



## طبقه‌بندی شیء‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای یک مدل سلسله‌مراتبی جدید

محسن قلوبی<sup>۱\*</sup>، محمدجواد ولدان زوج<sup>۲</sup>، مهدی مختارزاده<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، پژوهشکده سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۴/۶

### چکیده

اطلاعات پوشش اراضی یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت شهری است و سنجش از دور به‌عنوان فناوری بهینه از نظر هزینه و زمان، در تولید این گونه اطلاعات اهمیت بسیار دارد. با توجه به وجود نواحی شهری پیچیده و متراکم در کشورهای جهان سوم، روش‌های شیء‌مبنا به‌عنوان راهکار مناسبی در پردازش تصاویر این‌گونه مناطق پیشنهاد شده‌اند. هدف پژوهش حاضر معرفی روش شیء‌مبنای جدیدی برای طبقه‌بندی مناطق شهری پیچیده با استفاده از تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای و نزدیک‌شدن به فرایند تولید نقشه استاندارد و مؤثر با این روش است. در این مدل به‌منظور انتخاب پارامترهای قطعه‌بندی، از روشی جدید و همچنین از مدل طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی به‌همراه استراتژی قانون‌مبنایی برای غلبه بر اغتشاشات بین‌کلاسی بهره‌گیری شد. در این حیطه ضمن بهینه‌سازی فضای ویژگی در آنالیزی چندمقیاسه، از دو روش طبقه‌بندی قانون‌مبنا و نزدیک‌ترین همسایه فازی استفاده شد. روش پیشنهادی در پژوهش حاضر روی تصویر سنجنده IKONOS از شهر شیراز پیاده‌سازی شد، که دقت ۸۴ درصد با استفاده از طبقه‌بندی روش قانون‌مبنا و نیز دقت ۸۷ درصد از روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی به‌دست آمد. افزون بر این، پیاده‌سازی روش پیشنهادی روی تصویر IKONOS شهر یزد، قابلیت تعمیم‌پذیری این روش را به سایر مناطق نشان داد.

**کلیدواژه‌ها:** طبقه‌بندی پوشش اراضی، قانون‌مبنا، شیء‌مبنا، نزدیک‌ترین همسایه فازی، نواحی پیچیده.

\* نویسنده مکاتبه‌کننده: خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری، گروه فتوگرامتری و سنجش از دور. تلفن: ۸۸۸۸۸۴۴۵

## ۱- مقدمه

با ظهور تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای، فناوری سنجش از دور قابلیت‌های فراوانی را در تهیه اطلاعات پوشش اراضی در مناطق شهری از خود نشان داد. با رخنمون عوارض شهری در قالب مجموعه‌ای از پیکسل‌های همجوار در تصاویر بزرگ‌مقیاس، روش‌های طبقه‌بندی شیء‌مبنا (Benz et al., 2004) توانایی بیشتری در مقایسه با روش‌های طبقه‌بندی سنتی پیکسل‌مبنا نشان دادند (Lackner et al., 2008). در این‌گونه روش‌ها، افزون بر اطلاعات طیفی از مشخصات شکلی، هندسی، بافتی و مفهومی عوارض نیز استفاده می‌شود (Schiewe and Ehlers, 2005). سامانه‌های شیء‌گرا قابلیت ایجاد سطوح مختلف قسمت‌بندی با پارامترهای مختلف را دارند، به‌طوری‌که اشیا در هر سطح با سطوح بالاتر و پایین‌تر خود در ارتباط‌اند. این ویژگی‌ها می‌توانند مجموعه‌ای از سطوح مختلف را تشکیل دهند که هر سطح آن حاصل پارامترهای قسمت‌بندی متفاوتی است (Benz et al., 2004). پژوهشگران بسیاری از آنالیزهای شیء‌مبنا به‌منظور طبقه‌بندی پوشش اراضی شهری از روی تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای استفاده کردند؛ از جمله ماتیو<sup>۱</sup> و دیگران (۲۰۰۷) <sup>۲</sup> مارتین و دیگران (۲۰۰۲)، کله‌وه<sup>۳</sup> و دیگران (۲۰۰۸)، گوسلا<sup>۴</sup> و دیگران (۲۰۰۵)، روویمبوت<sup>۵</sup> و دیگران (۲۰۰۹)، ژو<sup>۶</sup> و دیگران (۲۰۰۹)، جورودی<sup>۷</sup> و دیگران (۲۰۰۹)، چن<sup>۸</sup> و دیگران (۲۰۰۷). اغلب این تحقیقات روی مناطق شهری ساده پیاده‌سازی شده و در آنها فقط به شناسایی و طبقه‌بندی کلاس‌های شهری محدودی اکتفا شده است.

در مطالعات گامانیا<sup>۹</sup> و دیگران (۲۰۰۹)، لیوو<sup>۱۰</sup> و دیگران (۲۰۰۶) و اشتاینوخ<sup>۱۱</sup> و دیگران (۲۰۰۵) از اطلاعات بافت تصویر در کنار خصوصیات بازتابندگی عوارض استفاده شد. این روش‌ها عموماً برای مناطق نیمه‌شهری مناسب‌اند و تعداد محدودی از کلاس‌ها را شناسایی می‌کنند. با توجه به ماهیت پیچیده عوارض مناطق شهری، استفاده از داده‌های لیدار به‌عنوان راهکاری

مناسب برای افزایش دقت روش‌های طبقه‌بندی پیشنهاد شده است (Syed et al., 2005; Zheng et al., 2002; Hala et al., 1999; Zhan, 2003). با این حال به‌دلیل عدم دسترسی آسان به این اطلاعات در اغلب مناطق و هزینه بالای این‌گونه اطلاعات، روش‌های مذکور قابلیت اجرایی مناسبی ندارند.

در تحقیق لارنت و دیگران (۲۰۰۸) از ترکیب تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی بالا با اطلاعات برداری موجود از منطقه استفاده شده است. افزون بر ضرورت دسترسی به اطلاعات برداری، شرط هم‌زمانی دریافت تصاویر ماهواره‌ای با نقشه مورد استفاده، از دیگر محدودیت‌های این روش به‌شمار می‌آید.

در تحقیق دیگری، ژانگ و زین (۲۰۰۹) از ترکیب تصاویر بزرگ‌مقیاس با تصاویر فراطیفی برای بهبود دقت طبقه‌بندی مناطق شهری استفاده کردند. به‌رغم دقت‌های کافی، ضرورت در اختیار داشتن تصاویر فراطیفی از عوامل محدودکننده این روش به‌شمار می‌آید. علاوه بر اینها، استفاده از داده‌های جانبی از قبیل اطلاعات آماری و جمعیتی برای طبقه‌بندی مناطق شهری در سایر تحقیقات صورت گرفته گزارش شده است (Harvey et al., 2002; Pozzi et al., 2005, Chen et al., 2004, 2007).

هدف مقاله حاضر معرفی و پیاده‌سازی روشی برای استخراج اطلاعات پوشش اراضی مبتنی بر روش شیء‌مبنا و براساس سطوح سلسله‌مراتبی است. کوشش شده است که این روش قابلیت تعمیم‌پذیری بالایی به

1. Mathieu
2. Martin
3. Cleve
4. Gusella
5. Ruvimboet
6. Zhou
7. Jordi
8. Chen
9. Gamanya
10. Liu
11. Steinnocher

طبقه‌بندی شی‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

## ۲-۲- تصاویر استفاده‌شده

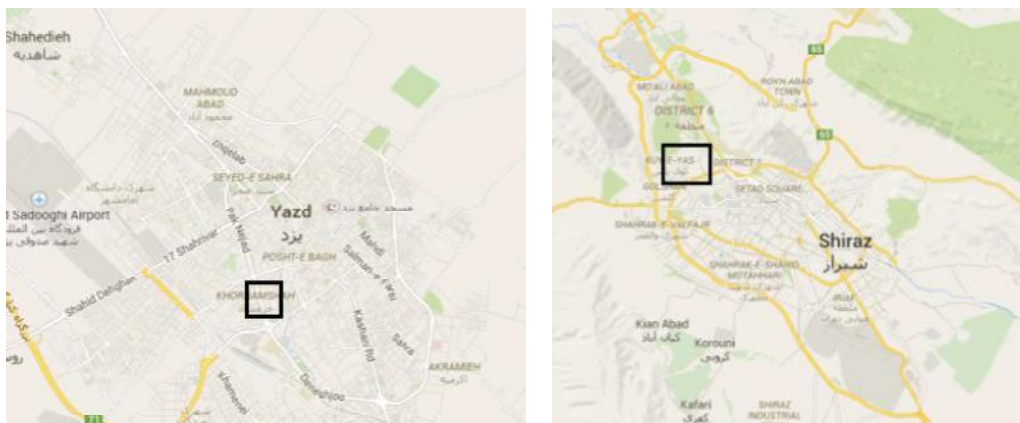
به‌منظور پیاده‌سازی و بهبود طراحی هریک از مراحل روش پیشنهادی، از تصویر سنجنده IKONOS شهر شیراز که در سال ۲۰۰۵ دریافت شده است، استفاده شد (شکل ۲-الف). این تصویر در تلفیق باندها پانکروماتیک با باندهای طیفی به‌روش Gram-Schmidt spectral sharpening به‌دست آمد ( Aiazz et al., 2006). شکل ۲-ب نقشه مرجع از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این نقشه که متعلق به سازمان نقشه‌برداری کشور و دارای مقیاس ۱:۲۰۰۰ است، به‌منظور ارزیابی نتایج نهایی طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت.

