شود. قرارگرفتن کلاس‌های خودرو و اتوبوس در ساختار کلاسی پوشش اراضی، به‌دلیل اهمیت مفهومی این کلاس‌ها در سطح کاربری اراضی است. در روش پیشنهادی طبقه‌بندی پوشش اراضی، ابتدا ویژگی‌های متمایزکننده کلاس‌های مختلف انتخاب می‌شوند. پس از انتخاب ویژگی‌های مناسب، محدوده مقادیر هر ویژگی برای کلاس‌های مختلف در دو سطح تعیین می‌شود. بر این اساس می‌توان در روال گام‌به‌گام برگرفته از مدل ارائه‌شده در شکل ۳، کلاس‌های مختلف را شناسایی و اشیای مربوط به هر یک را حذف کرد. در مطالعه حاضر ضمن تلاش برای پیاده‌سازی دانش کارشناسی، ابتدا ویژگی‌های مناسب برای شناسایی هر کلاس در هر سطح تعیین و سپس محدوده مقادیر این ویژگی‌ها مشخص شده است. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش، در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

سطرهای جدول ۲ نشان‌دهنده کلاس‌های مختلف و ستون‌های آن معرف ویژگی‌های استفاده‌شده در طبقه‌بندی آنهاست. فضای ویژگی به‌کار گرفته‌شده شامل ۳ دسته ویژگی‌های هندسی، طیفی و مفهومی است. نخستین ویژگی هندسی مربوط به طول به عرض اشیاست که عموماً برای تشریح مشخصه کشیده‌بودن اشیای خطی به کار می‌رود. دو ویژگی بعدی شامل Ecliptic Fit و (Definiens, 2003) برای تشریح خصوصیات اشیای فشرده و جداسازی آنها از اشیای خطی به کار می‌روند. آخرین ویژگی هندسی به کار رفته نیز ویژگی مساحت است.

ویژگی‌های طیفی شامل NDVI MF، ویژگی Brightness (میانگین ۴ بانده طیفی تصویر)، Hue، Saturation، ۴ بانده طیفی تصویر، اختلاف مقدار شیء در یک ویژگی طیفی نسبت به دامنه آن ویژگی در کل تصویر Mean Diff. to scene برای ۳ بانده قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک و ویژگی Contrast to neighbor pixels است. تمامی ویژگی‌های طیفی اشاره‌شده به‌صورت میانگین برای هر شیء محاسبه و آنالیز می‌شود. به‌علت تنوع فراوان طیفی کلاس ساختمان در منطقه مطالعه‌شده و فرم متراکم و به‌هم چسبیده

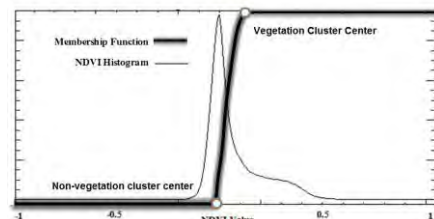
مطابق با این جدول، اشیای سطح ۳۰ که مقدار NDVI MF آنها بزرگ‌تر از ۰/۶ باشد، به کلاس گیاهی اختصاص می‌یابند. به منظور جداسازی کلاس‌های درخت و چمن از کلاس گیاه، از تفاوت میزان درخشندگی دو کلاس در همه باندهای مرئی در اثر میزان انبوهی گیاهی و میزان آب موجود در آنها استفاده شد. کلاس درخت دارای حد آستانه بالا برای باند R و NRI و G است و کلاس چمن برعکس دارای حد آستانه پایین برای این ۳ باند است. به همین دلیل شاخص NDVI معیار مناسبی برای جداسازی این دو کلاس نیست. بعد از این مرحله، ماسکی از کلاس‌های گیاهی ایجاد شد و سایر کلاس‌ها در بخش غیرگیاهی طبقه‌بندی خواهند شد. پس از طبقه‌بندی کلاس درخت، اشیای این کلاس به وسیله الگوریتم merge region ادغام می‌شوند. ویژگی مساحت اشیای به دست آمده، متمایزکننده کلاس‌های مجموعه درختان (Garden) و تک‌درخت (Single Tree) است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی قانون مبنای فوق در شکل ۷ نشان داده شده است.

معیارهای ارزیابی دقت روش طبقه‌بندی قانون مبنای ساده در جدول ۳ نشان داده شده، که برای تهیه آن از داده‌های تست حاصل از تفسیر بصری و نقشه ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است.



شکل ۵. مراکز خوشه‌های به دست آمده سمت راست (NDVI, NIR) و وسط (NDVI, NIR) و چپ (Red, NDVI)

- مرکز خوشه گیاهی
- روی شاخص NDVI = ۰/۱۵۲
- مرکز خوشه غیرگیاهی
- روی شاخص NDVI = ۰/۲۴

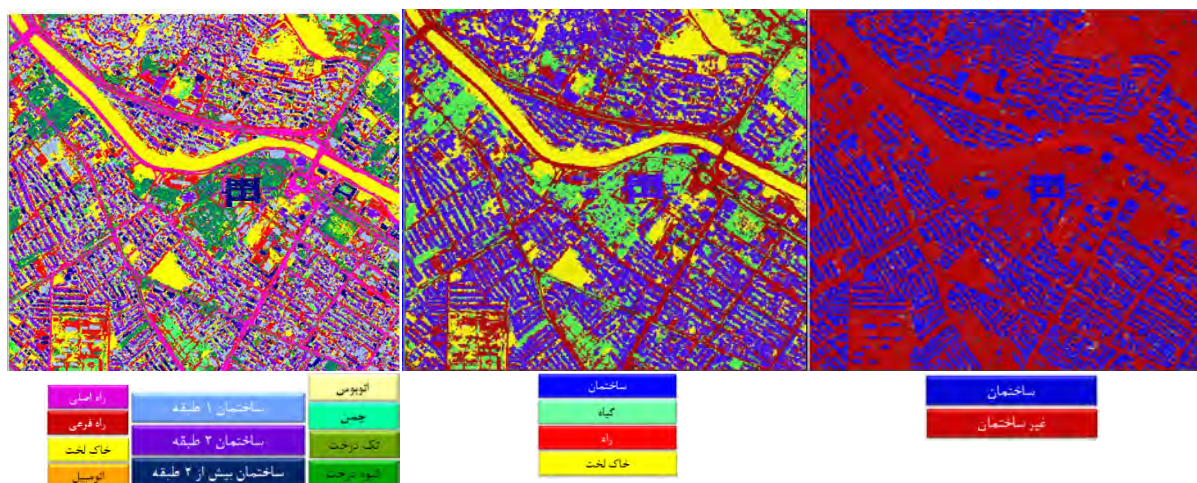


شکل ۶. هیستوگرام NDVI و تابع عضویت طراحی شده و مقادیر مراکز خوشه‌های گیاهی و غیرگیاهی

