

ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌اگرا (مطالعه موردی: شهرستان کلیدر)

مجید پیشنماز احمدی - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
کیوان محمدزاده* - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
سید اسداله حجازی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

وصول: ۱۳۹۶/۰۶/۰۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۳۰

چکیده

نظارت بر جنگل، نیازمند سیستم‌های خودکار برای تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم سنجش از دور است. داده‌های ماهواره‌ای، به عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌ها، به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی، در اختیار پژوهشگران قرار دارند. با توجه به تغییرات وسیع کاربری‌ها و تخریب جنگل در سال‌های اخیر، تولید نقشه گستره جنگل و بررسی روند تغییرات آن در دوره‌های زمانی مشخص، ضروری است. پژوهش حاضر، می‌کوشد تا از تصاویر لندست در بازه زمانی ۲۷ ساله، تغییرات پوشش زمین‌های شهرستان کلیدر، به‌ویژه پوشش جنگلی را با استفاده از تکنیک‌های فازی شی‌اگرا بررسی کند؛ به همین منظور، تصاویر سنجنده تی‌ام. لندست ۵ (سال ۱۹۹۰)، سنجنده ای. تی. ام. پلاس لندست ۷ (سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰) و سنجنده اویل. آی. تصویر لندست ۸ (سال ۲۰۱۷) استفاده شد. در این پژوهش، به منظور بهبود نتایج قطعه‌بندی تصویر و به دنبال آن، افزایش دقت نتایج طبقه‌بندی، از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه برای بهینه‌سازی مقیاس استفاده شد. بررسی نتایج نشان داد که شهرستان کلیدر، در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷، شاهد روند کاهشی اراضی با پوشش جنگلی و مرتعی درجه ۱ بوده و از سوی دیگر، زمین‌های مرتعی درجه ۲، بایر و اراضی مسکونی افزایش یافته و این امر، بیانگر روند کلی تخریب در منطقه از طریق جایگزینی مراتع درجه ۱ و جنگلی با سایر کاربری‌ها نظیر مرتع درجه ۲ و اراضی بایر و مسکونی است. در مدت ۲۷ سال، اراضی جنگلی در این شهرستان به میزان ۵/۱٪ معادل ۱۰۷ کیلومتر مربع کاهش داشته است. عوامل زیادی در تغییر پوشش جنگل در منطقه مؤثر هستند، از جمله افزایش مراکز سکونت‌گاهی، تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی را می‌توان نام برد.

واژگان کلیدی: پوشش جنگلی، فازی شی‌اگرا، سنجش از دور، تصاویر لندست.

مقدمه

نظارت بر جنگل، نیازمند سیستم‌های خودکار برای تجزیه و تحلیل داده‌های حجیم سنجش از دور است. با گسترش فناوری سنجش از دور، حجم وسیعی از داده‌های مکانی در دسترس قرار گرفته‌اند. داده‌های ماهواره‌ای، به عنوان سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌ها، به منظور تهیه نقشه پوشش اراضی، در اختیار پژوهشگران قرار دارند (پال و مادر^۱، ۲۰۰۵). برای استخراج اطلاعات کاربری اراضی به‌ویژه، پوشش جنگلی، از تصاویر رقومی ماهواره‌ای، روش‌های متفاوتی ارائه شده است. از میان تکنیک‌های موجود، روش‌های پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای^۲ به سبب بهره‌مندی از الگوریتم‌های دانش‌پایه توانسته‌اند بر ضعف روش پیکسل‌پایه، به‌ویژه در بخش پیکسل‌های آمیخته در فرآیند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای غلبه کنند (بلاشک^۳، ۲۰۱۰؛ دراگوت و همکاران^۴، ۲۰۱۰). آشکارسازی تغییرات، فرآیند تعیین تفاوت‌ها در وضعیت یا حالت یک شیء یا پدیده، با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است (سینگ^۵، ۱۹۸۹). از نظر تاریخی، مهم‌ترین تغییر کاربری اراضی که انسان انجام داده، از بین بردن جنگل‌ها و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی و سکونت‌گاه‌ها بوده است (لاسوچ و هرزوغ^۶، ۲۰۰۲)؛ به طور کلی، تغییرات اقلیمی و عوامل فناورانه و اقتصادی، مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در تغییر کاربری در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی هستند (کومن و استیل ول^۷، ۲۰۰۷، ۳).

یکی از مهم‌ترین توانایی‌های سنجش از دور که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت، مطالعات تغییرات اکوسیستم‌ها در دوره‌های زمانی مشخص است. مطالعات و بررسی‌های گوناگونی پیرامون اندازه‌گیری و پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی جنگلی در دوره‌های زمانی مختلف با استفاده از سنجش از دور و تکنیک پردازش فازی شیء‌گرا انجام شده است؛ بر همین اساس، رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۸۶) و زبردست و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور، روند تغییرات سطوح جنگلی ارسباران را بررسی نمودند و نشان دادند که سطح جنگل‌های ارسباران، رو به کاهش بوده و زمین‌های بایر و مسکونی، روند افزایشی داشته‌اند. در مطالعه‌ای که وحیدی و همکاران (۱۳۹۴)، در حوضه آبریز ليقوان انجام دادند نشان دادند که طی ۳۴ سال، تراکم پوشش گیاهی به علت افزایش نواحی مسکونی، جاده‌سازی، زراعت دیم و تبدیل مراتع خوب به مراتع ضعیف، کاهش یافته است؛ همچنین، بابایی (۱۳۹۵)، کاربری اراضی دشت مغان را با استفاده از پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالای ۹۰٪ به دست آورد. در راستای استفاده از تکنیک‌های پردازش شیء‌گرای تصاویر لندست رستم‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که تمام دهستان‌های استان ایلام، با پدیده جنگل‌زدایی مواجه بوده و تغییر گسترده کاربری جنگل (۴۲٪) در کل منطقه رخ داده است.

در ارتباط با تغییرات جنگلی در سطح جهانی، لیندکوئیست و آنونزیو^۸ (۲۰۱۶)، با استفاده از تکنیک‌های شیء‌گرا نشان دادند پردازش شیء‌گرا جزء تکنیک‌های کارآمد برای بررسی پوشش جنگلی است. در راستای تکمیل نتایج پژوهش بالا، هانیبال لماً^۹ و همکاران (۲۰۱۷)، در مقیاس منطقه‌ای در حوضه دریاچه تانا (اتیوپی)، با استفاده

1- Pal & Mather

2- Object-Based Image Analysis (OBIA)

3- Blaschke

4- Drăguț

5- Singh

6- Lausch & Herzog

7- Koomen & Stillwell

8- Lindquist & Annunzio

9- Hanibal Lemma

از تصویر ماهواره لندست ۸، طبقه‌بندی پوشش اراضی را با رویکرد شیء‌گرا انجام دادند و بیشترین دقت کاربر و تولیدکننده (بالای ۰/۸۴)، برای کاربری‌های کشاورزی، جنگل و آب به دست آمد. در ادامه، دکوک^۱ و همکاران (۱۹۹۹)، ویل هاوک^۲ (۲۰۰۰)؛ شوارز^۳ و همکاران (۲۰۰۱) و ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۷)، نشان دادند که روش طبقه‌بندی شیء‌گرا در استخراج بهتر پدیده‌های روی زمین به‌ویژه جنگل و بهبود طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از توانایی زیادی در مقایسه با روش پیکسل‌پایه برخوردار است. فراوانی روش‌های آشکارسازی تغییرات پوشش جنگلی، از قابلیت‌های فازی شیء‌گرا و بهینه‌سازی مقیاس قطعه‌بندی تصاویر به منظور بهبود دقت نتایج کمتر استفاده شده است؛ بنابراین، در ادامه پژوهش‌های انجام‌شده، پژوهش حاضر، با هدف بررسی قابلیت‌های تکنیک‌های فازی شیء‌گرا و استفاده از قابلیت بهینه‌سازی مقیاس، به منظور ایجاد قطعه‌بندی مناسب تصویر و بهبود دقت نتایج استخراج کاربری اراضی با روش فازی شیء‌گرا از روی تصاویر لندست انجام گرفته است.

روش شیء‌گرا، بر مبنای ویژگی‌های طیفی، بافتی و مکانی عمل می‌کند (ارجمند و ریاحی بختیاری، ۱۳۹۴). بر اساس مطالعات انجام‌شده، روش‌های پیکسل‌پایه، توانایی محدودی در جدا کردن کلاس‌های دارای اطلاعات طیفی مشابه، دارند؛ بنابراین، مشکل پیکسل‌های آمیخته در روش شیء‌گرا برطرف شده و بدین ترتیب، باعث افزایش دقت کلاس‌بندی می‌شود (چن^۵ و همکاران، ۲۰۰۹؛ گائو^۶ و همکاران، ۲۰۰۹). در مقایسه با پردازش پیکسل‌پایه، روش شیء‌گرا، تصاویر را به صورت شیء‌هایی معنی‌دار که مطابق با ماهیت زمینی آنهاست در نظر می‌گیرد (بنز^۷ و همکاران، ۲۰۰۴؛ بلاشک^۸، ۲۰۱۰). استفاده از تجزیه و تحلیل شیء‌گرای تصاویر می‌تواند سرعت فرآیند شناسایی نوع پوشش اراضی را افزایش داده و برای پژوهش‌های آتی در این زمینه ارزشمند باشد (ولوسچنک^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). در بیشتر موارد، طبقه‌بندی شیء‌گرا بر طبقه‌بندی پیکسل‌پایه برتری داشته و دارای دقت بالایی است (وات ساید و احمد^{۱۰}، ۲۰۰۵؛ اروک^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۴؛ رگو و کوچ^{۱۲}، ۲۰۰۳؛ ویل هاوک^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۰).