سایر مناطق داشته باشد. یکی از اهداف این مقاله معرفی استراتژی جدیدی برای استخراج اطلاعات پوشش اراضی شهری از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاست.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق از مناطق شهری شیراز و یزد انتخاب شده‌اند. منطقه انتخابی از شهر شیراز از نواحی شمالی شهر که بافت متراکم شهری دارد (شکل ۱-راست) و منطقه انتخابی از شهر یزد از نواحی جنوب‌غربی این شهر که بافت منظم‌تری دارد انتخاب شدند (شکل ۱-چپ)



شکل ۱. مناطق شهری مطالعه‌شده در تحقیق



شکل ۲. منطقه مطالعه‌شده از شهر شیراز در تصویر آیکنوس (الف) و نقشه مرجع (ب)

### ۲-۳- روش کار

روش پیشنهادی در مقاله حاضر از نوع شیء‌مبنای سلسله‌مراتبی و شامل سه گام اصلی است:

۱. طراحی و پیاده‌سازی مدل قسمت‌بندی

تصویر؛

۲. طراحی مدل سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی؛ و

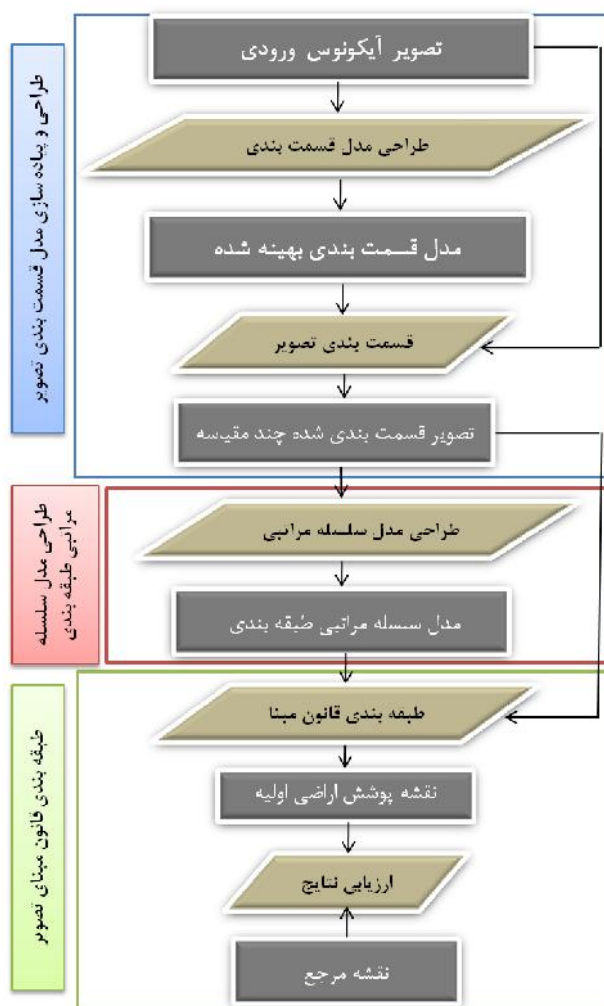
۳. طبقه‌بندی قانون‌مبنای تصویر.

شکل ۴ فرایند کلی روش پیشنهادی را نمایش می‌دهد.

تصویر دوم نیز مربوط به تصویر سنجنده آیکونوس شهر یزد است که در سال ۲۰۰۵ دریافت شد (شکل ۳).



شکل ۳. تصویر آیکونوس منطقه انتخابی از شهر یزد



شکل ۴. فرایند کلی روش پیشنهادی

طبقه‌بندی شیء مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

## ۲-۳-۱- طراحی و پیاده‌سازی مدل قسمت‌بندی

### تصویر

نخستین مرحله در روش‌های آنالیز شیء مبنای، قسمت‌بندی تصویر است (Benz et al., 2004). در این مرحله پیکسل‌های مجاور در تصویر براساس معیارهای شباهت دسته‌بندی و اشیاء، تصویری را تشکیل می‌دهند. این نواحی قسمت‌بندی‌شده یا به اصطلاح اشیاء، معرف المان‌های تصویری جهان واقعی هستند.

### الف) تعیین پارامترهای قسمت‌بندی

در مرحله قسمت‌بندی تصویر، ابتدا در مجموعه پیکسل‌های هم‌جوار برای تشکیل اشیاء تصویری، معیارهای مشابهت برآورد شد. این معیار در رابطه (۱) نشان داده شده است (Benz et al., 2004).

رابطه (۱)

$$f = w_{color} \cdot \Delta h_{color} + w_{shape} \cdot \Delta h_{shape}$$
$$\Delta h_{shape} = w_{compt} \cdot \Delta h_{compt} + w_{smooth} \cdot \Delta h_{smooth}$$
$$w_{color} + w_{shape} = 1 \quad w_{compt} + w_{smooth} = 1$$

که در آن،  $\Delta h_{color}$  و  $\Delta h_{shape}$  به ترتیب معیارهایی از ناهمگنی شکلی و طیفی برای پیکسل‌های کاندید در تشکیل یک شیء در تصویرند. به منظور برآورد  $\Delta h_{shape}$  لازم است  $\Delta h_{compt}$  و  $\Delta h_{smooth}$  که به ترتیب معرف ناهمگنی ناشی از فشردگی و نرمی محدوده اشیاء هستند برآورد شود. در رابطه (۱)، پارامترهای  $w_i \in [0,1]$  معرف وزن و میزان تأثیر هر یک از این معیارها در برآورد پارامتر  $f$  که ناهمگنی شیء تشکیل‌شده را نشان می‌دهند، هستند. پس از تعیین پارامتر  $f$ ، این معیار برای اشیاء تصویری برگزیده با حد آستانه مقیاس قسمت‌بندی در آن سطح مقایسه می‌شود و ترکیب پیکسل‌ها تا رسیدن به حد آستانه مجاز ادامه می‌یابد. مقدار حد آستانه مقیاس در هر سطح قطعه‌بندی، پارامتری است که میزان ناهمگنی وزن‌دار حداکثر اشیاء را که در آن سطح قطعه‌بندی باید برای ایجاد هر سطح تعیین شود، تشریح می‌کند. مقدار  $f$  برای هر شیء در هر سطح نباید از مقدار مقیاس

تعیین شده برای آن سطح بیشتر باشد. با افزایش حد آستانه مقیاس قسمت‌بندی (S)، ابعاد اشیاء تصویری بزرگ‌تر می‌شوند و اشیاء حاصل کلاس‌های عوارض را در سطوح کلی‌تر دربرمی‌گیرند. به منظور انجام مرحله قسمت‌بندی تصویر می‌بایست علاوه بر انتخاب مقیاس سطوح مختلف (S)، پارامترهای وزن (w) در رابطه (۱) نیز برای هر سطح تعیین شوند.

### ب) طراحی فضای مقیاس براساس آنالیز منحنی

#### رشد

با توجه به اهمیت تعیین مقیاس سطوح قسمت‌بندی، در پژوهش حاضر روشی برای تعیین مقیاس‌های پهنه متناسب با ماهیت کلاس‌های مورد نظر اجرا شده است. با توجه به اینکه مساحت اشیاء حاصل از قسمت‌بندی، بهترین ویژگی مرتبط با تأثیر تغییر مقیاس است، در پژوهش حاضر از روشی جدید و با بهره‌گیری از ساختار پله‌ای نرخ رشد مساحت اشیاء با افزایش مقیاس استفاده شد.

## ۲-۴- طراحی مدل سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی

مدل سلسله‌مراتبی در این بخش برمبنای مدل منطقی و مفهومی میان اشیاء پوشش اراضی شهری و بررسی مدل تصویری این عوارض در سطوح مختلف مقیاس، استوار است. این مدل در حکم دستورالعملی است که فرایند اصلی طبقه‌بندی را هدایت می‌کند. و هدف آن، تعیین چیدمان و ترتیب طبقه‌بندی کلاس‌ها - نسبت به سطوح مختلف و نیز در سطحی یکسان - است.