برای تعیین مراکز خوشه‌های گیاهی و غیرگیاهی نیز می‌بایست مفاهیم فازی در نظر گرفته شوند. بدین منظور از الگوریتم Fuzzy c-means برای یافتن مراکز خوشه گیاهی و غیرگیاهی استفاده شد (Bezdek, 1981). تعداد ۷۵ نمونه غیرگیاهی و ۷۵ نمونه گیاهی از مقادیر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک و شاخص NDVI جمع‌آوری شد، سپس الگوریتم خوشه‌بندی فازی C-Means دوبه‌دو برای هر جفت از ۳ باند اشاره شده به اجرا درآمد. نتایج پیاده‌سازی این آنالیز در شکل ۵ نمایش داده شده است.

از مراکز خوشه‌های باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، یک مرکز خوشه شاخص NDVI محاسبه شده است و مراکز خوشه‌های گیاهی و غیرگیاهی نهایی از میانگین مراکز خوشه‌های شاخص NDVI اولیه و مقادیر خوشه NDVI محاسبه شده، به دست می‌آید. با استفاده از مقادیر نهایی NDVI به دست آمده برای کلاس‌های گیاهی و غیرگیاهی، تابع شکل مطابق با شکل ۶ طراحی شد. در این شکل افزون بر تابع شکل طراحی شده، هیستوگرام مقادیر NDVI کلیه اشیای تصویر موجود نیز ارائه شده است.

پس از طراحی تابع عضویت مذکور، مقدار عضویت حاصل از این تابع برای هر شیء تصویری، به عنوان ویژگی MF NDVI در جدول ۱ استفاده می‌شود.



شکل ۷. نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی در سلسله‌مراتب‌های مختلف

جدول ۳. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی

اتوبوس	خودرو	راه فرعی	راه اصلی	راه	گیاه	درخت	چمن	خاک لخت-فضای باز	ساختمان	کلاس/دقت
۹۵٪	۱	۰/۸	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۹۷	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۹۴	دقت تولیدکننده
۱	۱	۰/۹۵	۰/۸	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۷	۰/۸۸	دقت کاربر
۰/۹۱	۱	۰/۷۷	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۹۲	کاپا

دقت کلی: ۸۹/۲٪ ضریب کاپا: ۰/۸۶۳

۲-۳- استخراج اشیای کاربری اراضی

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در پژوهش حاضر از کلاس راه اصلی به‌عنوان مرز جداکننده واحدهای اصلی کاربری اراضی یا اشیای کاربری اراضی استفاده می‌شود. در شکل ۸- چپ، اشیای ادغام‌شده کلاس راه اصلی نمایش داده شده‌اند. همان‌طور که در شکل پیداست، فرم مورد انتظار اشیای کاربری اراضی در قسمت سیاه‌رنگ تصویر آشکارا مشاهده می‌شود. قسمت حاشیه‌ای نواحی راه اصلی پوشیده از درخت‌های پهن‌برگ است. در قسمت‌های کم‌عرض راه، وجود این درختان باعث استخراج نامناسب راه و در نتیجه ایجاد گسستگی در برخی بخش‌های راه شده است. از این‌رو پیش از استخراج اشیای کاربری اراضی، لازم است برخی عملیات پیش‌پردازش روی اشیای راه اصلی اجرا شوند تا گسستگی‌های موجود برطرف شود. در شکل ۸- راست، راه اصلی اصلاح‌شده و اشیا (یا واحدهای) کاربری اراضی استخراج‌شده نمایش داده شده است.

دقت کلی نتایج حدود ۸۹ درصد و ضریب کاپا حدود ۰/۸۶ است. با توجه به پیچیدگی منطقه مطالعه‌شده، دقت به‌دست‌آمده مناسب ارزیابی می‌شود. مجموعه کلاس گیاهی با دقت بالایی طبقه‌بندی شد، اما کلاس چمن و کلاس درخت دارای اختلاط طیفی هستند. کلاس خودرو و اتوبوس با دقت بالایی طبقه‌بندی شد. این دو کلاس از لحاظ طیفی و شکلی با کلاس ساختمان تشابهات فراوانی دارند، اما به‌کارگیری مدل رقومی سطح زمین در طبقه‌بندی ساختمان‌ها و ویژگی‌های مفهومی در دو کلاس خودرو و اتوبوس، اختلاط میان این کلاس‌ها را بسیار کاهش داده است. دقت کاربر کلاس ساختمان ۸۸ درصد است. نخستین علت این امر اختلاف زمانی تهیه داده‌های مدل رقومی سطح زمین با تاریخ برداشت تصویر است، که در آن فاصله تغییراتی در ساختمان‌های منطقه ایجاد شده است. علت دوم نیز تراکم بالای بخشی از منطقه مطالعه‌شده است که باعث اختلاط کلاس راه فرعی و کلاس ساختمان شده است.

صنعتی، حمل‌ونقل و فضای بلااستفاده نیز به سیستم کلاسی نوع ۲ افزوده شد. در طبقه‌بندی کاربری اراضی، دو سیستم کلاس نوع ۱ (غیرترکیبی) با ۶ کلاس و سیستم کلاس نوع ۲ با ۱۱ کلاس ترکیبی و غیرترکیبی، در فرایندهای بعدی طبقه‌بندی کاربری اراضی آنالیز می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های سیستم کلاسی نوع ۲، امکان جداسازی برخی زیرکلاس‌های تجاری یا اداری است. به‌عنوان مثال در ناحیه دانشگاهی عموماً نسبت فضای سبز و فضای باز بالاست و در عین حال نسبت فضای ساختمانی هم بالاست. در سیستم کلاسی نوع ۲، ناحیه دانشگاهی در محدوده کلاسی تجاری - فضای سبز قرار می‌گیرد و ناحیه تجاری (اداری) با کاربری بازار و فروشگاه‌ها در کلاس تجاری - مسکونی طبقه‌بندی می‌شود. نواحی صنعتی نیز در این سیستم کلاسی می‌توانند شامل کارخانه‌ها، کارگاه‌ها و حتی نواحی نظامی باشند که خصوصیتی شبیه به نواحی صنعتی دارند.