لازمه برنامه‌ریزی اصولی و مدیریت صحیح منابع طبیعی، به‌ویژه جنگل‌ها، در اختیار داشتن اطلاعات دقیق و به‌هنگام در قالب نقشه است. با توجه به تغییرات وسیع کاربری‌ها و تخریب جنگل در سال‌های اخیر، تولید نقشه گستره جنگل و بررسی روند تغییرات آن در دوره‌های زمانی مشخص ضروری است. رویشگاه‌های جنگلی ارسباران که در گذشته سطوح وسیعی را می‌پوشاند، اکنون با مساحت ۱۴۰۰۰۰ هکتار، سطح کوچکی از شهرستان‌های کلیبر، خداآفرین، اهر و جلفا در استان آذربایجان شرقی را شامل می‌شود؛ لذا، این پژوهش سعی بر آن دارد تا در نبود تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا (که طبقه‌بندی آنها با دقت و سرعت بالایی انجام می‌شود)، از روش شیء‌گرا به‌ویژه فازی شیء‌گرا و الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه قطعه‌بندی به منظور بالا بردن صحت طبقه‌بندی تصاویر لندست، بهره گرفته و روند تغییرات کاربری اراضی به‌ویژه پوشش جنگلی شهرستان کلیبر در یک دوره ۲۷ ساله از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ مورد ارزیابی قرار گیرد.

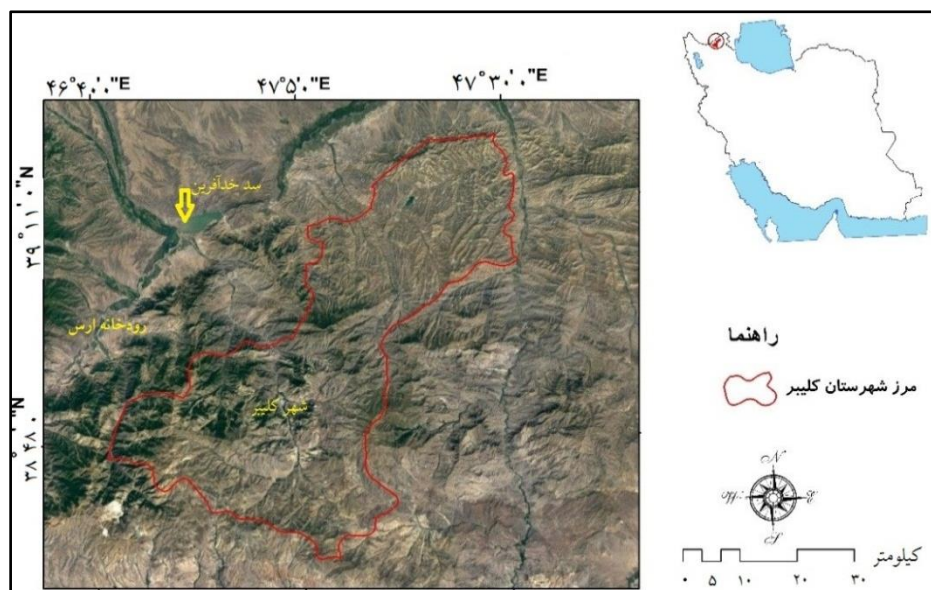
- 1- Dekok
- 2- Willhauck
- 3- Schwarz
- 4- Zhang
- 5- Chen
- 6- Gao
- 7- Benz
- 8- Blaschke
- 9- Volschenk
- 10- Whiteside & Ahmad
- 11- Oruc
- 12- Rego & Koch
- 13- Willhauck

معرفی منطقه مورد بررسی

شهرستان کلیبر، با وسعت ۲۱۱۲ کیلومتر مربع، ۳/۲٪ از مساحت کل استان آذربایجان شرقی را به خود اختصاص داده و در شمال شرقی استان، در موقعیت جغرافیایی ۴' و ۴۷° طول شرقی و ۵۲' و ۳۸° عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱). پوشش گیاهی شهرستان کلیبر نسبت به سایر نقاط استان آذربایجان شرقی غنی و از اهمیت خاصی برخوردار بوده و دارای جنگل‌های وسیع با انواع درختان نادر و چمنزارهای طبیعی است که در سال‌های اخیر دست‌خوش تغییرات زیادی شده است. برای مدیریت بهتر این منابع ارزشمند، نقشه‌هایی با دقت بالا لازم است؛ لذا، پژوهش حاضر، به بررسی روند تغییرات رخ داده در بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از تکنیک فازی شیء‌گرا پرداخته است که در سال‌های اخیر، دقت بالای این روش در مطالعات مختلف به اثبات رسیده است.

مواد و روش‌ها

هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات رخ داده در شهرستان کلیبر با تأکید بر اراضی جنگلی است؛ به همین منظور، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده تی.ام. ماهواره لندست ۵، سنجنده ای.تی.ام. پلاس لندست ۷ و سنجنده اوبال.آی. لندست ۸ با ردیف و گذر ۳۳-۱۶۸ در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ با سری زمانی ۱۰ ساله در نرم‌افزار اکوگنیشن^۱ مورد پردازش قرار گرفتند. این تصاویر، قبل از ورود به بخش پردازش، مورد پیش‌پردازش قرار گرفتند که شامل تصحیح اتمسفریک و رادیومتریک و هندسی بود؛ همچنین برای از بین بردن خطای نوارشدگی در تصاویر لندست ۷، از ابزار گپ فیل^۲ و روش میانگین‌گیری استفاده شد. برای استخراج پوشش اراضی از شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی و همچنین اطلاعات بافت همگنی تصویر، شکل، فشردگی و روش‌نمایی با استفاده از روش فازی شیء‌گرا صورت پذیرفت و نتایج پس از ارزیابی دقت، در محیط آرک جی.آی.اس.^۳ محاسبه و نقشه‌های نهایی تهیه شدند. شکل ۲، روش کلی پژوهش را نشان می‌دهد:

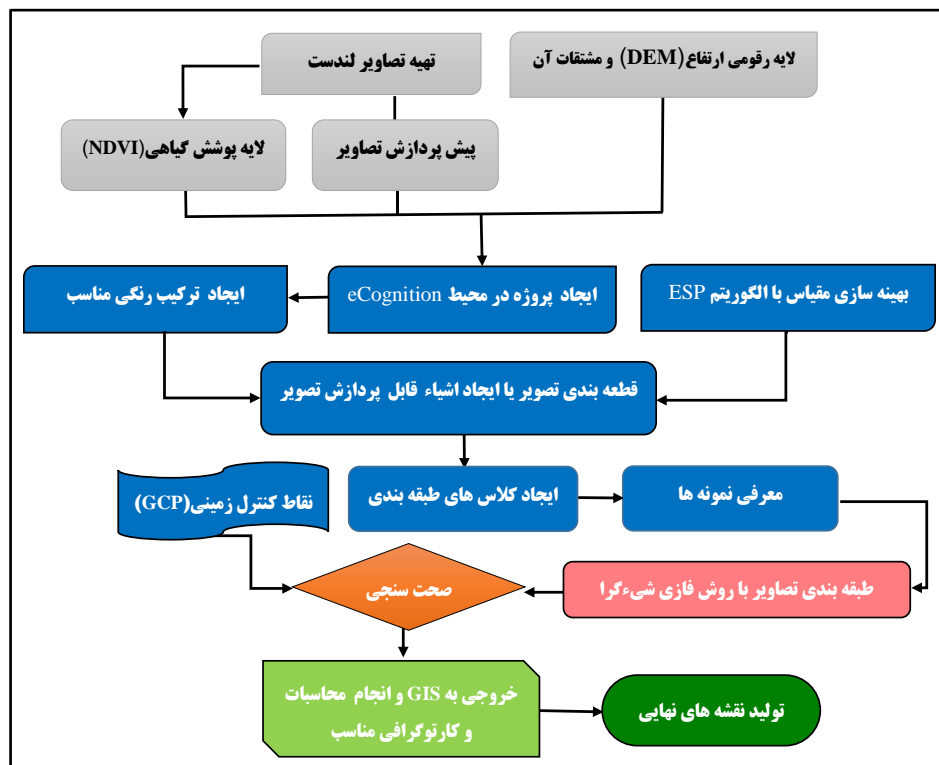


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

1- eCognition

2- Gap fill

3- ArcGIS



شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام پژوهش

اولین گام در طبقه‌بندی شیء‌گرا، قطعه‌بندی تصویر و ایجاد اشیاء مجزا، متشکل از پیکسل‌های همگن است. هدف اصلی قطعه‌بندی تصویر، تلفیق پیکسل‌ها یا ریز اشیاء برای تشکیل اشیاء بزرگ تصویر، بر اساس ویژگی‌های طیفی و مکانی تصویر است (گائو و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهش حاضر، الگوریتم قطعه‌بندی چندتفکیکی، به منظور ایجاد واحدهای پردازش استفاده شد، این روش، اشیاء تصویر را بر اساس معیار همگنی ایجاد می‌کند؛ بنابراین، اشیاء تصویر در مقایسه با پیکسل، اطلاعات بیشتری از جمله میانگین شیء تصویر برای هر باند، مقادیر میانه، مقادیر حداقل و حداکثر، نسبت باندی، واریانس اطلاعات مربوط به شکل اشیاء، ویژگی‌های بافتی و ویژگی‌های آماری پیکسل‌ها و همچنین روابط بین اشیاء و لایه‌های موضوعی را دارا هستند (هافمن و وان در ویقت^۱، ۲۰۰۱؛ بنز^۲ و همکاران، ۲۰۰۴). رنگ و شکل، فشردگی، نرمی و همچنین وزن‌های اختصاص یافته به هر کدام از باندها از عوامل مهم در کیفیت قطعه‌بندی تصویر است؛ از طرفی، مقدار بهینه پارامتر مقیاس برای بهبود نتایج قطعه‌بندی تصویر ضروری است. با توجه به اهمیت بالای قطعه‌بندی در دقت طبقه‌بندی، در پژوهش حاضر با استفاده از ابزار پیش‌بینی مقیاس بهینه^۳، مقیاس مناسب برای ایجاد اشیاء تصویر مناسب پیش‌بینی شد.

یکی از مراحل مهم و حساس در طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، قطعه‌بندی تصاویر با توجه به عارضه‌های زمینی است. بیشتر پژوهشگران با توجه به روش‌های تجربی و با صرف زمان زیاد، اقدام به قطعه‌بندی تصاویر می‌کنند که در بیشتر مواقع، با بهینه‌ترین شرایط فاصله دارد و موجب کاهش دقت نهایی طبقه‌بندی می‌شود. در این پژوهش، واریانس محلی^۴، به عنوان اساس پیش‌بینی مقدار بهینه پارامتر مقیاس، مورد استفاده قرار

1- Hoffmann & Van der Vegt

2- Benz

3- Estimation of Scale Parameter (ESP)

4- Local variance

می‌گیرد که از مقدار میانگین انحراف معیار اشیاء تصویر محاسبه شده است (دراگوت و همکاران، ۲۰۱۴؛ وودکاک و استرالر^۱، ۱۹۸۷). واریانس محلی یک شیء تصویر، از روی تمامی پیکسل‌های موجود در آن شیء محاسبه می‌شود؛ در واقع، استفاده از مفهوم واریانس محلی به کارگیری همبستگی مکانی است که ویژگی اساسی تصویر است (لیس^۲، ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، تصاویر، با استفاده از رویکرد تقسیم‌بندی چند تفکیکی از پایین به بالا به صورت مکرر در مقیاس‌های مختلف تقسیم‌بندی شدند. واریانس محلی و نرخ تغییر^۳ آن در کل تصویر، با استفاده از میانگین انحراف معیار تمام اشیاء تصویر قطعه‌بندی شده، محاسبه شد. با رویکرد قطعه‌بندی پایین به بالا، واریانس محلی اشیاء تصویر به تدریج با افزایش پارامتر مقیاس به دلیل تغییرات در سطح همگنی اشیاء افزایش می‌یابد. هم‌زمان، اندازه یک شیء تصویر، رشد می‌کند و واریانس محلی آن به طور مداوم افزایش می‌یابد تا آنجا که به سطحی از قطعه‌بندی برسد که شیء‌های معنی‌دار، مطابق با ماهیت زمینی ایجاد گردد (دراگوت و همکاران، ۲۰۱۰). از لحاظ تئوری، زمانی که مرز شیء تصویر بیش از شیء معنی‌دار است، سطح همگن بودن اشیاء تصویر کاهش می‌یابد. در نتیجه، واریانس محلی به شدت افزایش می‌یابد؛ بنابراین، نرخ تغییر واریانس محلی، شاخص خوبی برای برآورد پارامتر مقیاس بهینه برای تقسیم‌بندی تصویر است. دامنه تغییر به صورت رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$ROC = \left[\frac{LV_n - LV_{n-1}}{LV_{n-1}} \right] * 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن LV_n : واریانس محلی در سطح n و LV_{n-1} : واریانس محلی در سطح $n-1$ است. نرخ تغییر، یک شاخص فنی بوده که تجزیه و تحلیل واریانس و محلی و مشخص نمودن تغییرات آن، از یک سطح قطعه به سطح دیگر را مشخص می‌کند. فرض بر این است که نقطه حداکثر نمودار واریانس محلی - نرخ تغییر، نشانگر سطوح اشیاء تصویر است که می‌تواند در مناسب‌ترین حالت، قطعه‌بندی شود. در این نقطه حداکثر، قطعات، مطابق با انواع اشیاء با درجه مساوی از همگنی است. در عمل، واریانس محلی، با تغییرات در پارامتر مقیاس به آرامی تغییر می‌کند، در حالی که گراف نرخ تغییر متفاوت بوده و پیدا کردن پارامتر مقیاس بهینه بر اساس این شاخص آسان‌تر است. پس از تعیین مقیاس بهینه، اقدام به قطعه‌بندی تصویر شده و واحدهای پردازش ایجاد شدند. روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در پژوهش حاضر، روش فازی شیء‌گرا است.

طبقه‌بندی شیء‌گرا، امکان استفاده از قابلیت‌های فازی را فراهم می‌آورد. نظریه مجموعه فازی، فرضیه‌ای برای اقدام در شرایط عدم اطمینان است. این نظریه، می‌تواند بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌های نادقیق و مبهم را در صورت معادلات ریاضی مطرح کند و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). منطق فازی می‌تواند روش خوبی برای طبقه‌بندی و نظارت بر شرایط زیست‌محیطی باشد. در اکوگنیشن^۴، طبقه‌بندی مبتنی بر دانش فازی که شامل اطلاعات طیفی، شکل و سایر اطلاعات مربوط به کلاس‌بندی است، می‌تواند انجام شود (هافمن و وان در ویکت، ۲۰۰۱)؛ بنابراین، محتوای یک شیء، می‌تواند در طبقه‌بندی استفاده شود. طبقه‌بندی فازی، به هر کدام از واحدهای طبقه‌بندی ارزش درجه عضویت بین ۰ تا ۱ را می‌دهد. توابع عضویت، درجه عضویت یک شیء به یک کلاس را تعیین می‌کند. اشیاء می‌توانند در بیش از یک کلاس عضویت داشته باشند (کمپل و وین^۵، ۱۹۹۶). طبقه‌بندی فازی تکنیکی است که

1- Woodcock & Strahler

2- Lees

3- Rate Of Change (ROC)

4- eCognition

5- Campbell & Wynne

ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر طبقه تبدیل می‌کند. تبدیل ارزش عوارض به ارزش فازی، اجازه همگون‌سازی و ترکیب عوارض در دامنه‌های متفاوت را فراهم می‌آورد. در اکوگنیشن، توصیف‌های هر کلاس متشکل از مجموعه‌ای از حالت‌های فازی است که ویژگی خاصی از اشیاء را بیان می‌کند. (بآتز^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). در پژوهش حاضر، از الگوریتم‌های مختلف در روند پردازش استفاده شده که در جدول ۱ بدان اشاره شده است.