## ۲-۵- طبقه‌بندی پوشش اراضی قانون‌مبنا و آنالیز

### نتایج

در پژوهش حاضر، در بخش طبقه‌بندی پوشش اراضی دو روش پیاده‌سازی می‌شود. در روش نخست با نام روش «قانون‌مبنای مفهومی»، براساس مدل‌سازی خودکار دانش مفهومی یک اپراتور در آنالیز و تفسیر بصری اشیاء، قوانینی به منظور استخراج کلاس‌های

Rectangular Fit (Definiens, 2004) برای تشریح خصوصیات اشیای فشرده و جداسازی آنها از اشیای خطی به کار رفتند. آخرین ویژگی هندسی به کاررفته نیز ویژگی مساحت بود.

ویژگی‌های طیفی شامل شاخص NDVI، ویژگی درخشندگی<sup>۱</sup> (میانگین ۴ باند طیفی تصویر)، Hue، Saturation، ۴ باند طیفی تصویر، Mean Diff. to Scene (اختلاف مقدار شیء در یک ویژگی طیفی نسبت به دامنه آن ویژگی در کل تصویر) برای ۳ باند قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک، و ویژگی Contrast to neighbor pixels است. ویژگی اخیر معرف حداکثر اختلاف متوسط باند قرمز شیء مورد نظر با همسایگان آن است. تمامی ویژگی‌های طیفی اشاره شده به صورت میانگین برای هر شیء محاسبه و آنالیز می‌شوند.

ویژگی‌های مفهومی شامل مجموع مرز مشترک با اشیای کلاس راه<sup>۲</sup>، و سه درصد مرز مشترک<sup>۳</sup> با اشیای کلاس‌های راه، ساختمان و درخت هستند. این ویژگی‌ها فقط در سطح مقیاس ۱۰ و برای کلاس وسایل نقلیه و زیر کلاس‌های سایه که عموماً ماهیت مفهومی دارند، به کار گرفته شده‌اند.

ویژگی‌های گفته شده در هر کلاس برمبنای جداسازی کلاس مورد نظر از کلاس یا کلاس‌های سطوح فوق یا هم‌سطح برمبنای مدل سلسله‌مراتبی انتخاب شده‌اند و نه به منظور تشریح خصوصیات آن کلاس. به عنوان مثال به منظور تفکیک کلاس خاک لخت از کلاس‌های ساختمان، راه و کلاس طبقه‌بندی نشده در سطح مقیاس ۲۰، از ویژگی‌های Hue و Saturation استفاده شده است. در سطح مقیاس ۱۰ به منظور تفکیک کلاس اتوبوس از کلاس‌های ساختمان، خاک لخت و طبقه‌بندی نشده، ویژگی‌های نسبت طول به عرض<sup>۴</sup>، Border to Road و Rel. Border to Road به کار برده شده‌اند.

1. Brightness
2. Border to road
3. Rel. Border
4. Length/Width

مختلف طراحی می‌شوند. در روش دوم، «روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی»، به منظور غلبه بر عدم قطعیت ناشی از اختلاط کلاس‌ها در سطوح ۳۰ و ۲۰ در روش اول، شناسایی و استخراج عوارض در این سطوح با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه فازی صورت می‌گیرد.

## ۲-۵-۱- طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی

در طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی، ابتدا ویژگی‌های متمایزکننده کلاس‌های مختلف انتخاب می‌شوند. ویژگی‌های منتخب بایستی علاوه بر دربرداشتن مشخصات ویژه کلاس مورد نظر، توانایی تفکیک‌پذیری مناسب را برای شناسایی آن کلاس نیز داشته باشند. پس از انتخاب ویژگی‌های مناسب، محدوده مقادیر هر ویژگی برای کلاس‌های مختلف در سطوح گوناگون تعیین می‌شود. بر این اساس می‌توان در روال سلسله‌مراتبی برگرفته از مدل ارائه شده در شکل ۴، اقدام به شناسایی کلاس‌های مختلف و حذف اشیای مربوط به آنها کرد. در پژوهش حاضر ضمن تلاش برای پیاده‌سازی دانش کارشناسی، ابتدا ویژگی‌های مناسب به منظور شناسایی هر کلاس در هر سطح تعیین و سپس محدوده مقادیر این ویژگی‌ها مشخص شد. در این روش از ویژگی‌های هندسی، طیفی و ویژگی‌های مفهومی به منظور طبقه‌بندی و تشریح خصوصیات کلاس‌های مختلف بهره‌گیری شد.

ویژگی‌های استفاده شده در این روش برای هر کلاس در جدول ۱ نمایش داده شده است. سطرهای این جدول نشان‌دهنده کلاس‌های مختلف براساس سطوح سلسله‌مراتبی شکل ۴ و ستون‌های آن معرف ویژگی‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی آنهاست. فضای ویژگی استفاده شده شامل سه دسته ویژگی‌های هندسی، طیفی و مفهومی است.

نخستین ویژگی هندسی، ویژگی نسبت طول به عرض یک شیء است که عموماً برای تشریح مشخصه کشیده‌بودن اشیای خطی به کار می‌رود. چهار ویژگی بعدی شامل Border Index، Density، Ecliptic Fit و

طبقه‌بندی شیء‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

جدول ۱. تشریح مشخصات کلاسی در روش طبقه‌بندی متداول شیء‌مبنا

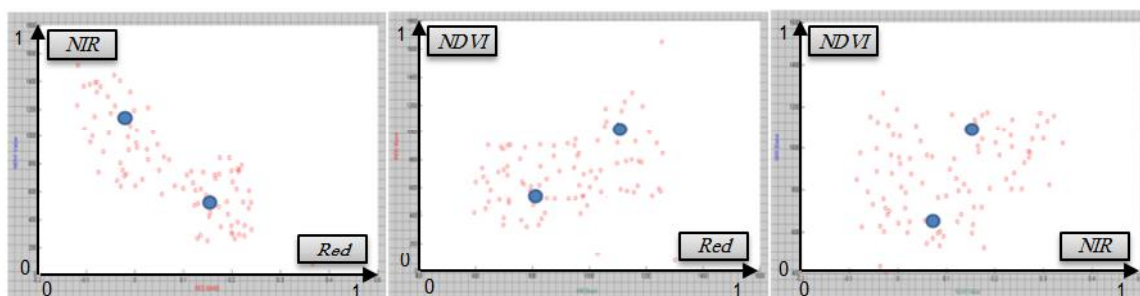
ویژگی‌های مفهومی	ویژگی‌های هندسی																					
	Length/Width	Border index	Density	Elliptic Fit	Rectangular Fit	Area	NDVI	Brightness	Hue	Saturation	Mean Red	Mean Green	Mean Blue	Mean NIR	Mean dif. to scene Red	Mean Diff to Scene Green	Mean Diff to Scene NIR	Contrast to neighbor pixels	Border to road	Rel. Border to road	Classified as Main Road	
گیاه							> ۰.۱۶															
سطح ۳۰	ساختمان	(۰.۳/۵)	(۰.۱/۶ و ۰.۱)				> ۰.۴				> ۰.۵۲	> ۰.۵۷	> ۰.۴۹	> ۰.۴۸								
	راه	∧					> ۰.۴		> ۰.۱۷	(۰.۰۰۲۶۸)	< ۰.۰۰				< ۰.۱۷							
سطح ۲۰	خاک لخت								(۰.۱۳ و ۰.۱۷)	۰.۳ <												
	اتومبیل						> ۰.۱۸													(۳ و ۲۱)	(۰.۱/۵)	
	اتوبوس	(۳ و ۱۶)		(۰.۵۵ و ۱)	(۰.۱۶, ۰.۱۹)	(۱۸ و ۳۴)					> ۰.۰۰								(۳ و ۵)	(۰.۱/۵)		
سطح ۱۰	سایه					< ۰.۱۶					> ۰.۰										< ۰.۲۵۹	
	راه اصلی									(۰.۱۸ و ۱)	< ۰.۶۱	< ۰.۸۲	< ۰.۴۲	< ۰.۴۷								
	راه فرعی																					
	چمن														> ۰.۳۴	> ۰.۱۸	> ۰.۱۵					
	درخت														< ۰.۲۹	< ۰.۱۰	< ۰.۱۵					

در پژوهش حاضر برای تفکیک کلاس گیاه، از شاخص گیاهی NDVI استفاده شد. به‌منظور مدیریت عدم قطعیت ناشی از مرحله قسمت‌بندی، از آستانه‌گذاری فازی روی معیار NDVI استفاده شد 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 به قطعیت نمی‌توان اشیای گیاهی و غیرگیاهی را برچسب‌دهی کرد. بخشی از یک شیء گیاهی ممکن است دربرگیرنده پیکسل‌های غیرگیاهی باشد و