۲-۴- طراحی فضای ویژگی مفهومی

به‌منظور طبقه‌بندی اشیای کاربری اراضی نظیر اشیای پوشش اراضی، می‌بایست مشخصات کلاس‌های کاربری اراضی از طریق مجموعه‌ای از ویژگی‌ها تشریح شوند. اما نکته اینجاست که مانند طبقه‌بندی پوشش اراضی، ویژگی‌های معمول، توانایی جداسازی اشیای کاربری اراضی را ندارند، زیرا اشیا در این سطح فاقد مشخصات طیفی، هندسی یا بافتی مشخصی هستند. تنها راه طبقه‌بندی اشیای کاربری اراضی، به‌کارگیری ویژگی‌های مفهومی براساس شناخت زیراشیای پوشش اراضی آن است. به‌عنوان مثال در فضای سبز و تفریحی، نسبت فضای گیاهی در مقایسه با سایر کلاس‌ها بالاتر است، یا در واحدهای تجاری به‌دلیل اهمیت بیشتر سطح زمین، نسبت فضای ساختمانی بالاتر است. به همین ترتیب ویژگی‌های مفهومی دیگر را نیز می‌توان بررسی کرد. جدول ۴ فهرست تمام ویژگی‌های مفهومی طراحی شده برای طبقه‌بندی کاربری اراضی را نمایش می‌دهد.



شکل ۸. واحدهای مکانی کاربری اراضی

(سمت راست: اشیای کاربری اراضی تصحیح شده، سمت چپ: راه اصلی طبقه‌بندی شده)

در کشورهای مختلف، استانداردهای گوناگونی برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی وجود دارد. در کارهای اندکی که در حوزه کاربری اراضی به‌وسیله آنالیز خودکار تصاویر سنجش از دور انجام شده است، پرکاربردترین کلاس‌ها که کمترین میزان وابستگی را به منطقه مطالعه شده دارند، ۵ کلاس مسکونی، تجاری (اداری)، حمل‌ونقل، صنعتی و فضای سبز (یا فضای تفریحی) وجود دارد. در پژوهش حاضر منظور از کلاس تجاری، نواحی شامل کاربری‌های تجاری و اداری و مؤسسات و سازمان‌ها به صورت هم‌زمان است.

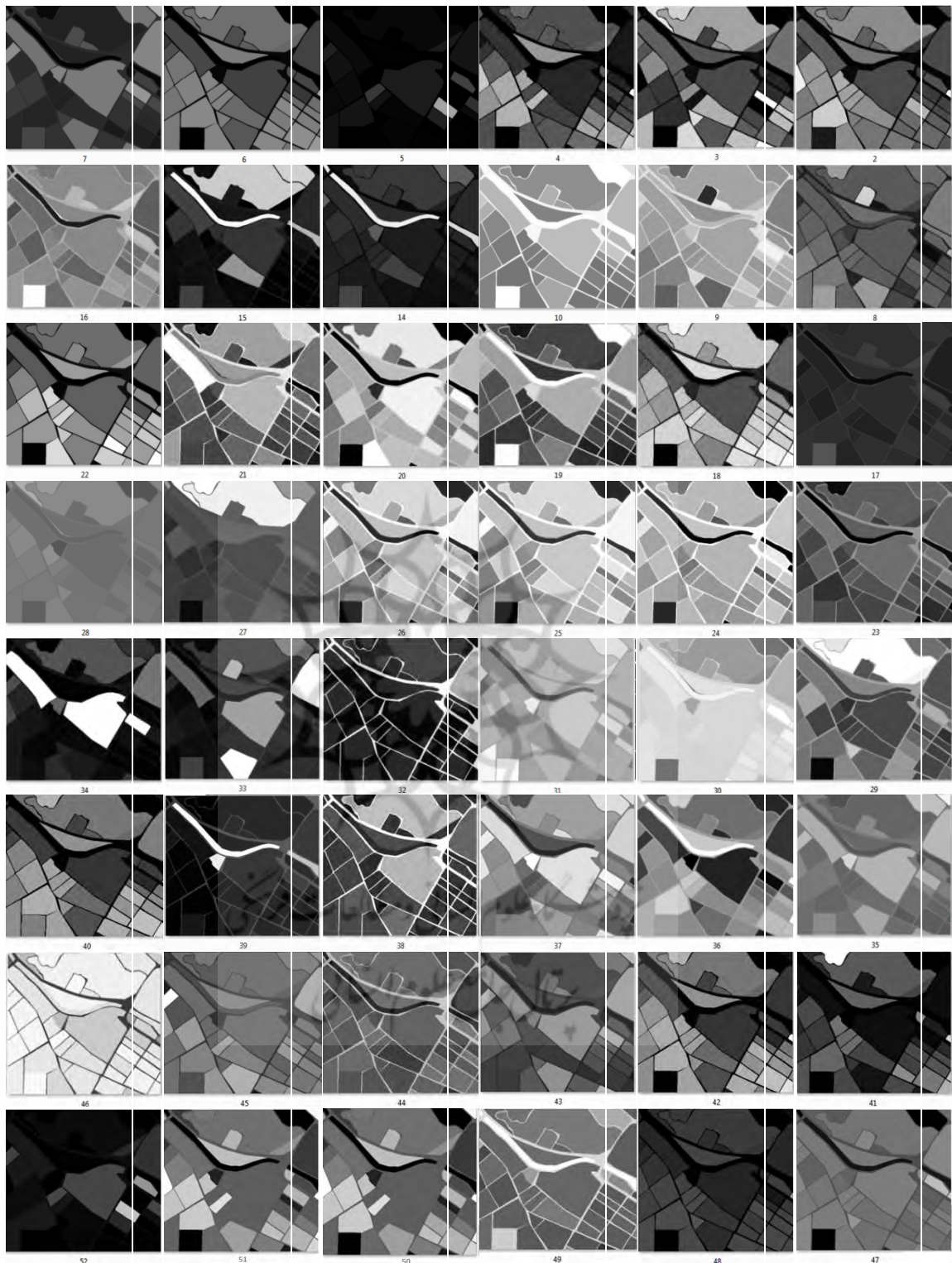
همان‌طور که پیش از این اشاره شد، در منطقه مطالعه شده نواحی بدون استفاده زیادی با ابعاد بزرگ وجود دارد و در این سیستم کلاسی نیز کلاس دیگری به نام فضای بلااستفاده وجود دارد. از این پس در پژوهش حاضر این سیستم ۶ کلاسه، سیستم کلاسی نوع ۱ نامیده می‌شود. ساختار کلاسی نوع ۱ عموماً در نواحی شهری توسعه یافته تعریف می‌شود. در کشورهای در حال توسعه به‌دلیل رشد نیافتگی ساختار یافته در شهرها، واحدهای کاربری اراضی عموماً از ترکیب کلاس‌های نوع ۱ ایجاد می‌شوند. پیش‌بینی می‌شود با توجه به شرایط منطقه مطالعه شده، سیستم کلاسی دوم (نوع ۲) در آن برقرار باشد. کلاس‌ها در این سیستم شامل تجاری (اداری) - مسکونی، مسکونی - فضای سبز، تجاری (اداری) - فضای سبز، تجاری - صنعتی، فضای بلااستفاده - فضای سبز و صنعتی - فضای سبز است. با بررسی منطقه، چند کلاس غیرترکیبی شامل کلاس‌های مسکونی، فضای سبز،