جدول ۱. الگوریتم‌های مورد استفاده در روند پردازش

نوع اطلاعات	ویژگی‌های کمی	فرمول ریاضی
شاخص روشنایی		$B = \frac{1}{n_{vis}} \sum_{i=1}^{n_{vis}} \bar{C}_i(vis)$ <p>B میانگین روشنایی یک شیء تصویر است و $\bar{C}_i(vis)$ مجموع کل میانگین روشنایی‌های در بادهای مرئی قابل مشاهده تقسیم بر تعداد باندها n_{vis}</p>
شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI)		$NDVI = \frac{Mean\ NIR - Mean\ Red}{Mean\ NIR + Mean\ Red}$ <p>این شاخص بین +۱ و -۱ است؛ اعداد منفی نشان‌دهنده آب هستند.</p>
شاخص تفاضلی نرمال‌شده سبزیگی (GNDVI)		$GNDVI = 100 * \frac{([Mean\ Layer\ 4] - [Mean\ Layer\ 2])}{([Mean\ Layer\ 4] + [Mean\ Layer\ 2])}$
شاخص تفاضلی تعدیل‌شده آب (MNDWI)		$MNDWI = 100 * \frac{([Mean\ Band\ 4] - [Mean\ Band\ 5])}{([Mean\ Band\ 4] + [Mean\ Band\ 5])}$
تفکیک اراضی زراعی از بایر (TM3/TM2)		$TM2\ over\ TM3 = \frac{[Mean\ Band\ 2]}{[Mean\ Band\ 3]} * 100$
تفکیک پهنه‌های آبی از پوشش گیاهی (TM4 / TM5)		$TM4\ over\ TM5 = \frac{[Mean\ Band\ 4]}{[Mean\ Band\ 5]} * 100$
میانگین باندها		$\bar{C}_k(V) = \bar{C}_k(P_v) = \frac{1}{\#P_v} \sum_{(x,y,z,t) \in P_v} \bar{C}_k(x,y,z,t)$
انحراف معیار		$\sigma_k(v) = \sigma_k(P_v) = \sqrt{\frac{1}{\#P_v} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_v} C_k^2(x,y,z,t) - \frac{1}{\#P_v} \left(\sum_{(x,y,z,t) \in P_v} C_k(x,y,z,t) \right)^2 \right)}$ <p>$[0, \frac{1}{2} C_k^{range}]$</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\sigma_k(v)$: انحراف معیار میزان شدت باندهای تصویر K برای تمام پیکسل‌ها/واکسل‌های تشکیل‌دهنده آبیجت V • P_v: مجموعه پیکسل‌ها بر مجموعه واکسل‌های تشکیل‌دهنده شیء تصویر V • $\#P_v$: تعداد کل پیکسل‌ها/واکسل‌های موجود در P_v • (x,y,z,t): پیکسل‌ها/مختصات واکسل‌ها • $C_k(x,y,z,t)$: مقادیر شدت هر پیکسل در باندهای تصویر/واکسل‌های (y, z, t) • C_k^{range}: دامنه داده‌ها در لایه تصویر K. $C_k^{range} = C_k^{max} - C_k^{min}$ with

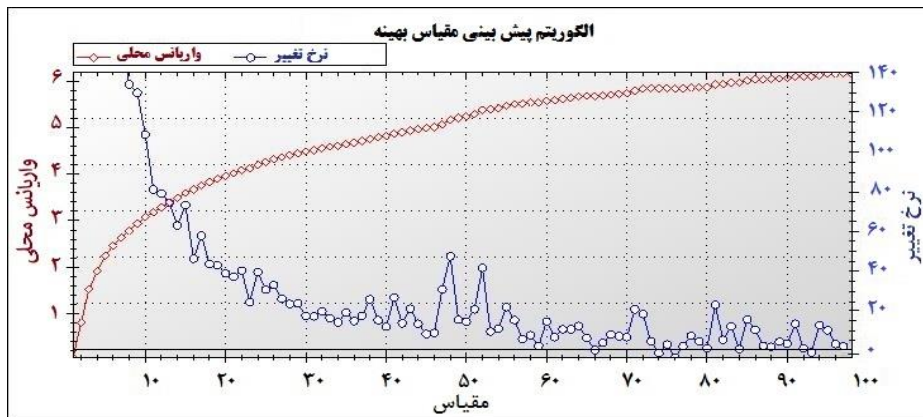
ادامه جدول ۱. الگوریتم‌های مورد استفاده در روند پردازش

اطلاعات هندسی	شاخص عدم تقارن	$1 - \sqrt{\frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}}}$ <p>λ_{\min}: حداقل مقدار خاص پیکسل λ_{\max}: حداکثر مقدار خاص پیکسل B_v</p>
اطلاعات بافت تصویر	شاخص شکل	$\frac{4\sqrt{\#v_v}}{B_v}$ <p>طول مرز عرضه B_v $4\sqrt{\#p_v}$ مرز مربع با مساحت $\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i-j)^2$ شماره ردیف i شماره ستون j تعداد ردیف یا ستون N مقدار احتمالی از $P_{i,j}$ GLCM</p>
اطلاعات بافت تصویر	کنتراست (Con)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} \left[\frac{(i-\mu_i)(j-\mu_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \right]$ <p>انحراف معیار GLCM: σ_i میانگین GLCM: μ_i</p>
	همبستگی (Cor)	$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-1 \ln P_{i,j})$
	آنتروپی (Ent)	$\mu_i = \sum_{i,i=0}^{N-1} i (P_{i,j}), \quad \mu_j = \sum_{i,i=0}^{N-1} j (P_{i,j})$
	بافت میانگین	

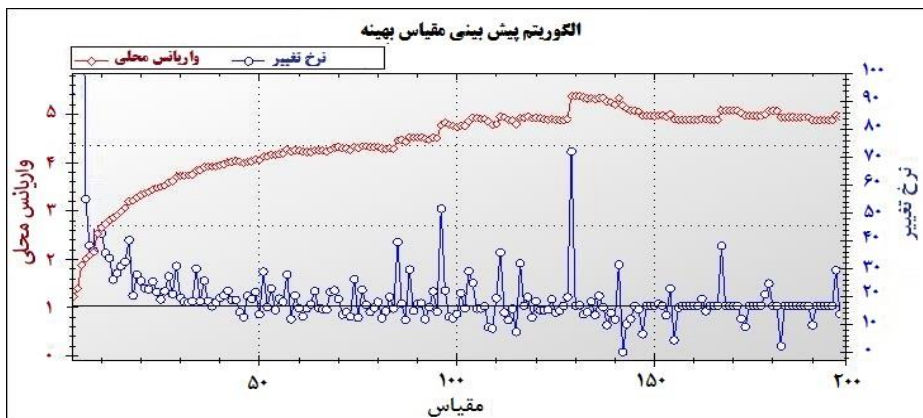
نتایج

جهت ایجاد اشیاء مناسب کلاس‌بندی از لحاظ همگنی، بایستی چندین پارامتر تعدیل شود. از جمله این پارامترها، مقیاس اشیاء تصویر، وزن هر یک از باندهای تصویر و معیار و آستانه غیر همگنی تصویر هستند. مقیاس، یکی از مهم‌ترین عوامل برای درک تصویر است، چراکه یک شیء تصویر، ممکن است بسته به سطوح مختلف مقیاس، به شکل‌های متفاوتی ظاهر شود (پلی کروناکی و گیتاز، ۲۰۱۲). در نتیجه، در پژوهش حاضر، مقیاس بهینه برای تجزیه و تحلیل شیء‌گرا برای کل منطقه مورد مطالعه با توجه به هدف طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه^۲ تعیین شد. با استفاده از این روش که تصاویر در ۲۰۰ مقیاس از ۱ تا ۲۰۰ به طور متوالی و با استفاده از رویکرد قطعه‌بندی چند تفکیکی سلسله‌مراتبی پایین به بالا برای ساخت گراف‌های واریانس محلی قطعه‌بندی شده بود و با استفاده از گراف‌های ترسیم‌شده مقیاس‌های مناسب جهت قطعه‌بندی تصویر تعیین شد. نمودارهای واریانس محلی و نرخ تغییر برای تصاویر لندست ۵، ۷ و ۸ به ترتیب در (شکل ۳ و ۴) نشان داده شده است.

با پیش‌بینی مقیاس مناسب به منظور ایجاد واحدهای تصویر با الگوریتم برآورد مقیاس بهینه، مقیاس ۱۵ (شکل ۳) با ضرایب شکل و فشردگی به ترتیب ۰/۴ و ۰/۵ به عنوان مقیاس مناسب برای استخراج عرضه‌های تصویر ماهواره لندست ۵ و ۷ و مطابق (شکل ۴) مقیاس ۱۳۰ با ضریب شکل ۰/۴ و ضریب فشردگی ۰/۵ برای تصویر ماهواره لندست ۸ انتخاب شد.

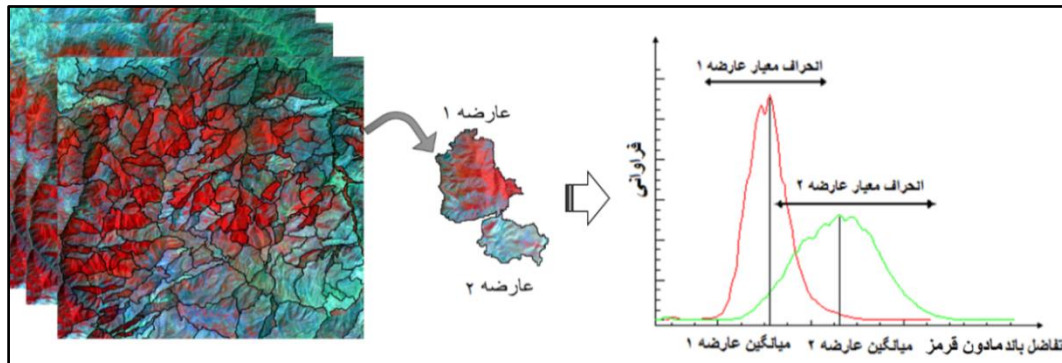


شکل ۳. مقیاس بهینه پیش‌بینی شده برای تصاویر لندست ۵ و ۷ با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه



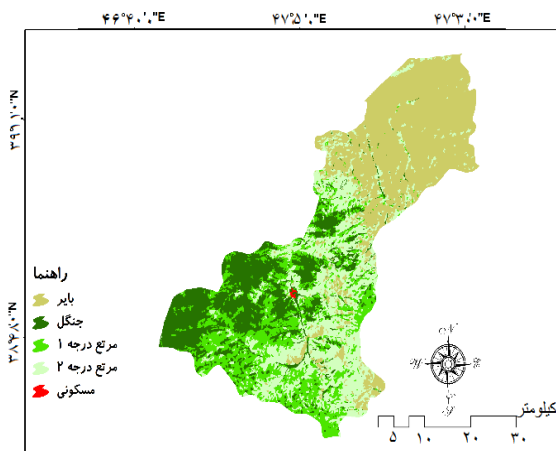
شکل ۴. مقیاس بهینه پیش‌بینی شده برای تصاویر لندست ۵ و ۷ با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه

لازم به ذکر است که این ضرایب نیز همانند مقیاس بهینه، از طریق افزونه الحاقی پیش‌بینی مقیاس بهینه در محیط نرم‌افزار اکوگنیشن^۱ ایجاد می‌شود. در پژوهش حاضر، از مفهوم واریانس محلی و ابزار برآورد مقیاس بهینه برای تشخیص مناسب‌ترین محدوده پارامتر مقیاس که در آن تقسیم‌بندی تصویر انجام می‌شود، استفاده گردید. در پژوهش حاضر، مناسب بودن ابزار پیش‌بینی پارامتر مقیاس، برای تعریف پارامترهای مقیاس قطعه‌سازی معنی‌دار، روی تصاویر مورد آزمون قرار گرفت. در حالی که منحنی واریانس محلی، به طور ناگهانی با افزایش اندازه قطعه در مقیاس‌های پایین افزایش می‌یابد، منحنی نرخ تغییرات واریانس محلی در روندی مخالف کاهش می‌یابد. این الگو، مرحله تغییر از پیکسل‌ها به کوچک‌ترین اشیاء تصویر مورد نظر را نشان می‌دهد. نمودار، نشان می‌دهد که واریانس محلی، به تنهایی نمی‌تواند مقیاس معنی‌دار اشیاء تصویر را نشان دهد. به خاطر تفاوت‌های بیشتر در مقادیر دامنه تغییر - واریانس محلی در مقیاس‌های کوچک‌تر، تغییرات در منحنی دامنه تغییر - واریانس محلی در مقیاس‌های بزرگ‌تر پنهان هستند. نمودار دامنه تغییر - واریانس محلی دارای نوسانات ناگهانی بیشتری بین نقطه ماکسیمم و مینیمم بوده در حالی که نمودار واریانس محلی، بسیار صاف و نرم است. از لحاظ تئوری، قله در یک منحنی دامنه تغییر - واریانس محلی نشان می‌دهد که در آن سطح منحنی واریانس محلی، مقیاس مطابق با تفکیک‌پذیری عوارض در سطح زمین است. با این حال، تنوع ناشی از تقسیم‌بندی پس‌زمینه نیز در منحنی، تولید نقطه پیک می‌کند و در نتیجه، پیچیدگی تفسیر نمودارها، متناسب با پیچیدگی صحنه است. قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۱۳۰ (ضریب شکل ۰/۴ و ضریب فشردگی ۰/۵) در شکل ۵ نشان داده شده است.

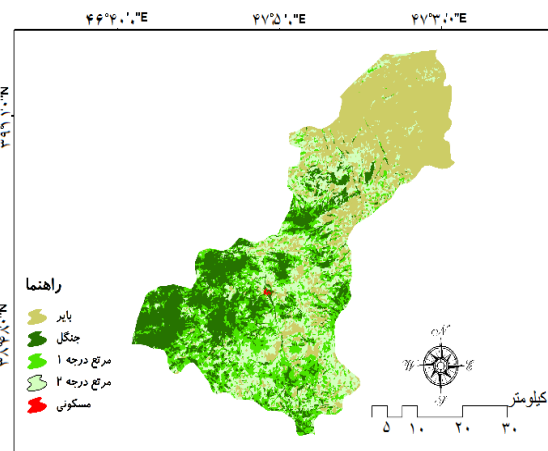


شکل ۵. قطعه‌سازی تصویر با مقیاس ۱۳۰ (ضریب شکل ۰/۴ و ضریب فشردگی ۰/۵)

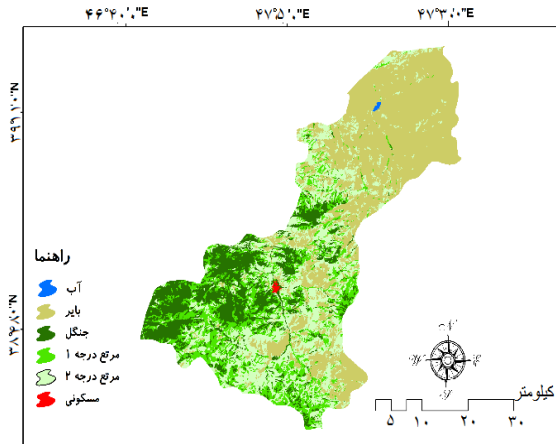
با کاهش تعداد شیء‌های قطعه‌بندی شده، دقت طبقه‌بندی افزایش می‌یابد؛ ولی تعداد شیء‌ها با افزایش همگنی تصویر (کاهش تأثیر شکل و افزایش تأثیر رنگ) به شدت افزایش و دقت طبقه‌بندی کاهش می‌یابد و با کاهش وزن ضریب شکل، تأثیر همگنی تصویر در روند قطعه‌بندی افزایش می‌یابد و سبب کاهش تعداد شیء‌ها در قطعه‌بندی و افزایش دقت کلاس‌بندی می‌شود. این امر، در واقع، روندی کلی است که هر چقدر ضریب شکل کاهش می‌یابد، همگنی تصویر بیشتر در امر قطعه‌سازی مدنظر بوده و تعداد اشیاء تصویر تولیدشده کم می‌شود و دقت کلاس‌بندی افزایش می‌یابد. شکل ۶ تا ۹، نقشه‌های پوشش اراضی را به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ نشان می‌دهد که حاصل طبقه‌بندی فازی شیء‌گرا است.



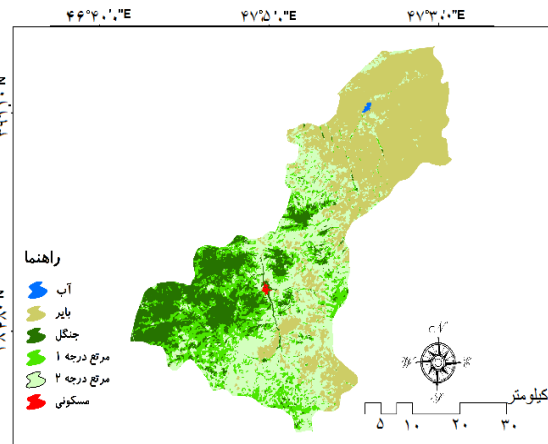
شکل ۷. نقشه پوشش اراضی در سال ۲۰۰۰



شکل ۸. نقشه پوشش اراضی در سال ۱۹۹۰



شکل ۹. نقشه پوشش اراضی در سال ۲۰۱۷



شکل ۱۰. نقشه پوشش اراضی در سال ۲۰۱۰

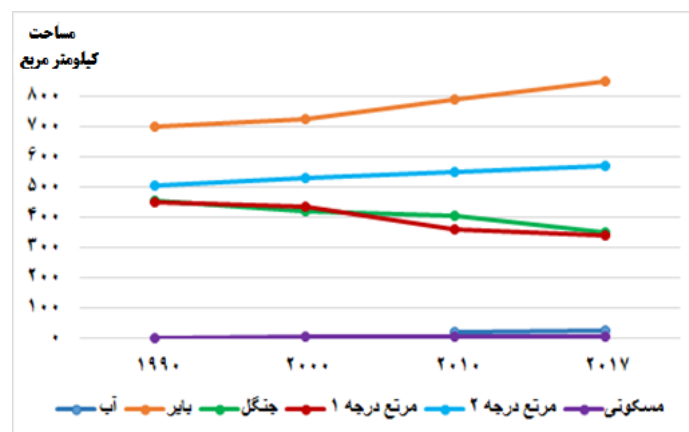
پس از طبقه‌بندی تصاویر مورد نظر با استفاده از روش فازی شیء‌گرا، تغییرات حاصل شده در پوشش اراضی در محیط نرم‌افزار آرک جی.آی.اس. محاسبه و به صورت نقشه به دست آمد (جدول ۲). همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود که در بازه زمانی ۲۷ ساله، بیشترین تغییرات در طبقه اراضی جنگلی و زمین‌های بایر رخ داده است، با این تفاوت که اراضی جنگلی، با شیب منفی رو به کاهش بوده و پیرو آن زمین‌های بایر با شیب مثبت افزایش یافته است. در مدت ۲۷ سال، اراضی جنگلی به میزان ۵/۱٪ معادل ۱۰۷ کیلومتر مربع کاهش داشته است. نحوه تبدیل هر کدام از کاربری‌ها به یکدیگر در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی این جدول، به منظور مشخص شدن چگونگی تغییرات و اینکه کدام کاربری، در تغییر کاربری دیگر نقش دارد مهم است؛ همچنین، در شکل ۱۰، تغییرات در طول زمان مورد مطالعه نمایش داده شده است.