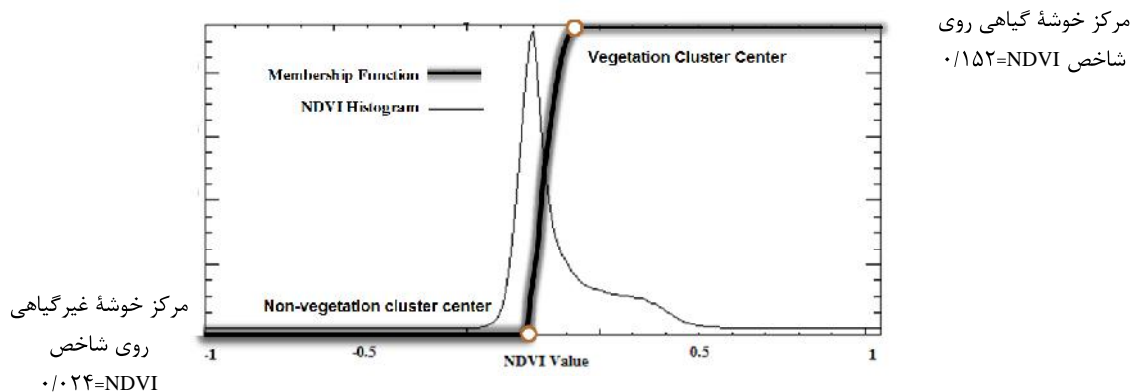
در جدول ۱، افزون بر معرفی ویژگی‌های مورد نیاز برای جداسازی کلاس‌های مختلط، حدود آستانه هر ویژگی نیز ارائه شده است. به عنوان مثال، اگر اشیای کلاس‌های ساختمان، راه و طبقه‌بندی‌نشده در سطح مقیاس ۳۰ پس از انتقال به سطح مقیاس ۲۰ دارای مقدار میانگین Hue در محدوده ۰/۱۳ تا ۰/۱۷ و همچنین مقدار میانگین Saturation بالاتر از ۰/۲ باشند، در کلاس خاک لخت قرار می‌گیرند. رابطه منطقی شروط معرفی شده برای تفکیک هر کلاس، عملگر منطقی AND است.

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

برعکس. این مفهوم، خاصیت فازی را نشان می‌دهد. در نتیجه در تعیین مراکز خوشه‌های گیاهی و غیرگیاهی نیز به در نظر گرفتن مفاهیم فازی نیاز است. معیارهای آماری از قبیل میانگین نیز نمی‌توانند مفهوم مراکز خوشه‌های گیاهی و غیرگیاهی فازی را به خوبی نمایان سازند. بدین منظور از الگوریتم Fuzzy c-means برای یافتن مراکز خوشه گیاهی و غیرگیاهی استفاده شد (Chen, 2002). ۷۵ نمونه غیرگیاهی و ۷۵ نمونه گیاهی از مقادیر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک و شاخص NDVI جمع آوری شد. سپس الگوریتم خوشه‌بندی فازی C-Means دوبه‌دو برای هر جفت از ۳ باند اشاره شده اجرا شد. نتایج پیاده‌سازی این آنالیز در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند. نتایج شامل سه جفت



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



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



طبقه‌بندی شی‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

کلاس گیاه برچسب‌گذاری و حذف می‌شوند. در ادامه و به‌منظور برچسب‌گذاری اشیای کلاس‌های راه و ساختمان از روش نزدیک‌ترین همسایه فازی استفاده شد.

به‌منظور تعیین فضای ویژگی بهینه برای طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی، از روش SFFS<sup>1</sup> (Marcano-Cedeno et al., 2010) و برمبنای معیار تفکیک‌پذیری فاصله اقلیدسی بهره گرفته شد. در این آنالیز، فضای ویژگی اولیه شامل مجموعه ویژگی‌های طیفی و هندسی اختیار شد. در ادامه، نتایج طبقه‌بندی سطح مقیاس ۳۰ به‌همراه درجه‌های تعلق هر شی به کلاس‌های گیاه، ساختمان و راه به سطح مقیاس ۲۰ انتقال می‌یابد. سپس مطابق با مدل سلسله‌مراتبی شکل ۴، در سطح مقیاس ۲۰، تفکیک اشیای متعلق به کلاس خاک لخت از کلاس‌های راه و ساختمان در برنامه کار قرار می‌گیرد. به این منظور ابتدا فضای ویژگی بهینه برای تفکیک کلاس‌های ساختمان و خاک لخت و همچنین کلاس‌های راه و خاک لخت به‌طور جداگانه و به‌روش SFFS تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که در این آنالیز فقط از ویژگی‌های طیفی به‌عنوان فضای ویژگی اولیه برای جست‌وجو استفاده شده است.

پس از تعیین فضای ویژگی بهینه، درجه تعلق هر شی تصویری در سطح مقیاس ۲۰ به کلاس خاک لخت به‌روش نزدیک‌ترین همسایه فازی تعیین می‌شود؛ بنابراین هر یک از اشیای تصویری سطح ۲۰ حاوی ۴ درجه تعلق مربوط به کلاس‌های گیاه، ساختمان، راه و خاک لخت خواهند بود. در صورتی که درجه تعلق یک شی تصویری به کلاس خاک لخت بیشتر از سایر کلاس‌ها و همچنین بالاتر از ۰/۶ باشد، آن شی تصویری در کلاس خاک لخت طبقه‌بندی می‌شود.

پس از تکمیل طبقه‌بندی اشیای در سطح مقیاس ۲۰، طبقه‌بندی در سطح مقیاس ۱۰ عیناً مشابه با

پس از طراحی تابع عضویت مذکور، مقدار عضویت حاصل از این تابع برای هر شیء تصویری، به‌عنوان ویژگی NDVI MF در جدول ۱ به‌کار گرفته شد. مطابق با این جدول، اشیای سطح مقیاس ۳۰ که مقدار NDVI MF آنها بزرگ‌تر از ۰/۶ باشد، به کلاس گیاهی اختصاص می‌یابند. این ویژگی در شناسایی کلاس‌های ساختمان و راه در سطح مقیاس ۳۰ نیز به‌کار رفته است.

## ۲-۵-۲- طبقه‌بندی پوشش اراضی قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی

در پژوهش حاضر به‌منظور جبران برخی از نقاط ضعف روش قانون‌مبنای مفهومی که عمدتاً ناشی از اختلاط و مشابهت‌های دو کلاس راه و ساختمان در ویژگی‌های هندسی و طیفی بود، از الگوریتمی هوشمندتر به نام «نزدیک‌ترین همسایه فازی برای طبقه‌بندی پوشش اراضی» بهره گرفته شد. این روش مبتنی بر سه استراتژی قرار گرفت. در استراتژی نخست، مدل سلسله‌مراتبی تشریح‌شده در بخش‌های قبلی به‌عنوان خط‌مشی ترتیب طبقه‌بندی کلاس‌ها استفاده شد و سبب کاهش میزان اغتشاش کلاسی و بهبود نتایج کلی طبقه‌بندی گردید. در استراتژی دوم، بهینه‌سازی فضای ویژگی به‌منظور انتخاب بهینه ویژگی‌ها با بالاترین میزان جدایی‌پذیری کلاس‌ها انجام شد. این استراتژی با هدف مدل‌سازی انواع اغتشاش کلاسی موجود در سطوح ۲۰ و ۳۰ مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر موارد مذکور، فازی‌سازی روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه به‌عنوان استراتژی سوم و با هدف مدل‌سازی عدم قطعیت ناشی از مرحله قسمت‌بندی اجرا شد (Definiens, 2003).

مطابق با روش قبل، طبقه‌بندی از سطح مقیاس ۳۰ و با تفکیک کلاس گیاه آغاز می‌شود. مشابه با روش طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی، اشیای متعلق به کلاس گیاه براساس معیار NDVIMF، درجه تعلق برای کلاس گیاه می‌گیرند و به این ترتیب اشیای

1. Sequential Feature Forward Selection

درخت) در مقایسه با تغییرات مقیاس، آنالیز و بررسی شد. انتخاب کلاس‌های مذکور به دلیل تنوع و ناهمگنی بالا در رفتار طیفی آنها به‌ویژه در مناطق پیچیده شهری و همچنین تأثیرات اصلی این سه کلاس در طبقه‌بندی سایر کلاس‌ها در قالب مدل سلسله‌مراتبی بوده است. برای هر یک از سه کلاس مذکور، چهار نمونه انتخاب و مساحت هر یک در سطوح قسمت‌بندی با مقیاس‌های ۵ تا ۴۰ تعیین شد. در انتخاب نمونه‌های مربوط به این کلاس‌ها کوشش شد این نمونه‌ها از ناهمگنی طیفی، ابعاد و کاربری متفاوت باشند. شکل ۷ نتیجه حاصل را نشان می‌دهد.