جدول ۴. فهرست ویژگی‌های مفهومی کاربری اراضی

(۱) تعداد ساختمان‌ها	(۲) میانگین مساحت ساختمان‌ها $MBA = \frac{\sum Area\ of\ Building}{number\ of\ building\ spatial\ unit}$
(۳) درصد ساختمان‌های یک طبقه	(۴) درصد ساختمان‌های دو طبقه
(۵) درصد ساختمان‌های بیش از دو طبقه	(۶) FAR (نسبت مساحت سطح سقف‌ها) $FAR = \frac{\sum Area\ of\ Building}{Area\ of\ spatial\ unit}$
(۷) GCR ^۲	(۸) درصد مساحت فضای سبز چمنی به کل فضای سبز $GCR = \frac{\sum Area\ of\ Green\ Object_{vegetation}}{Area\ of\ spatial\ unit}$
(۹) درصد مساحت فضای سبز درختی به کل فضای سبز	(۱۰) OCR ^۳ $OCR = 1 - \frac{\sum Area\ of\ Building}{Area\ of\ spatial\ unit}$
(۱۱) معیار فاصله نسبت به مرکز شهر برای نواحی مسکونی یا تجاری یا صنعتی	(۱۲) معیار فاصله نسبت به راه‌های اصلی مشخص و نامشخص از طریق پهنای راه
(۱۳) ویژگی وجود استخر یا سطوح آبی (محتمل برای فضای تفریحی)	(۱۴) نسبت وجود خاک لخت (BsAR) $BsAR = \frac{\sum Area\ of\ Bare\ Soil}{Area\ of\ spatial\ unit}$
(۱۵) بزرگ‌ترین فضای خالی یا خاک لخت در منطقه	(۱۶) درصد وجود راه‌ها در ناحیه مربوط به راه‌های فرعی
(۱۷) محاسبه نسبت وجود سایه‌ها در منطقه	(۱۸) درصد سایه‌های مجاور به یک ساختمان
(۱۹) درصد سایه‌های مجاور به یک درخت	(۲۰) محاسبه ماکزیمم سایه‌های ساختمانی در یک منطقه
(۲۱) ماکزیمم سایه درختی	(۲۲) ویژگی میانگین مساحت سایه‌های ساختمانی یک پارسل
(۲۳) ویژگی میانگین قیل برای سایه‌های درختی	(۲۴) ویژگی انحراف استاندارد در مقادیر ارتفاعی ساختمان‌ها در ناحیه
(۲۵) ویژگی بزرگ‌ترین ارتفاع ساختمانی در ناحیه	(۲۶) دامنه ارتفاعی منطقه (اختلاف بزرگ‌ترین ساختمان و کوتاه‌ترین)
(۲۷) میانگین شیب منطقه	(۲۸) میانگین Aspect منطقه
(۲۹) انحراف استاندارد شیب	(۳۰) انحراف استاندارد جهت شیب
(۳۱) درصد راه‌ها با پهنای کمتر	(۳۲) انحراف استاندارد منطقه در لایه DEM
(۳۳) ماکزیمم تکه چمنی منطقه	(۳۴) ماکزیمم تکه درختی منطقه
(۳۵) به کارگیری میانگین NDVI یک ناحیه	(۳۶) درصد درخت‌های جدا افتاده و منفرد به کل درختان
(۳۷) نسبت مساحت درختان	(۳۸) تعداد ماشین‌های کشف شده
به کارگیری ویژگی‌های مفهومی شاخصی شیء مبنا در سطح کاربری اراضی	
(۳۹) ترکیب GCR/FAR	(۴۰) نسبت تعداد ماشین‌ها به مساحت واحد
(۴۱) نسبت مساحت خانه‌ها به مساحت فضای سبز ناحیه	(۴۲) نسبت مساحت فضای مسکونی به مساحت فضای باز (غیرمسکونی)
(۴۳) نسبت فضای سبز به فضای باز (فضای غیرمسکونی)	(۴۴) نسبت فضای راه به فضای باز
(۴۵) نسبت مساحت ماشین‌ها داخل ناحیه به مساحت فضای راه	(۴۶) نسبت راه فرعی به کل راه
(۴۷) میانگین ارتفاع ساختمان‌های یک ناحیه	(۴۸) میانگین ارتفاع ساختمان‌های یک ناحیه ضربدر درصد مساحت ساختمان‌ها
(۴۹) ویژگی درصد مناطق بدون حضور اشیای ارتفاعی مثل درخت و ساختمان	(۵۰) درصد ساختمان‌های یک طبقه به کل ساختمان‌ها
(۵۱) درصد ساختمان‌های یک طبقه به کل ساختمان‌ها	(۵۲) درصد ساختمان‌های یک طبقه به کل ساختمان‌ها
(۵۳) تعداد ساختمان‌ها تقسیم بر مساحت پارسل	(۵۴) درصد مرز مشترک با راه‌های اصلی و شلوغ
(۵۵) میانگین اندازه ساختمان‌ها	