جدول ۲. مساحت پوشش اراضی در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۷

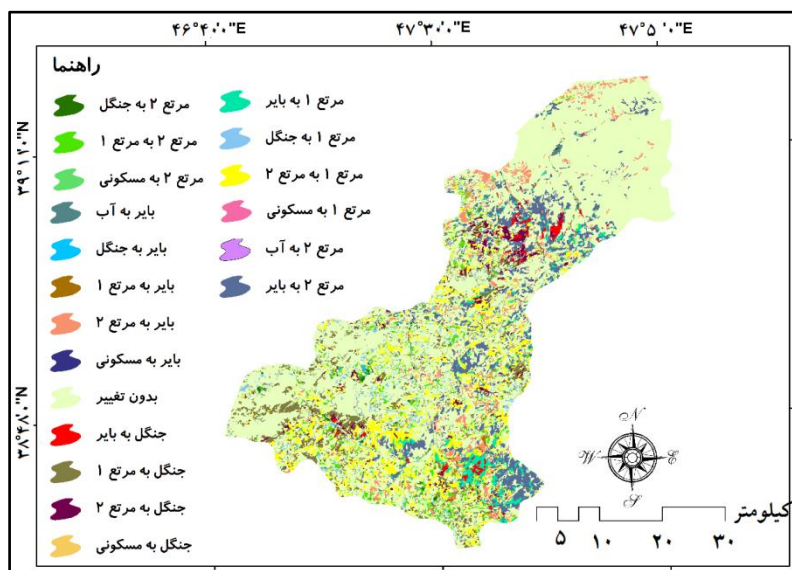
طبقه	سال ۱۹۹۰		سال ۲۰۰۰		سال ۲۰۱۰		سال ۲۰۱۷	
	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (%)
آب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
اراضی بایر	۷۰۲/۵۶	۳۳/۲۵	۷۲۷/۷۲	۳۴/۴۴	۷۹۱/۲۰	۳۷/۴۵	۸۵۲/۳۳	۴۰/۳۴
جنگل	۴۵۵/۷۷	۲۱/۵۷	۴۱۷/۹۳	۱۹/۷۸	۴۰۷/۲۳	۱۹/۲۷	۳۴۷/۹۹	۱۶/۴۷
مرتع درجه ۱	۴۴۹/۲	۲۱/۲۶	۴۳۳/۷۶	۲۰/۵۳	۳۵۹/۶۹	۱۷/۰۲۷	۳۳۸/۲۳	۱۶/۰۱۱
مرتع درجه ۲	۵۰۳/۹	۲۳/۸۵	۵۳۱/۵۲	۲۵/۱۶	۵۴۹/۸۵	۲۶/۰۲	۵۶۹/۲۲	۲۶/۹۴
انسان‌ساخت	۰/۹۸۰	۰/۰۴۶	۱/۴۷۶	۰/۰۶۹	۲/۳۸	۰/۱۱۳	۲/۸۸	۰/۱۳۶
مجموع	۲۱۱۲/۴۳	۱۰۰	۲۱۱۲/۴۳	۱۰۰	۲۱۱۲/۴۳	۱۰۰	۲۱۱۲/۴۳	۱۰۰

جدول ۳. تغییرات رخ داده در پوشش اراضی در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۷ (کیلومتر مربع)

۱۹۹۰-۲۰۱۷						کلاس
آب	اراضی بایر	جنگل	مرتع درجه ۱	مرتع درجه ۲	انسان‌ساخت	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	آب
۱/۶۵	۶۰۷/۲۱	۱/۴۸	۹/۲۶	۸۲/۵۸	۰/۳۱۸	اراضی بایر
۰	۱۸/۳۰۵	۲۸۸/۸۷	۱۰۹/۸۷	۳۸/۸۲	۰/۸۸۲	جنگل
۰	۴۸/۹۸۷	۴۹/۱۸۳	۱۸۱/۷۲	۱۶۹/۰۴	۰/۲۶۴	مرتع درجه ۱
۰/۱۰۲۶	۱۷۷/۸	۹/۴۱۴	۵۷/۳۵۶	۲۵۸/۷۵	۰/۴۷۷	مرتع درجه ۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۹۴۵۹	انسان‌ساخت



شکل ۱۰. تغییرات کاربری‌ها در بازه ۱۹۹۰-۲۰۱۷



شکل ۱۱. نقشه تغییرات رخ داده در بازه ۲۰۱۷-۱۹۹۰

پس از طی مراحل طبقه‌بندی، آخرین مرحله این فرآیند، ارزیابی نتایج به دست آمده به وسیله شاخص‌های رایج است؛ به همین منظور، پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی از روی تصاویر گوگل ارث برای سال‌های قبل و نقاط کنترل زمینی برای سال ۲۰۱۷، ارزیابی دقت طبقه‌بندی بر اساس پیش‌بینی ماتریس خطای طبقه‌بندی صورت گرفت. ماتریس خطا، رایج‌ترین روش برای ارزیابی نقشه‌های موضوعی بوده و آمار توصیفی برای دقت کلی، دقت کاربر، دقت تولیدکننده، ضریب کاپا برای هر طبقه و ضریب کاپای کلی را محاسبه می‌کند (کانگالتون^۱، ۱۹۹۱). نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. جدول ۴، ماتریس خطا و جدول ۵، دقت طبقه‌بندی برای سال‌های مختلف را نشان می‌دهند.

جدول ۴. ماتریس خطای طبقه‌بندی

مجموع	مسکونی	مرتع درجه ۲	مرتع درجه ۱	جنگل	بایر	آب	کاربر
ماتریس خطا							
۱۶۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۶۴۰	آب
۵۸۸۳	۰	۵۶۹	۲۹۹	۰	۴۹۷۰	۰	بایر
۶۲۶۴	۰	۰	۱۷۵	۶۰۸۹	۰	۰	جنگل
۶۳۷۱	۰	۵۴۱	۵۸۳۱	۰	۰	۰	مرتع درجه ۱
۴۵۳۴	۰	۴۲۷۶	۲۵۸	۰	۰	۰	مرتع درجه ۲
۱۰۱۸	۱۰۱۸	۰	۰	۰	۰	۰	مسکونی
-	۱۰۱۸	۵۳۸۵	۶۵۶۳	۶۰۸۹	۴۹۷۰	۱۶۴۰	مجموع
دقت							
	۱	۱	۱	۰/۸۸۸	۰/۷۹۴	۱	تولیدکننده
	۱	۰/۸۵۱	۰/۹۷۲	۰/۹۱۵	۰/۹۴۳	۱	کاربر
	۱	۹۱۹۰	۰/۹۸۵	۰/۹۰۶	۰/۸۶۲	۱	ضریب هلدن ^۲
	۱	۰/۸۵۱	۰/۹۷۲	۰/۸۲۱	۰/۷۵۷	۱	ضریب کوتاه ^۳
	۱	۱	۱	۰/۸۵۱	۰/۷۴۹	۱	کاپای کلاس
			۰/۹۲۸۲۶۸۱				دقت کلی
			۰/۹۰۹۴۱۱۵				ضریب کاپا

1- Congalton

2- Hellden

3- Short

جدول ۵. دقت طبقه‌بندی تصاویر

ارزیابی دقت							
سال	تصویر	کلاس	کاربر	تولیدکننده	دقت کاپا برای هر کلاس	ضریب کاپا	دقت کلی
۱۹۹۰	تی.ام. لندست ۵	آب	۰	۰	۰	۰/۹۰۵۱	۰/۹۲۴۷
		بایر	۰/۹۶۵۱	۰/۹۱۵۶	۰/۹۴۳۱		
		جنگل	۰/۹۳۶۵	۰/۹۷۵۱	۰/۹۱۷۹		
		مرتع درجه ۱	۰/۸۹۵۶	۰/۸۸۷۹	۰/۹۳۶۵		
		مرتع درجه ۲	۰/۹۸۶۵	۰/۸۸۹۶	۰/۹۶۴۵		
		مسکونی	۰/۶۵۷۸	۰/۷۹۶۹	۰/۸۵۶۴		
۲۰۰۰	تی.ام. لندست ۵	آب	۰	۰	۰	۰/۹۱۶۵	۰/۹۳۲۱
		بایر	۰/۹۶۹	۰/۷۷۹۵	۰/۶۹۷۵		
		جنگل	۰/۹۸۶۵	۱	۱		
		مرتع درجه ۱	۱	۰/۸۴۶۵	۰/۸۳۲۶		
		مرتع درجه ۲	۰/۹۴۳	۰/۷۹۴	۰/۷۴۳		
		مسکونی	۱	۱	۱		
۲۰۱۰	ای.تی.ام. پلاس لندست ۷	آب	۱	۱	۱	۰/۹۰۶۱	۰/۹۱۳۸
		بایر	۰/۹۷۲	۱	۱		
		جنگل	۰/۹۷۲	۰/۹۸۶	۱		
		مرتع درجه ۱	۰/۸۳۶۶	۰/۷۷۹۵	۰/۷۶۸۵		
		مرتع درجه ۲	۰/۹	۱	۱		
		مسکونی	۱	۰/۹۴۶۲	۰/۹۶۷۸		
۲۰۱۷	اول.آی. لندست ۸	آب	۱	۱	۱	۰/۹۰۹۴	۰/۹۲۸۲
		بایر	۰/۹۴۳	۰/۷۹۴	۰/۷۴۹		
		جنگل	۰/۹۱۵	۰/۸۸۸	۰/۸۵۱		
		مرتع درجه ۱	۰/۹۷۲	۱	۱		
		مرتع درجه ۲	۰/۸۵۱	۱	۱		
		مسکونی	۱	۱	۱		