بر مبنای این نمودار برای کلاس‌های ساختمان و راه و درخت، مقیاس ۳۰ انتخاب شد. این سه کلاس نزدیک به ۸۰ درصد سطح پوشش منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. دو سطح دیگر نیز با مقیاس ۲۰ و ۱۰ و با پارامترهای وزنی ارائه‌شده انتخاب شدند.

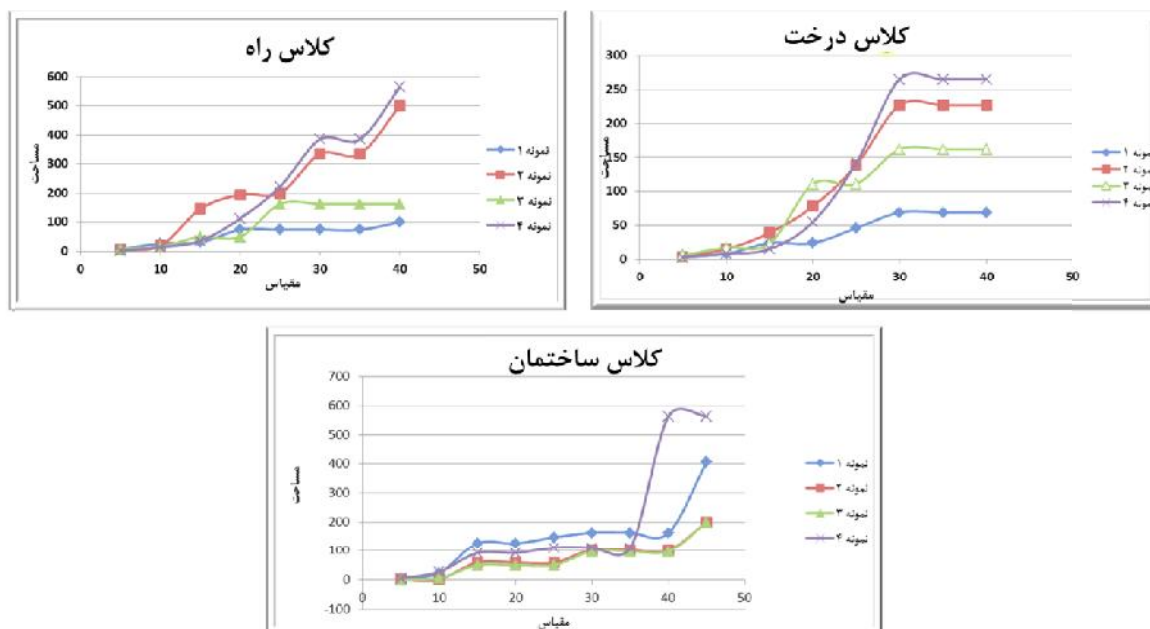
روش طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی دنبال می‌شود. علت اصلی این امر، ناچیز بودن عدم قطعیت اشیای تصویری و همچنین کاهش میزان اغتشاشات طیفی اشیای حاصل از مرحله قسمت‌بندی در سطح ۱۰ مدل سلسله‌مراتبی است.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- قسمت‌بندی

با توجه به ویژگی‌های کلاس‌های مختلف به‌منظور پیاده‌سازی الگوریتم قسمت‌بندی چندمقیاسه برای سطوح مختلف، حداکثر وزن برای پارامترهای ناهمگنی شکلی (۰/۹) و برای smoothness (۰/۹) و حداقل وزن برای ناهمگنی طیفی (۰/۱) و برای compactness (۰/۱) انتخاب شد.

به‌منظور تعیین مقیاس در هر سطح رفتار رشد مساحت سه کلاس اصلی راه، ساختمان، و گیاه



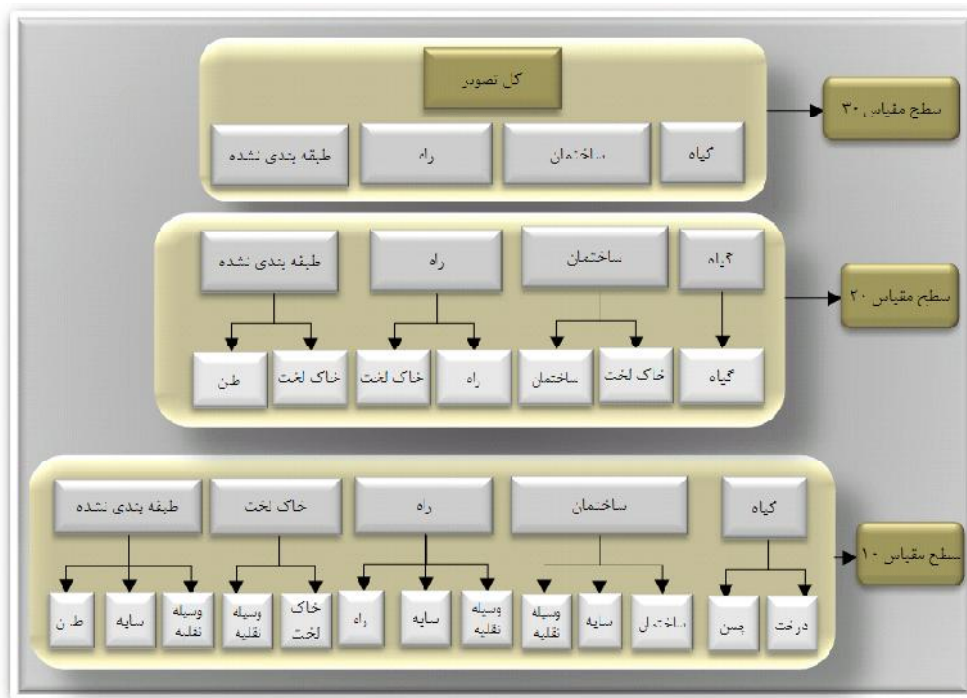
شکل ۷. نمودار رشد مساحت اشیای تصویری کلاس‌های درخت، راه و ساختمان نسبت به پارامتر مقیاس

طبقه‌بندی شیء‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

### ۳-۲- مدل سلسله‌مراتبی

همان‌طور که در معرفی روش پیشنهادی نیز مطرح شد، طراحی مدلی سلسله‌مراتبی برمبنای معیارهای ذکر شده اهمیت زیادی در غلبه بر تنوعات طیفی و هندسی و اغتشاشات بین کلاس‌های مختلف در روش طبقه‌بندی خواهد داشت. برمبنای نتایج به‌دست‌آمده، طبقه‌بندی با بزرگ‌ترین مقیاس (مقیاس ۳۰) با تفکیک کلاس‌های اصلی راه، ساختمان و گیاه آغاز می‌شود و سپس تفکیک جزئی‌تر دیگر عوارض در سایر سطوح مطابق با الگوی ارائه‌شده دنبال می‌شود. برای سطح مقیاس ۳۰، با توجه به پیچیدگی‌های طیفی و شکلی زیاد و همچنین ابعاد مکانی کوچک‌تر سایر کلاس‌ها، ادغام و طبقه‌بندی اشتباه این کلاس‌ها در قالب کلاس‌های اصلی سه‌گانه بسیار محتمل است. تفکیک این عوارض در سایر سطوح مقیاس در ادامه شرح داده می‌شود. شکل ۸ مدل سلسله‌مراتبی پیشنهادی را برای طبقه‌بندی پوشش اراضی در مناطق شهری نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه کلاس خاک لخت از نظر ابعاد، محدودیتی منطقی مانند کلاس‌هایی چون اتومبیل ندارد و اینکه در آنالیز فضای مقیاس قسمت‌بندی، سطح مقیاس ۲ (مقیاس ۲۰) برای این کلاس به‌عنوان سطح مناسب تعیین شد، تفکیک این کلاس از کلاس‌های اصلی در سطح مقیاس ۲ به مدل سلسله‌مراتبی وارد شد. برای این منظور، پس از انتقال نتایج طبقه‌بندی سطح مقیاس ۳ به سطح مقیاس ۲، جداسازی کلاس خاک لخت از روی اشیای کلاس راه، کلاس ساختمان و کلاس طبقه‌بندی‌نشده تصویر پیاده‌سازی می‌شود. با توجه به اینکه عوارض سایر کلاس‌های مورد نظر ابعاد محدودتر و ناهمگنی طیفی و شکلی پایین‌تری در مقایسه با کلاس‌های سطوح قبل دارند، طبقه‌بندی آنها در جزئی‌ترین مقیاس - یعنی بالاترین سطح مقیاس - طراحی شده است. البته در این سطح از مقیاس، ترتیب تفکیک کلاس‌ها نیز دارای اهمیت است.