1. Floor Area Ratio
2. Green Coverage Ratio
3. Open space Coverage Ratio

طبقه‌بندی کاربری اراضی بر مبنای ویژگی‌های مفهومی و مدل گام‌به‌گام طبقه‌بندی پوشش اراضی



شکل ۹. ویژگی‌های مفهومی طراحی شده و استخراج شده در سطح کاربری اراضی

در مرحله طراحی هریک از این ویژگی‌ها، کوشش شده است تا ویژگی‌هایی که تمایز میان کلاس‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازند، طراحی شوند. از آنجاکه ویژگی‌های مفهومی بر مبنای اصول منطقی طراحی

ویژگی‌های مفهومی طراحی شده، انتخاب ویژگی‌های مفهومی بهینه ضروری به نظر می‌رسد. برای انجام این کار از الگوریتم بهینه‌سازی Sequential Feature Forward Selection براساس معیار اقلیدسی برای هر دو سیستم کلاسی یادشده کاربری اراضی استفاده شده است (Marcano-Cedeno et al., 2010). شکل ۱۰ مراحل بهینه‌سازی را نمایش می‌دهد.

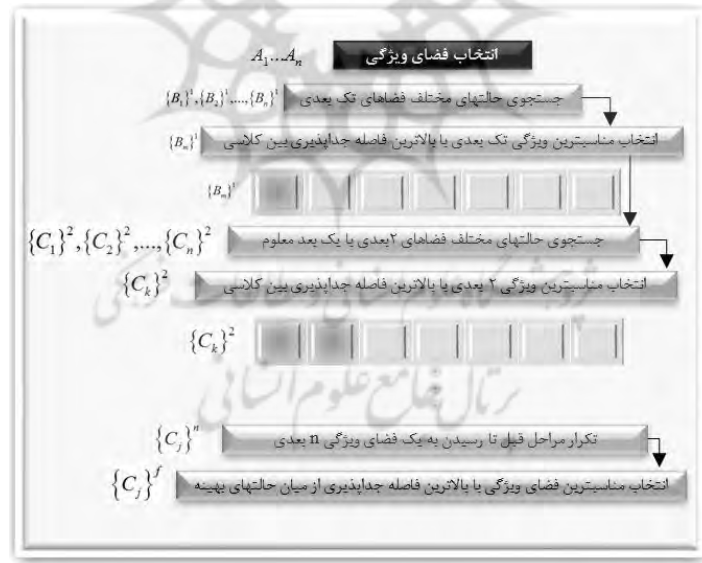
فضای ویژگی ورودی به این آنالیز ۴۷ ویژگی مفهومی کاربری اراضی است. نتایج بهینه‌سازی برای هر دو سیستم کلاسی در جدول ۵ نمایش داده شده است. ترتیب ویژگی‌های مفهومی براساس کاهش اثر ویژگی‌ها در میزان جداپذیری میان کلاس‌های کاربری اراضی است. در شکل ۱۱ نمودار روند جداپذیری میان کلاس‌ها با افزایش ابعاد فضای ویژگی نشان داده شده است.

شده‌اند، کمترین میزان وابستگی به منطقه در این ویژگی‌ها وجود دارد. در جدول ۴ امکان استخراج ویژگی‌های ۱، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۵۳، ۵۴ و ۵۵ به دلیل نوع منطقه، داده‌های استفاده‌شده و مدل متراکم ساختمان‌ها، فراهم نشد. برای استخراج اغلب ویژگی‌های فوق به داده‌های لیدار برای استخراج دقیق ساختمان‌ها نیاز است، گرچه حتی با این شرایط نیز این ویژگی‌ها به‌دقت حاصل نمی‌شوند. شکل ۹ ویژگی‌های مفهومی طراحی شده را در سطح کاربری اراضی نمایش می‌دهد.

۲-۵- بهینه‌سازی فضای ویژگی مفهومی

ویژگی‌های مفهومی طراحی شده، هریک به نحوی قابلیت مناسبی را برای تفکیک‌پذیری میان کلاس‌های مختلف برقرار می‌سازند. با توجه به تعداد بالای

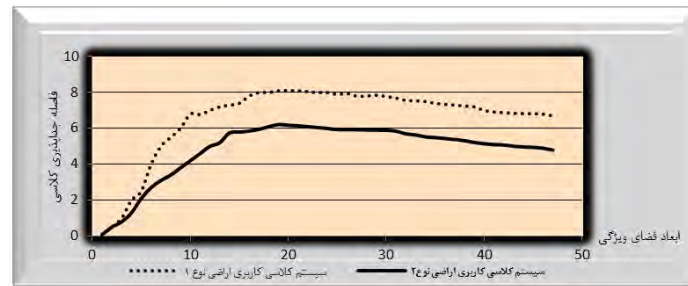
جدول ۵. نتایج بهینه‌سازی فضای ویژگی کاربری اراضی برای دو سیستم کلاسی ۱ و ۲ با به‌کارگیری روش SFFS



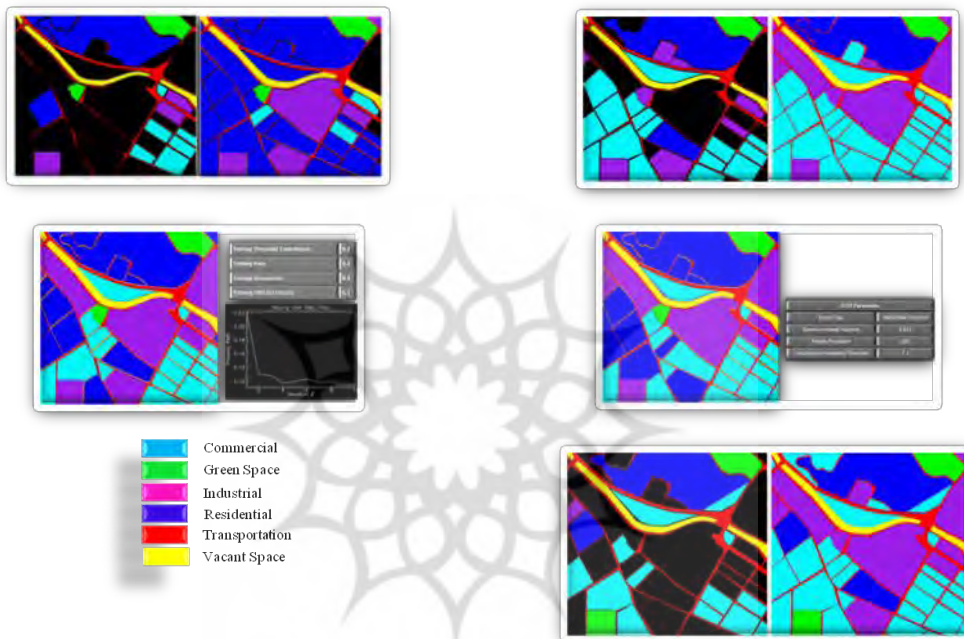
جدول ۵. نتایج بهینه‌سازی فضای ویژگی کاربری اراضی برای دو سیستم کلاسی ۱ و ۲ با به‌کارگیری روش SFFS