بحث

پژوهش حاضر، با هدف آشکارسازی تغییرات پوشش اراضی شهرستان کلپبر، در طی دوره زمانی ۲۷ ساله از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ انجام شد. به همین منظور، از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه سنجنش از دور استفاده شد. استفاده از روش فازی شیء‌گرا و الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه، به منظور ایجاد قطعه‌بندی مناسب تصویر و بهبود دقت نتایج، اگرچه تا کنون در پژوهش‌های داخلی، خیلی کم انجام شده است؛ اما در تحقیقات خارجی، مانند هلسن و ماتیکانن^۱ (۲۰۱۳)، هاست و مهاری^۲ (۲۰۱۶) و لما و همکاران (۲۰۱۷) به فراوانی استفاده شده و نتایج قابل قبولی نیز به همراه داشته است. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، برای ایجاد واحدهای پردازش، از الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه به منظور بهینه‌سازی مقیاس قطعه‌بندی تصویر استفاده شد. مقیاس پیشنهادی توسط این الگوریتم، از روی گراف نرخ تغییر - واریانس محلی^۳ (شکل ۳)، مقیاس ۱۵ با ضرایب شکل ۰/۴ و فشردگی ۰/۵ برای تصاویر

1- Hellesen & Matikainen

2- Hast & Mehari

3- Rate Of Change-Local Variance (ROC-LV)

لندست ۵ و ۷ و مقیاس ۱:۳۰ برای تصاویر لندست ۸ (شکل ۴) به دست آمد. پس از تهیه نقشه پوشش اراضی هر چهار مقطع زمانی، با استفاده از روش فازی شیء‌گرا، مساحت شش کلاس پوشش اراضی (آب، اراضی بایر، جنگل، مرتع درجه ۱، مرتع درجه ۲ و مسکونی) به دست آمد و نقشه تغییرات پوشش اراضی استخراج شد. به منظور مقایسه بهتر تغییرات رخ داده در این چهار دوره (جدول ۲)، آورده شده است که نشان می‌دهد، تغییرات ایجاد شده در همه کاربری‌ها به طور یکسان صورت نگرفته است و بیشترین تغییرات در زمین‌های بایر (۰/۷) رخ داده است. در طی سه دهه اخیر، شهرستان کلپیر، با رشد سریع ساخت و ساز و گسترش مراکز سکونت‌گاهی مواجه بوده است؛ به گونه‌ای که درصد کاربری انسان‌ساخت از ۰/۹۸ کیلومتر مربع مجموع مساحت منطقه در سال ۱۹۹۰ به ۲/۸۸ کیلومتر مربع مجموع مساحت در سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است.

بر اساس بررسی‌ها، تغییرات کاربری اراضی ایجاد شده، به طور معمول با اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی همراه بوده است. در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷، روند کاهش در اراضی با پوشش جنگلی و مرتعی درجه ۱ مشهود بوده و منطقه، شاهد افزایش اراضی مرتعی درجه ۲، بایر و اراضی مسکونی است که روند کلی تخریب در منطقه را نشان می‌دهد. در مدت ۲۷ سال، اراضی جنگلی به میزان ۵/۱٪ معادل ۱۰۷ کیلومتر مربع کاهش داشته است. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۸۶) و زبردست و همکاران (۱۳۸۹) نیز در مطالعات خود، به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. عوامل زیادی در تغییر پوشش جنگلی در منطقه مؤثر هستند که از عمده این عوامل، افزایش جمعیت و مراکز سکونت‌گاهی، هجوم مردم به قسمت‌های پایین بند جنگل‌ها، برای اهداف خوش‌نشینی و توریستی و مستعد بودن این اراضی برای تبدیل به زمین‌های کشاورزی و مراتع برای چرای دام را می‌توان نام برد. لازم به ذکر است که زمین‌های بایر، بخش عمده کاربری منطقه را تشکیل می‌دهد که بیانگر وضعیت بد منطقه از نظر زیست‌محیطی است؛ بنابراین، ضروری است که گسترش اراضی ساخته شده در این شهرستان، با برنامه‌ریزی و نظارت متخصصان صورت گیرد تا از تخریب بیشتر و غیر اصولی محیط‌زیست طبیعی تا حد امکان جلوگیری شود.

در پژوهش حاضر، افزایش دقت طبقه‌بندی تا ۱۰۰٪ در برخی کلاس‌ها و دقت بالای ۹۰٪ در کل طبقه‌بندی‌ها به دست آمد که نشانگر قابلیت بالای روش فازی شیء‌گرا در مطالعات پوشش اراضی است. مقدار افزایش صحت در روش مبتنی بر طبقه‌بندی شیء‌گرا بر اساس الگوریتم فازی تا حد زیادی به انتخاب پارامترهای مناسب برای طبقه‌بندی و به کارگیری الگوریتم مناسب برای به دست آوردن درجه عضویت بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل دستیابی به دقت بالا در این روش، بررسی درجه عضویت پارامترهای مؤثر در طبقه‌بندی و استفاده از پارامترهای دارای بیشترین درجه عضویت در کنار الگوریتم پیش‌بینی مقیاس بهینه است.

به هر جهت، با توجه به اثرات نامطلوب متعددی که از روند تغییرات پوشش اراضی به‌ویژه از بین رفتن سطوح جنگلی بر شهرستان کلپیر تحمیل می‌شود، در صورتی که اقدامات پیشگیرانه مناسبی صورت نگیرد، در سال‌های آتی، جنگل‌ها و مرتع درجه ۱ کاهش چشمگیری خواهند داشت که به برنامه‌ریزی صحیح و سیاست‌گذاری کارآمد نیاز دارد.

نتیجه‌گیری

شناسایی و کشف تغییرات پوشش اراضی می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان کمک کند تا عوامل مؤثر در تغییر کاربری و پوشش اراضی را شناسایی کرده و برای کنترل آنها برنامه‌ریزی مفیدی داشته باشند. برای همین، نقشه‌های با دقت و سرعت بالا لازم است و روش‌های پردازش شیء‌گرا، این امکان را با دقت خیلی بالا محقق می‌سازد. نتایج این پژوهش، افزون بر اینکه دقت و کارآمدی بالای پردازش شیء‌گرا را در برآورد پوشش اراضی

به‌ویژه پوشش جنگلی اثبات کرد، تخریب اراضی جنگلی و رشد زمین‌های بایر و مسکونی را نیز به وضوح نشان داد به طوری که در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷، شاهد روند کاهشی اراضی با پوشش جنگلی و مرتعی درجه ۱ و از سوی دیگر، اراضی مرتعی درجه ۲، بایر و اراضی مسکونی افزایش یافته که بیانگر روند کلی تخریب در منطقه از طریق جایگزین شدن مراتع درجه ۱ و جنگلی توسط سایر کاربری‌ها چون مرتع درجه ۲ و اراضی بایر و مسکونی است. در مدت ۲۷ سال، اراضی جنگلی در این شهرستان به میزان ۵/۱٪ معادل ۱۰۷ کیلومتر مربع کاهش داشته است. عوامل زیادی در تغییر پوشش جنگل در منطقه مؤثر هستند که از عمده این عوامل، افزایش مراکز سکونت‌گاهی، تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن به زمین‌های کشاورزی را می‌توان نام برد. در بین کاربری‌های مختلف، بیشترین تغییرات (۰/۷٪) مربوط به کلاس اراضی بایر می‌شد. در این پژوهش، مشخص شد که تنظیم پارامترهای مقیاس و بهینه‌سازی آن با استفاده از ابزار تخمین مقیاس بهینه در بالا بردن میزان دقت نتایج به دست آمده مؤثر است. با استفاده از الگوریتم برآورد بهینه مقیاس، یک روش علمی برای برآورد بهترین مقیاس و شاخص‌هایی نظیر ضریب شکل و فشردگی که بیشتر تجربی و با آزمون خطا انتخاب می‌گردید، ارائه شد. با اعمال این ضریب‌ها، افزایش دقت طبقه‌بندی تا ۱۰۰٪ در برخی کلاس‌ها و دقت بالای ۹۰٪ در کل طبقه‌بندی‌ها به دست آمد. دقت نتایج به دست آمده در این مطالعه نشانگر این موضوع است که روش اعمال شده، می‌تواند ضمن شناسایی دقیق تغییرات پوشش اراضی در طول زمان، روند تخریب در عرصه‌های طبیعی را به صورت کمی و با دقت بالا بیان نماید؛ بنابراین، با توجه به تغییرات پوشش اراضی در بازه مورد مطالعه، می‌توان بیان کرد که در محدوده مورد مطالعه، اراضی بایر و مسکونی و مرتع درجه ۲ افزایش داشته‌اند و با فناوری سنجش از دور و تکنیک‌های شیء‌گرا، امکان آشکارسازی تغییرات کاربری‌ها با دقت قابل قبول وجود دارد.