شکل ۸. مدل سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی

شکل ۹ نشان داده شده است. شکل ۱۰ مشتمل بر بخشی از تصویر اصلی و نتیجه طبقه‌بندی حاصل، تفکیک‌پذیری کلاس‌ها را با بزرگ‌نمایی بهتر نشان می‌دهد. معیارهای ارزیابی دقت روش طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی در جدول ۲ نشان داده شده است. برای تهیه این جدول از داده‌های تست حاصل از تفسیر بصری و نیز اطمینان‌بخشی آن به وسیله نقشه ۱:۲۰۰۰ استفاده شد. تعداد نمونه‌های به کار گرفته شده براساس سطح زیر پوشش کلاس‌های مختلف به شرح کلاس ساختمان ۱۰۰ نمونه، کلاس راه ۸۰ نمونه، کلاس گیاه ۷۰ نمونه (درخت ۴۰ و چمن ۳۰ نمونه)، کلاس خاک لخت ۶۵ نمونه، کلاس سایه ۶۰ نمونه، کلاس اتومبیل ۵۰ نمونه و در نهایت کلاس اتوبوس ۲۰ نمونه بود.

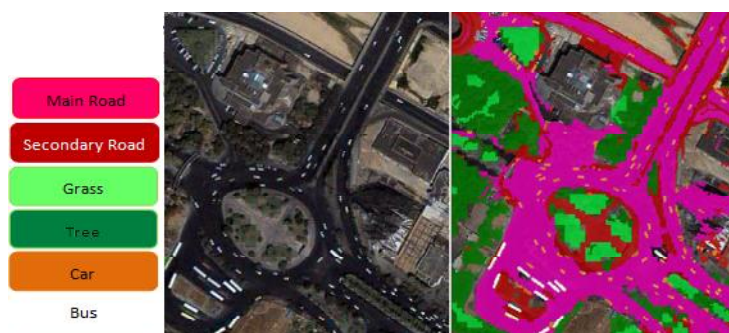
با توجه به تشابه طیفی کمتر کلاس وسیله نقلیه شامل اتومبیل و اتوبوس با سایر کلاس‌ها، تفکیک آن از کلاس‌های سطح ۲ در نخستین اقدام صورت می‌گیرد. در ادامه، اشیای مجاور به گونه‌ای ادغام می‌شوند که مساحت شیء حاصل به یک حدآستانه نزدیک شود. براساس بررسی‌های تجربی، این حدآستانه ۳۰۰ پیکسل تعیین شد. با توجه به مساحت کوچک مورد انتظار برای کلاس سایه، این اقدام می‌تواند تفکیک کلاس سایه را از کلاس راه در مرحله بعدی تسهیل کند. پس از کلاس سایه، شناسایی و تفکیک کلاس‌های درخت و چمن انجام می‌شود.

### ۳-۳- نتایج طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی

نتایج حاصل از طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی در



شکل ۹. نتیجه طبقه‌بندی قانون‌مبنا



شکل ۱۰. طبقه‌بندی راه اصلی و فرعی، اتوبوس، اتومبیل، چمن و درخت

طبقه‌بندی شیء‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

### ۳-۴- نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی

#### قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی

شکل ۱۱ نتیجه حاصل از روش طبقه‌بندی پوشش اراضی قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ مشتمل بر بخشی از تصویر اصلی و نتیجه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی، طبقه‌بندی کلاس‌ها را با بزرگ‌نمایی بهتر نشان می‌دهد. این شکل از منطقه مشابه با شکل ۱۲ انتخاب شده است تا امکان مقایسه بصری نتایج حاصل از دو روش را فراهم آورد.

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، دقت کلی طبقه‌بندی در حدود ۸۴ درصد است. ادغام اشتباه کلاس‌های راه و ساختمان مذکور عمدتاً در سطوح مقیاس ۳۰ و ۲۰ صورت می‌گیرد. برای رفع این مشکل از الگوریتم طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی در تفکیک عوارض سطوح ۳۰ و ۲۰ استفاده شد، که نتایج آن در ادامه شرح داده شده است.

جدول ۲. ماتریس خطا و دقت طبقه‌بندی روش قانون‌مبنای برای کلاس‌های مختلف

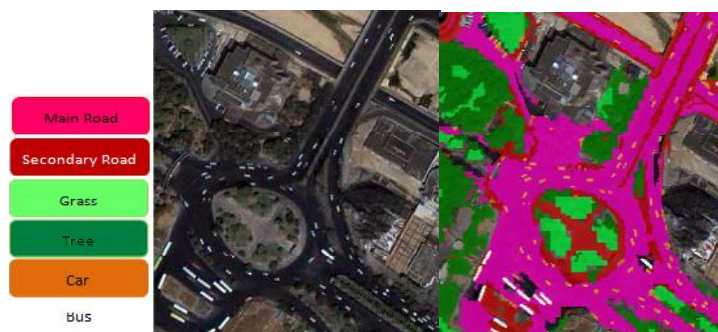
کلاس	ساختمان	خاک لخت	راه	گیاه	اتومبیل	اتوبوس	سایه	چمن	درخت
دقت تولیدکننده	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۶۴	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۹۵	۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۸۵
دقت کاربر	۰/۷۲	۱	۰/۸۲	۰/۹۲	۱	۱	۰/۹	۰/۸۳	۰/۸۵

ضریب کاپا: ۰/۸۰۴

دقت کلی: ۸۲/۹۷ درصد



شکل ۱۱. نتیجه طبقه‌بندی روش ترکیبی قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی



شکل ۱۲. نتایج طبقه‌بندی راه اصلی و فرعی، اتوبوس، اتومبیل، چمن و درخت

همسایه فازی براساس فضای ویژگی بهینه و توابع عضویت مختص شهر یزد بررسی شد. با معرفی نمونه‌های آموزشی از تصویر شهر یزد، فضای ویژگی بهینه در سطوح ۳۰ و ۲۰ انتخاب و توابع عضویت مورد استفاده در روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی نیز تعیین شدند. جدول ۶ نتایج به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد.

شکل ۱۳ نتایج حاصل از طبقه‌بندی در این روش را نشان می‌دهد.

جدول ۳ ماتریس خطای نتایج روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی را نمایش می‌دهد.

### ۳-۵- بررسی قابلیت تعمیم‌پذیری روش پیشنهادی

به‌منظور آنالیز میزان کارایی روش‌ها، دو روش قانون‌مبنای مفهومی و قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی با مدل شهر شیراز روی تصویر آیکونوس شهر یزد نیز پیاده‌سازی شدند (جدول‌های ۴ و ۵).

در ارزیابی سوم، روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین

جدول ۳. نتایج ارزیابی دقت روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی (درصد)

چمن	درخت	سایه	اتوبوس	اتومبیل	گیاه	راه	خاک لخت	ساختمان	کلاس
۸۵٪	۸۳٪	۷۲٪	۹۵٪	۸۶٪	۹۵٪	۸۰٪	۷۳٪	۹۵٪	دقت تولیدکننده
۸۵٪	۸۳٪	۸۸٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۸۹٪	۸۸٪	۸۱٪	دقت کاربر

دقت کلی: ۸۷ درصد  
ضریب کاپا: ۰/۸۱

جدول ۴. نتایج ارزیابی دقت روش قانون‌مبنای مفهومی در شهر یزد (درصد)

چمن	درخت	سایه	اتوبوس	اتومبیل	گیاه	راه	خاک لخت	ساختمان	کلاس
۸۴	۸۰	۸۶	۹۴	۱۰۰	۶۰	۸۹	۸۶	۹۰	دقت تولیدکننده
۸۰	۸۲	۹۰	۱۰۰	۹۶	۷۰	۷۸	۸۹	۸۹	دقت کاربر

دقت کلی: ۸۵ درصد  
ضریب کاپا: ۰/۸۱

جدول ۵. نتایج ارزیابی دقت روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی در شهر یزد با پارامترهای شهر شیراز (درصد)

چمن	درخت	سایه	اتوبوس	اتومبیل	گیاه	راه	خاک لخت	ساختمان	کلاس
۸۴	۸۰	۷۸	۹۴	۱۰۰	۶۰	۸۸	۸۰	۸۵	دقت تولیدکننده
۸۰	۸۲	۹۰	۱۰۰	۹۶	۷۰	۷۴	۸۹	۸۹	دقت کاربر

دقت کلی: ۸۲ درصد  
ضریب کاپا: ۰/۷۸

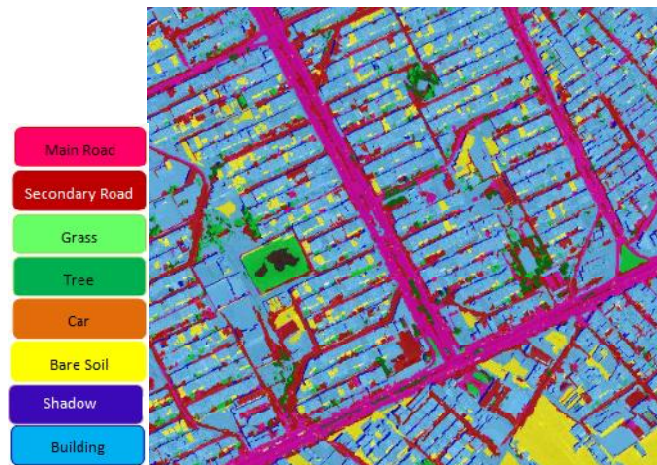
جدول ۶. نتایج ارزیابی دقت روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی (درصد)

چمن	درخت	سایه	اتوبوس	اتومبیل	گیاه	راه	خاک لخت	ساختمان	کلاس
۹۰	۸۹	۹۰	۹۰	۹۶	۹۷	۹۰	۸۸	۹۲	دقت تولیدکننده
۸۱	۸۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۲	۸۷	۸۰	۸۶	دقت کاربر

دقت کلی: ۸۹ درصد  
ضریب کاپا: ۰/۸۶



طبقه‌بندی شی‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...