سیستم کلاسی	۳۰	۳۱	۳۳	۱۷	۲۹	۵	۳۹	۲۸	۴۰	۹
نوع ۱	۲۰	۴۹	۴۸	۱۴	۴۵	۲۲	۱۵	۴۱	۴۴	۸
سیستم کلاسی	۱۷	۳۱	۲۱	۳۰	۶	۴۵	۴۹	۹	۳۵	۴۸
نوع ۲	۳۴	۲۹	۳۳	۲۸	۸	۵	۳۲	۷	۴۷	

طبقه‌بندی کاربری اراضی بر مبنای ویژگی‌های مفهومی و مدل گام‌به‌گام طبقه‌بندی پوشش اراضی



شکل ۱۱. نتایج نمودار بهینه‌سازی فضای ویژگی مفهومی با استفاده از الگوریتم SFSS



شکل ۱۲. ردیف بالا-راست: نتیجه طبقه‌بندی روش مینیمم فاصله، بدون اعمال پارامتر (راست)، با اعمال Max Stdev From Mean (چپ)؛ ردیف بالا ° چپ: روش ماهالانوبیس، بدون اعمال پارامتر اولیه (راست)، با اعمال Max Distance Error=0.1 (چپ)؛ وسط- راست: نتیجه روش ماشین‌های بردار پشتیبان و پارامترهای مرتبط، وسط ° چپ: نتایج روش شبکه عصبی (۱۰ بار تکرار)، ردیف پایین: نتایج طبقه‌بندی با روش Binary Encoding، بدون پارامتر (راست)، با پارامتر حد آستانه ۰/۸۵

نوع ۱ استفاده شد. نتایج این روش‌ها در شکل ۱۲ نمایش داده شده است.

نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که با اعمال پارامترهای کنترلی روش‌های طبقه‌بندی، بخش وسیعی از اشیای کاربری اراضی طبقه‌بندی نشده

بهینه‌سازی انجام شده بر اساس ارائه نمونه‌های آموزشی در منطقه‌ای خارج از منطقه بررسی شده، انجام شد. با استفاده از این نمونه‌های آموزشی از روش‌های سنتی طبقه‌بندی مینیمم فاصله، Mahalanobis Distance، متوازی‌السطوح^۱، رمزگذاری دودویی^۲، شبکه عصبی و ماشین‌های بردار پشتیبان^۳ برای ارزیابی اولیه نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی روی سیستم کلاسی

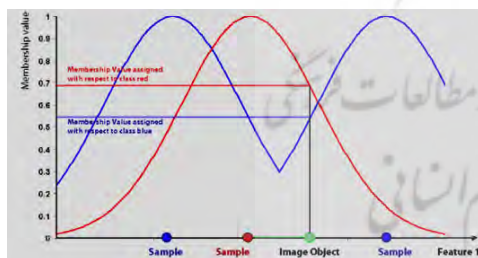
1. Parallelepiped
2. Binary Encoding
3. Support Vector Machines

هر شیء، نزدیک‌ترین نمونه از هر کلاس به شیء موردنظر انتخاب می‌شود. در مرحله بعد، تابع عضویت گوسین با مرکزیت شیء نمونه برای همه کلاس‌ها و هر ویژگی، براساس مشخصات آماری (میانگین و انحراف معیار) فضای نمونه هر کلاس، طراحی می‌شود (شکل ۱۳- الف و رابطه ۵). برای هر شیء مقادیر عضویت نسبت به کلاس‌های مختلف در ویژگی موردنظر محاسبه می‌شود (شکل ۱۳- ب). در نهایت اپراتور منطقی And محاسبه مقادیر عضویت شیء به هر کلاس را از بین مقادیر عضویت شیء در ویژگی‌های مختلف کلاسی انجام می‌دهد. در نهایت اپراتور منطقی Max برای اختصاص کلاس نهایی به شیء موردنظر به کار گرفته می‌شود.

رابطه (۵)

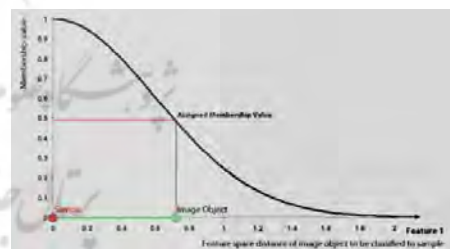
$$f(x; \sigma, o) = \exp\left[\frac{-(x - o)^2}{2\sigma^2}\right]$$

در شکل ۱۴ نتیجه طبقه‌بندی روش نزدیک‌ترین همسایه فازی برای سیستم کلاسی نوع ۱ نمایش داده شده است.

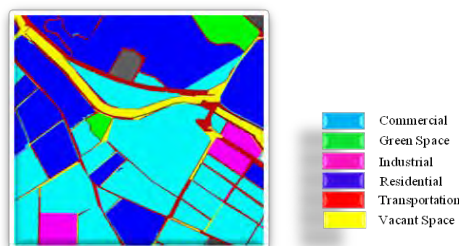


ب) توابع عضویت در یک بعد برای نسبت‌دادن کلاس به یک شیء)

(واحد‌های سیاه‌رنگ) باقی می‌مانند. این اشیا عموماً جزء آن دسته از واحدهای کاربری اراضی هستند که در سیستم کلاسی نوع ۲ در کلاس‌های ترکیبی تعریف شده‌اند. از دیگر نتایج این آنالیز اختلاط و شباهت بالای دو کلاس مسکونی و تجربی در فضای ویژگی مفهومی است. به علت مشابهت‌های بالای دوجه‌دو میان کلاس‌های گوناگون کاربری اراضی در فضای ویژگی مفهومی، پیچیدگی ذاتی کاربری اراضی و بافت ناهمگون و ساختارنیافته شهری منطقه مطالعه‌شده، روش‌های فوق امکان ارائه نتایج مستحکمی را ندارند. به‌نظر می‌رسد مرز میان کلاس‌های کاربری اراضی دارای ماهیت فازی است (Zhan et al., 2003). بر همین اساس استراتژی فازی براساس ویژگی‌های مفهومی بهینه برای طبقه‌بندی کاربری اراضی پارسل‌منا پیشنهاد می‌شود. در این مطالعه از روش نزدیک‌ترین همسایه فازی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی پارسل‌منا بهره گرفته شده است. طبقه‌بندی‌کننده نزدیک‌ترین همسایه فازی، مقدار عضویت بین صفر و یک را بر مبنای فاصله فضای ویژگی شیئی که آنالیز می‌شود نسبت به نزدیک‌ترین نمونه در کلاس هدف ارائه می‌کند. در این روش برای طبقه‌بندی



شکل ۱۳- الف) تابع عضویت طراحی شده به وسیله طبقه‌بندی‌کننده نزدیک‌ترین همسایه)



شکل ۱۴. نتیجه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی در سیستم کلاسی نوع ۱

طبقه‌بندی کاربری اراضی بر مبنای ویژگی‌های مفهومی و مدل گام‌به‌گام طبقه‌بندی پوشش اراضی



شکل ۱۵. نتیجه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی با بهینه‌سازی فضای ویژگی در سیستم کلاسی نوع ۲

۳- بحث و نتیجه‌گیری

از آنجاکه کلاس‌های کاربری اراضی را نمی‌توان به‌طور مستقیم از اطلاعات سنجش از دور استخراج کرد، نتایج اطلاعات کاربری اراضی همواره با عدم قطعیت‌های فراوان همراه است. بهترین روش برای مدل‌سازی این عدم قطعیت، استفاده از روش فازی است. به‌طور کلی طی فرایندهای گوناگون برای رسیدن به طبقه‌بندی کاربری اراضی، دقت هر یک از مراحل، سهمی در نتایج نهایی دارد. به‌نظر می‌رسد یکی از مهم‌ترین گام‌ها در اجرای طبقه‌بندی کاربری اراضی داشتن یک طبقه‌بندی پوشش اراضی دقیق و مستحکم و با جزئیات کلاسی بالاست. روش‌های شیء‌مبنا نیز برای انجام این کار بسیار مناسب‌اند. به‌کارگیری فرایند سلسله‌مراتبی پوشش اراضی و کاربری اراضی، جز با استفاده از آنالیزهای شیء‌مبنا امکان‌پذیر نیست. در طراحی و استخراج ویژگی‌های مفهومی از ویژگی‌هایی با کمترین میزان وابستگی به منطقه در حال بررسی و نیز کمترین دانش بومی استفاده شد. بدیهی است با اعمال این دو معیار می‌توان ویژگی‌های دیگری را نیز به فضای ویژگی مفهومی موجود افزود. با اضافه‌شدن اطلاعات ورودی بیشتر از قبیل اطلاعات ارتفاعی لیدار در چندین پالس، می‌توان علاوه بر افزایش قابلیت ویژگی‌های مفهومی، سیستم طبقه‌بندی پوشش اراضی با جزئیات کلاسی بیشتری را برای استخراج ویژگی‌های مفهومی جدید طراحی و پیاده‌سازی کرد. در طبقه‌بندی کاربری اراضی می‌توان از روش‌های نظارت‌شده هوشمند و غیرهوشمند

اما نتایج برای کلاس‌های حمل‌ونقل و فضای بدون استفاده چندان رضایت‌بخش نیستند. پراکندگی خصوصیات کلاس‌های تجاری و مسکونی باعث شده است که بخش اعظم منطقه مطالعه شده به این دو کلاس طبقه‌بندی شوند. شکل ۱۵ نتیجه طبقه‌بندی روش نزدیک‌ترین همسایه فازی را به‌همراه تصویر مرجع تهیه‌شده براساس نقشه مرجع برای سیستم کلاسی نوع ۲ نمایش می‌دهد.

نتایج این روش نیز دقت نسبتاً مناسب طبقه‌بندی را نشان می‌دهند. با مقایسه نتیجه طبقه‌بندی فازی و نقشه مرجع، دقت بسیار بالای نتایج حاصل می‌شود. دقت کلی طبقه‌بندی فازی براساس سیستم کلاسی نوع ۲ بدون در نظر گرفتن مؤلفه فاکتور مساحت اشیاء، حدود ۸۲ درصد و با اعمال وزن مساحت اشیاء، ۸۵ درصد است. بیشترین خطاها بر اثر مشابهت دو کلاس مسکونی و مسکونی - تجاری و نیز فضای تجاری - فضای سبز با فضای مسکونی - فضای سبز اتفاق افتاده است. بدیهی است که دو زوج کلاس فوق‌بیشترین شباهت را در سیستم کلاسی نوع ۲ دارند. کلاس حمل‌ونقل و فضای بدون استفاده، بالاترین دقت را میان کلاس‌های کاربری اراضی دارند. ویژگی ۴۵ (نسبت تعداد وسایل نقلیه به مساحت فضای راه در یک پارسل) قابلیت تفکیک‌پذیری مناسبی برای کلاس حمل‌ونقل دارد. ویژگی ۴۹ (ویژگی درصد مناطق بدون حضور اشیاء ارتفاعی نظیر درخت و ساختمان) تفکیک‌پذیری مناسبی برای کلاس فضای بدون استفاده دارد.