شکل ۱۳. نتیجه طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی با پارامترهای یزد

شناسایی مقیاس‌های بهینه متناسب با مدل هریک از عوارض تصویری، از دیگر الزامات طراحی مدل قسمت‌بندی با اهداف سلسله‌مراتبی است. در پژوهش حاضر برای این پارامتر نیز روشی جدید ارائه شد. هر شی متناسب با ابعاد طبیعی خود، در یکی از مقیاس‌های قسمت‌بندی بهترین شرایط را برای استخراج و طبقه‌بندی دارد. بهترین مقیاس برای هریک از کلاس‌ها، بزرگ‌ترین مقیاسی است که با حداقل تعداد اشیای قسمت‌بندی شده، بالاترین انطباق را با شی واقعی موردنظر داشته باشد. هرچه اشیای بزرگ‌تر باشند، سرعت پردازش نیز افزایش می‌یابد، زیرا تعداد واحد مبنایی برای شناسایی و طبقه‌بندی کاهش می‌یابد و می‌توان محاسباتی را صرف افزایش فضای ویژگی در مرحله طبقه‌بندی کرد. با توجه به ماهیت نویزی در تصاویر ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده، مزیت دیگر انتخاب بزرگ‌ترین مقیاس ممکن، کاهش تأثیر نویز در نتایج طبقه‌بندی پوشش اراضی این‌گونه مناطق است. انتخاب مقیاس برای کلاس‌هایی با تنوع بالا در مشخصات طیفی و نیز ناهمگنی‌های طیفی و شکلی شدید، دشوار است. در نمودارهای تحقیق، رشد مقیاس علاوه بر بخش‌های صعودی، شامل قسمت‌های افقی نیز هست. در این بخش‌ها با افزایش مقیاس قسمت‌بندی، مساحت

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، روش طبقه‌بندی شی‌گرا مبتنی بر مدل سلسله‌مراتبی به‌منظور طبقه‌بندی مناطق پیچیده شهری از تصاویر بزرگ‌مقیاس ارائه شد. با توجه به فراوانی نواحی پیچیده و متراکم شهری در ایران، کوشش شد که متراکم‌ترین نواحی شیراز برای مطالعه انتخاب شوند. منطقه انتخابی از شهر شیراز از نظر چیدمان شهری و الگوهای شهرسازی بسیار پیچیده است. تراکم ساختمانی بسیار بالا، معابر فرعی باریک و پرپیچ و خم، تنوع طیفی بالا در کلاس‌های راه و ساختمان و پوشیده‌بودن راه‌های اصلی از اتومبیل، از جمله پیچیدگی‌های منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌رود.

در روش پیشنهادی به‌منظور تعیین پارامترهای وزنی روش قطعه‌بندی، از ایده تازه‌ای استفاده شد. در این روش به‌منظور غلبه بر تنوعات طیفی در یک کلاس و برای حفظ خصوصیات هندسی شی، حداقل وزن برای ناهمگنی طیفی انتخاب شد. از طرف دیگر، مقادیر بالا برای  $w_{comp}$  که تأثیر ویژگی فشردگی را افزایش می‌دهند، اشیای مختلف نظیر راه و خانه را به‌صورت فرم‌های فشرده ایجاد می‌کنند. این کار شناسایی اشیای خطی را از اشیای غیرخطی بسیار دشوار می‌سازد. علاوه بر تعیین پارامترهای وزنی قسمت‌بندی،

بیشترین درصد نواحی پوشش داده شده در مناطق شهری به کلاس‌های راه و ساختمان و گیاه تعلق دارد. کلاس خاک لخت که بعد از ۳ کلاس اصلی بالاترین درصد نواحی پوشش داده شده را به خود اختصاص می‌دهد، دارای ابعاد و فرم مفهومی و هندسی مشخصی نیست. این کلاس تنوع طیفی زیاد و ناهمگنی طیفی کمی را نشان می‌دهد. با این خصوصیات، کلاس مذکور باید جدا از سایر کلاس‌ها طبقه‌بندی شود. به همین دلیل پس از بررسی مقیاس‌های مختلف، مقیاس ۲۰ به عنوان سطح مقیاس این کلاس انتخاب شد. از آنجاکه سایر کلاس‌ها از قبیل سایه، اتومبیل، و اتوبوس دارای تنوع ناهمگنی طیفی و شکلی کمتری هستند، به راحتی می‌توان مقیاس مناسب برای این کلاس‌ها را شناسایی کرد. برای جلوگیری از پیچیدگی کار، سایر کلاس‌ها که اشیای کوچکی دارند، همگی در یک سطح و در مقیاس ۱۰ طبقه‌بندی می‌شوند.

روش پیشنهادی روی تصویر سنجنده آکونوس شهر شیراز و یزد پیاده‌سازی شد. به این منظور دو روش کلی شامل روش قانون‌مبنای مفهومی مبتنی بر مدل‌سازی درک بشری و روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی به کار گرفته شد. دقت مناسب روش قانون‌مبنای مفهومی، نیازنداشتن به معرفی نمونه‌های آموزشی، و قابلیت تعمیم‌پذیری مدل شهر شیراز به شهر یزد، از دلایل موفقیت این روش و همچنین مدل سلسله‌مراتبی طراحی شده به شمار می‌رود.

در روش نزدیک‌ترین همسایه فازی که مبتنی بر به‌کارگیری نمونه‌های آموزشی است، طبق مدل سلسله‌مراتبی پیشنهادی به انتخاب فضای ویژگی بهینه و طراحی توابع عضویت فازی پرداخته شد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی این روش روی تصاویر شیراز، دقت بالاتر این روش را در مقایسه با روش قانون‌مبنای مفهومی نشان می‌دهد. پیاده‌سازی این روش روی شهر یزد نشان داد که می‌بایست فضای ویژگی بهینه و توابع عضویت فازی به‌ازای هر تصویر جداگانه طراحی شود، که این امر مستلزم دراختیارداشتن داده‌های آموزشی

شیء تصویری تغییر چندانی نداشته است، که نشان از پایداری اشیای حاصل در این بازه از مقیاس‌ها دارد. بنابراین مقیاس بهینه در یکی از این قسمت‌های افقی قرار می‌گیرد. مرز واقعی اشیاء مستحکم‌ترین مرز را در مقایسه با مرزهای دیگر داخلی اشیاء - که ناشی از ناهمگنی‌های داخلی است - دارد. در نتیجه در بازه‌های ثابت نمودارهای رشد، نقطه آغازین پایدارترین بازه را می‌توان مناسب‌ترین مقیاس برای شیء مورد نظر فرض کرد.

بررسی نمودار شکل ۳ برای نمونه‌های کلاس درخت نشان می‌دهد که در هر ۴ نمونه، مقیاس ۳۰ به عنوان مقیاس بهینه معرفی می‌شود. برای کلاس راه، دو نمونه اول و دوم در مقیاس ۳۰، نمونه سوم در مقیاس ۲۵ و نمونه چهارم در مقیاس ۲۰ این شرایط را دارند. در این حالت نیز مقیاس ۳۰ بهترین گزینه است، زیرا نمونه‌های ۳ و ۴، هر دو در مقیاس ۳۰ نسبت به مقیاس بهینه خود در حالت پایداری قرار دارند. در مقیاس‌های ۲۵ و ۲۰، دو نمونه ۱ و ۲ در حالت صعودی و فاقد شرایط پایدار مورد انتظار هستند.