- Analysis of Remote Sensing Data for GIS-ready Information**, ISPRS, Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 58, PP. 239° 258.
- Canny, J.A., 1986, **Computational Approach to Edge detection**, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 8, PP. 679° 698.
- Chen K., 2002, **An Approach to Linking Remotely Sensed Data and Areal Census Data**, International Journal of Remote Sensing, 23(1), PP. 37-48.
- Chen, D., Stow, D.A., and Gong, P., 2004, **Examining the Effect of Spatial Resolution and Texture Window Size on Classification Accuracy: An Urban Environment Case**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 11, PP. 2177-2192.
- Cihlar, J., and Jansen, L.J.M., 2001, **From Land Cover to Land Use: A Method for Efficient Land Use Mapping Over Large Areas**, Professional Geographer, Vol. 53, No. 2, PP. 275-289.
- Clarke, L.P., Velthuizen, R.P., Camacho, M.A. et al., 1995, **MRI Segmentation: methods and applications**, Magn. Reson. Imag. 13, PP. 343° 368.
- Cleve, C., Kelly M., Kearns, F.R., Moritz, M., 2008, **Classification of the Wildland-Urban Interface: A comparison of Pixel- and Object-Based Classifications Using High-resolution Aerial Photography**, Computers, Environment and Urban Systems 32, PP. 317° 326.
- با استفاده از ویژگی‌های مفهومی نیز بهره برد. بدیهی است در این صورت نمونه‌های آموزشی کافی برای آموزش الگوریتم طبقه‌بندی ضروری است. صرف‌نظر از نتایج نهایی طبقه‌بندی فازی و درجه‌های عضویت هر یک از کلاس‌ها در اشیای کاربری اراضی، ویژگی‌های مفهومی طراحی شده به‌طور مستقل قابلیت بالایی در به‌کارگیری در سیستم‌های تصمیم‌گیری در حوزه‌ها و سطوح گوناگون دارند. به‌کارگیری سیستم کلاسی نوع ۲ جدای از انطباق بهتر با شرایط منطقه مطالعه‌شده چند مزیت دیگر را نیز به دنبال داشت. با افزایش تعداد کلاس‌ها در سیستم کلاسی نوع ۲ پراکندگی خصوصیات کلاس‌های اصلی در سیستم ۱ در سیستم نوع ۲ کاهش می‌یابد؛ از این‌رو تمایز بالاتری را می‌توان میان کلاس‌های نوع ۲ ایجاد کرد.
- ۴- منابع**
- Baatz, M. and Schaepe, A., 2000, **Multiresolution Segmentation – an Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation**, In Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Heidelberg, Germany, PP. 24-29.
- Barnsley, M.J., and Barr, S.L., 1996, **Inferring Urban Land Use from Satellite Sensor Images Using Kernel-based Spatial Reclassification**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, No. 8, PP. 949-958.
- Bauer, T., and Steinnocher, K., 2001, **Per-parcel Land use Classification in Urban Areas Applying a Rule-based Technique**, GeoBIT/GIS, Vol. 6, PP. 24-27.
- Benz Ursula C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heynen M., 2004, **Multi-resolution, Object-oriented Fuzzy**

- Definiens Developer Software User Guide, 2003.
- Forouzanfar M., Forghani N., Teshnehlab M., 2010, **Parameter Optimization of Improved Fuzzy C-means Clustering Algorithm for Brain MR Image Segmentation**, Engineering Applications of Artificial Intelligence 23, PP. 160° 168.
- Gholoobi M., Tayyebi A., Taleyi M., Tayyebi A.H., 2010, **Comparing Pixel Based and Object Based Approaches in Land Use Classification in Mountainous Areas**. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010, Commission WG VIII/8 ° Land, PP. 789-794.
- Gholoobi M., Valadan Zouj, M.J., Mokhtarzade, M., **Object based Classification of Large Scale Satellite Images from Complicated Urban Areas for Land Cover map Production Based on a New Hierarchical Model**, Iranian Remote Sensing & GIS.
- Gholoobi M., Valadan Zouj, M.J., Mokhtarzade, M., 2012, **Urban, Land Use Classification Using Knowledge Based Object Oriented Based on Conceptual Class Relations**, Geometrics International Conference., Tehran-Iran 2011, 2012.
- Herold M., Scepan J., Müller A., Günther S., 2002, **Object-oriented Mapping and Analysis of Urban Land use/cover Using IKONOS Data**, Proceedings of 22nd EARSEL Symposium Geinformation for European, wide integration, Prague, June.
- Herold, M., Liu, X.H., and Clarke, K.C., 2003, **Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 69, No. 9, PP. 991-1001.
- Lackner, M., Conway, T.M., 2008, **Determining Land-use Information from Land Cover Through an Object-oriented Classification of IKONOS Imagery**, Canadian Journal of Remote Sensing 34 (2), PP. 77-92.
- Mathieu R., Freeman C., Aryal J., 2007, **Mapping Private Gardens in Urban Areas Using Object-oriented Techniques and Very High-Resolution Satellite Imagery**, Landscape and Urban Planning 81, PP. 179° 192.
- Pohle, R., Toennies, K.D., 2001, **Segmentation of Medical Images Using Adaptive Region Growing**, Proc. SPIE Med. Imag., Vol. 4322.
- Samadzadegana F., Azizia A., Hahn M.T., Lucasa C., 2005, **Automatic 3D Object Recognition and Reconstruction Based on Neuro-fuzzy Modeling**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 59, PP. 255° 277. Received 25 November 2004; received in revised form 20 February 2005; accepted 22 February 2005.
- Suzuki, H., Toriwaki, J., 1991, **Automatic Segmentation of Head MRI Images by Knowledge Guided Thresholding**, Comput. Med. Imag. Graph. 15, PP. 233° 240.
- Syed, S., Dare, P. and Jones, S., 2005, **Automatic of Land Cover Features with High Resolution Imagery and LiDAR Data: An Object Oriented Approach**,

- Proceedings of SSC 2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis: The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute, September, Melbourne, Australia.
- Zadeh, L.A., 1965, **Fuzzy Sets**, Journal of Information and Control 8 (3), PP. 338° 353.
- Zhan Qingming, 2003, Ph.D. Thesis: **A Hierarchical Object-based Approach for Urban Land use Classification From Remote Sensing Data**, International institute for geo-information science and earth observation ITC.
- Zhan, Q., Molenaar, M., Gorte, B., 2007, **Urban Land Use Classes With Fuzzy Membership and Classification Based on**
- Integration of Remote Sensing and GIS**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIII, Part B7, Amsterdam.
- Zhang, Q., and Wang, J., 2003, **A Rule-based Urban Land use Inferring Method for Fine-resolution Multispectral Imagery**, Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 29, No 1, PP. 1-13.
- Zhou W., Huang G., Troy A., Cadenasso M.L., 2009, **Object-based Land Cover Classification of Shaded Areas in High Spatial Resolution Imagery of Urban Areas: A comparison Study**, Remote Sensing of Environment 113, PP. 1769° 1777