در مورد ساختمان کار کمی سخت‌تر به نظر می‌رسد. با توجه به شکل ۳، نمونه ۱ در مقیاس ۲۰، نمونه ۲ در مقیاس‌های ۲۰ و ۳۰، نمونه ۳ در مقیاس‌های ۱۵ و ۲۵ و نمونه ۴ در مقیاس ۳۰ بهترین شرایط را دارند. تنها مقیاسی که این ۴ نمونه در آن از نظر پایداری اشتراک دارند مقیاس ۳۰ است و در سایر مقیاس‌ها حداکثر ۲ نمونه در وضعیت پایدار قرار دارند. با توجه به بافت متراکم شهری و مدل چسبیدگی ساختمان‌ها از دو جهت، چنانچه یک شیء از یک ساختمان به ساختمان دیگر پیشروی کند، مشکلی در طبقه‌بندی کلاس ساختمان ایجاد نمی‌شود. چراکه استخراج تک‌تک ساختمان‌ها به صورت جداگانه هدف نیست. از طرف دیگر، کلاس ساختمان ناهمگنی طیفی بالایی دارد و نمی‌توان اولین پررود افقی را به عنوان مرز اصلی شیء انتخاب کرد. براساس این توضیحات، برای کلاس ساختمان نیز مقیاس ۳۰ به عنوان مقیاس بهینه شناخته شد.



طبقه‌بندی شی‌مبنای تصاویر بزرگ‌مقیاس ماهواره‌ای از مناطق شهری پیچیده برای تولید نقشه پوشش اراضی برمبنای ...

نتایج ضعیف طبقه‌بندی کلاس گیاه در روش نزدیک‌ترین همسایه فازی ناشی شده است. دلیل اصلی این موضوع را می‌توان اختلاف نوع پوشش گیاهی این دو شهر برشمرد.

مقایسه نتایج جدول ۶ با دو جدول ۴ و ۵، افزایش آشکار دقت روش نزدیک‌ترین همسایه فازی با پارامترهای بهینه شهر یزد و بهبود چشمگیر دقت طبقه‌بندی کلاس گیاه را نشان می‌دهد.

#### ۵- منابع

Aiaz, B., Baronti S., Selva, M., Alparone, L., 2006, **Enhanced Gram-Schmidt Spectral Sharpening Based on Multivariate Regression of MS and Pan Data**, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2006 IEEE International Conference on 3806 – 3809. 0-7803-9510-7

Baatz, M. and Schaep, A., 2000, **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**, In *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*, Heidelberg, Germany, PP. 24-29.

Benz Ursula C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heynen M., 2004, **Multi-Resolution, Object-oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-ready Information**, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 58, PP. 239– 258.

Chen K., 2002, **An Approach to Linking Remotely Sensed Data and Areal Census Data**, *International Journal of Remote Sensing*, 23(1), PP. 37-48.

است. در ارزیابی نتایج این دو روش، مهم‌ترین عامل در موفقیت قابلیت تعمیم‌پذیری بدون استفاده از نمونه‌های آموزشی جدید، نزدیک‌بودن مشخصات اکولوژیکی دو منطقه است.

در روش قانون‌مبنای مفهومی به‌رغم پذیرفتنی‌بودن نسبی نتایج این روش طبقه‌بندی، مقادیر پایین دقت تولیدکننده برای کلاس‌های سایه و راه و همچنین مقدار پایین دقت کاربر برای کلاس ساختمان نشان از ضعف نسبی این روش دارد. دلیل این امر عمدتاً مشابهت طیفی کلاس‌های راه و ساختمان است.

مقایسه جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که روش قانون‌مبنای نزدیک‌ترین همسایه فازی، در حدود ۴ درصد بهبود دقت کلی ایجاد کرده و دقت تولیدکننده و کاربر کلاس راه به ترتیب ۱۶ و ۷ درصد و برای کلاس ساختمان ۱۱ و ۹ درصد بهبود داشته است. دقت تولیدکننده کلاس سایه بهبود ۱۲ درصدی داشته و دقت طبقه‌بندی سایر کلاس‌ها در دو روش نسبتاً مشابه است و دلیل آن اغتشاش اندک طیفی این کلاس‌ها با کلاس‌های سطوح بالاتر است.

روش پیشنهادی در بررسی تعمیم‌پذیری نتایج خوبی به‌دست داد. همان‌طور که جدول‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند، دقت طبقه‌بندی این تصویر نسبت به روش مشابه روی شیراز (جدول ۲)، بهبود اندکی داشته که دلیل آن سادگی منطقه تحت پوشش تصویر شهر یزد در مقایسه با شهر شیراز است. دقت طبقه‌بندی کلاس گیاه در شهر یزد در مقایسه با شهر شیراز کاهش ۳۷ درصدی داشته که دلیل آن تفاوت ساختار پوشش گیاهی این شهرهاست.

در ارزیابی دوم، روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه فازی مبتنی بر فضای ویژگی بهینه و توابع عضویت شهر شیراز پیاده‌سازی شد. جدول ۵ نتایج حاصل از دقت طبقه‌بندی در این حالت را نشان می‌دهد. مقایسه جدول ۵ با نتایج طبقه‌بندی قانون‌مبنای مفهومی نشان از آن دارد که از نظر دقت کلی، کاهش ۳ درصد رخ داده که عمدتاً از

- 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
- Chen, Y., Shi, P., Fung, T., Wang, J., Li, Y., 2007, **Object-oriented Classification for Urban Land Cover Mapping with ASTER Imagery**, International Journal of Remote Sensing, 28 (29), PP. 4645-4651.
- 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, October, PP. 317-326.
- Definiens Developer Software User Guide, 2003.
- Gusella, L., Adams, B.J., Bitelli, G., Huyck, C.K., Eeri, M., Mognol, A., 2005, **Object Oriented Image Understanding and Post-earthquake Damage Assessment for the (2003) Bam, Iran, Earthquake**, Earthquake Spectra, 21 (S1), S225\_S238.
- Hala, N. and Walter, V., 1999, **Automatic Classification of Urban Environments for Database Revision Using LiDAR and Color Aerial Imagery**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(Part 7-4-3 W6), PP. 641.
- Harvey Hofm J.T., 2002, **Estimating Census District Populations from Satellite Imagery: some approaches and limitations**, International Journal of Remote Sensing, 23(10), PP. 2071-2095.
- Jordi I., 2007, **Automatic Recognition of Man-made Objects in High Resolution Optical Remote Sensing Images by SVM Classification of Geometric Image Features**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 62, PP. 236-248.
- 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.
- Laurent D., Lagabrielleb E., Nelsonc A., 2008, **A Method for Monitoring Building Construction in Urban Sprawl Areas Using Object-based Analysis of Spot 5 Images and Existing GIS Data**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 63, PP. 399-408.
- Liu, X.H., Clarke, K. and Herold, M., 2006, **Population Density and Image Texture: A comparison Study**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 72(2), PP. 187-196.
- Marcano-Cedeño A., Quintanilla-Domínguez J., Cortina-Januchs M.G., Andina D., 2010, **Feature Selection using Sequential Forward Selection and Classification Applying Artificial Metaplasticity Neural Network**, IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, 2845 - 2850. 1553-572X.

- Martin H., 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 "Geoinformation for European-wide integration", Prague, June.
- Mathieu R., Claire F., Jagannath A., 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.
- Pozzi F. and Small C., 2005, **Analysis of Urban Land Cover and Population Density in United States**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 71(6), PP. 719-726.
- Ruvimbo, G., De Maeyer, P., De Dapper, Morgan, 2009, **Object-oriented Change Detection for the City of Harare, Zimbabwe**, Expert Systems with Applications, 36, PP. 571–588
- Schiewe, G. and Ehlers, M., 2005, **A Novel Method for Generating 3D City Models from High Resolution and Multi-sensor Remote Sensing Data**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 26, No. 4, PP. 683-698.
- Steinnocher K., Weichselbaum J. and Kostl M., 2005, **Linking Remote Sensing and Demographic Analysis in Urbanized Areas**, In (P. Hostert, A. Damm, S. Schiefer Eds.): First Workshop of the EARSEL SIG on Urban Remote Sensing Institute, September, Melbourne, Australia.
- 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.
- Zhan Q., 2003, **A Hierarchical Object-based Approach for Urban Land Use Classification from Remote Sensing Data**, Ph.D. Thesis, International institute for geo-information science and earth observation ITC.
- Zhang, L. and Xin, H., 2009, **Object-oriented Sub Space Analysis for Airborne Hyperspectral Remote Sensing Imagery**, The State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, PR China.
- Zheng, Y., Zhang J., Wang and Lin Z., 2002, **Urban Land-use Classification Using Integrated Airborne Laser Scanning Data and High Resolution Multispectral Imagery**, Peccora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS.
- Zhou W., Zhou A., Huang G., Troy A.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.