منابع

- ارجمند، بابک؛ ریاحی بختیاری، حمیدرضا (۱۳۹۵) ارزیابی طبقه‌بندی شیء‌گرای قانون‌مبنا و الگومبنا به منظور استخراج جاده‌های کوهستانی از تصاویر ماهواره‌ای، مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، ۷ (۲)، صص. ۸۷-۹۸.
- بابایی، رقیه (۱۳۹۵) ارزیابی تغییرات کاربری اراضی زراعی با پردازش تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: دشت مغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، گرایش مطالعات آب‌و‌خاک، استاد راهنما: علی‌اکبر رسولی، دانشگاه تبریز، تبریز.
- رضایی بنفشه، مجید؛ رستم‌زاده، هاشم؛ فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۸۶) بررسی و ارزیابی روند تغییر سطوح جنگل با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی جنگل‌های ارسباران ۱۹۸۷-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۹ (۶۲)، صص. ۱۵۹-۱۴۳.
- زبردست، لعبت؛ جعفری، حمیدرضا؛ باده‌بان، ضیاءالدین؛ عاشق معلا، مریم (۱۳۸۹) ارزیابی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه حفاظت‌شده ارسباران در فاصله زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱ (۱)، صص. ۳۳-۲۳.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ شهایی، هزار؛ سیفی، هوشنگ (۱۳۹۵) شناسایی پهنه‌های مستعد توفان‌های نمکی دریاچه ارومیه با استفاده از پردازش فازی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)، ۳ (۳)، صص. ۲۸۴-۲۶۹.
- وحیدی، محمدجواد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ فاخری فرد، احمد؛ صادقی، سید حمیدرضا؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ ولیزاده کامران، خلیل (۱۳۹۴) بررسی تغییرات پوشش کاربری اراضی حوضه آبریز لیقوان در استان آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی، ۱۵ (۴۹)، صص. ۷۵-۱۰۰.

- Baatz, M., Benz, U., Dehghani, S., Heynen, M., Hölthje, A., Hofmann, P., Lingenfelder, I., Mimler, M., Sohlbach, M., Weber, M., Willhauck, G. (2004) **eCognition Professional User Guide 4**. München: Definiens Imaging GmbH.
- Benz, U., C; Hofmann, P; Willhauck, G; Lingenfelder, I; Heynen, M (2004) Multi-Resolution, Object-Oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GISready Information, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 85 (3-4), pp. 239-258
- Blaschke, T. (2010) Object Based Image Analysis for Remote Sensing, **ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing**, 65 (1), pp. 2-16.
- Campbell J. B., Wynne, R. H. (1996) **Introduction to Remote Sensing**, 3rd ed. London: Taylor and Francis Ltd.
- Chen, M., Su, W., Li, L., Zhang, CH., Yue, A., Li, H. (2009) Comparison of Pixel-Based and Object-Oriented Knowledge-Based Classification Methods Using SPOT5 Imagery, **WSEAS Transactions on Information Science and Applications**, 6 (3), pp. 477-489.
- Congalton, R. G. (1991) A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data, **Remote Sensing of Environment**, 37 (1), pp. 35-46.
- DeKok, R., Schneider, T., Baatz, M., & Ammer, U. (1999) Object Based Image Analysis of High Resolution data in the Alpine Forest Area. In Joint Workshop for ISPRS WG I/1, I/3 AND IV/4, **Sensors and Mapping from Space**, Hanover, Germany, pp. 27-30.
- Drăguț, L., Csillik, O., Eisank, C., Tiede, D. (2014) Automated Parameterisation for Multi-Scale Image Segmentation on Multiple Layers, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 88, pp. 119-127.
- Drăguț, L., Tiede, D., Levick, S. R. (2010) ESP: a Tool to Estimate scale Parameter for Multiresolution Image Segmentation of Remotely Sensed Data, **International Journal of Geographical Information Science**, 24 (6), pp. 859-871.
- Gao, Y., Mas, J. F., Kerle, N., Navarrete Pacheco, J. A. (2011) Optimal Region Growing Segmentation and its Effect on Classification Accuracy, **International journal of remote sensing**, 32 (13), pp. 3747-3763.
- Gao, Y., Mas, J. F., Navarrete, A. (2009) The Improvement of an Objectoriented Classification Using Multi-Temporal MODIS EVI Satellite Data, **International Journal of Digital Earth**, 2 (3), pp. 219-236.
- Hast, I., Mehari, A. (2016) **Automating Geographic Object-Based Image Analysis and Assessing the Methods Transferability: A Case Study Using High Resolution Geografiska SverigedataTM Orthophotos**, Faculty of Engineering and Sustainable Development Department of Industrial Development, IT and Land Management.
- Hellesen, T., Matikainen, L. (2013) An Object-Based Approach for Mapping Shrub and Tree Cover on Grassland Habitats by Use of LiDAR and CIR Orthoimages, **Remote Sensing**, 5 (2), pp. 558-583.
- Hoffmann, A., Van der Vegt, J. W. (2001) New Sensor Systems and New Classification Methods: Laser- and Digital Camera-Data Meet Object-Oriented Strategies, **GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme**, 6, pp. 18-23.
- Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A., Scholten, H. J. (2007) **Modelling Land-use Change: Progress and Applications**, Springer.
- Lausch, A., Herzog, F. (2002) Applicability of Landscape Metrics for the Monitoring of Landscape Change: Issues of Scale, Resolution and Interpretability, **Ecological Indicator**, pp. 3-15.
- Lees, B. (2008) The spatial analysis of spectral data. Extracting the neglected data, **Applied GIS**, 2 (2), pp. 4.1-4.13.
- Lemma, H., Frankl, A., Poesen, J., Adgo, E., Nyssen, J. (2017) Classifying Land Cover from an Object-Oriented Approach-Applied to LANDSAT 8 at the Regional Scale of the Lake Tana Basin (Ethiopia), **In EGU General Assembly Conference Abstracts**, 19, p. 3526.
- Lindquist, E. J., D'Annunzio, R. (2016) Assessing Global Forest Land-Use Change by Object-Based Image Analysis, **Remote Sensing**, 8 (8), p. 678. <https://doi.org/10.3390/rs8080678>.
- Oruc, M., Marangoz, A. M., Buyuksalih, G. (2004) Comparison of Pixel-Based and Object-Oriented Classification Approaches Using Landsat-7 ETM Spectral Bands, In Proceedings of XX

- ISPRS Congress** (p 5).
- Pal, M., Mather, P. M. (2005) Support Vector Machines for Classification in Remote Sensing, **International Journal of Remote Sensing**, 26 (5), pp. 1007-1011.
- Polychronaki, A., Gitas, I. Z. (2012) Burned Area Mapping in Greece Using SPOT-4 HRVIR Images and Object-Based Image Analysis, **Remote Sensing**, 4 (2), pp. 424-438.
- Rego, L. F. G., Koch, B. (2003) Automatic Classification of Land Cover with High Resolution Data of the Rio De Janeiro City Brazil. Comparison between Pixel and Object Classification, [online] Available at: http://www.definiens.com/documents/publications_earth2003.php Accessed 9
- Schwarz, M., Steinmeier, C., Waser, L. (2001) Detection of Storm Losses in Alpine Forest Areas by Different Methodic Approaches Using High-Resolution Satellite Data, **In Proceedings of the 21st earsel symposium: Observing our Environment from Space: New Solutions for a New Millennium**, pp. 14-16.
- Singh, A. (1989) Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data. **International Journal of Remote Sensing**, 10, pp. 989-1003.
- Volschenk, T., Fey, M. V., Zietsman, H. L. (2005) **Situation Analysis of Problems for Water Quality Management in the Lower Orange River Region with Special Reference to the Contribution of the Foothills to Salinisation**, Pretoria, Water Research Commission.
- Whiteside, T., Ahmad, W. (2005) A Comparison of Object-Oriented and Pixel-Based Classification Methods for Mapping Land Cover in Northern Australia, In Proceedings of SSC2005 Spatial Intelligence, Innovation and Praxis, **The national biennial Conference of the Spatial Sciences Institute**, pp. 1225-1231.
- Willhauck, G., Schneider, T., De Kok, R., Ammer, U. (2000) Comparison of Object Oriented Classification Techniques and Standard Image Analysis for the Use of Change Detection between SPOT Multispectral Satellite Images and Aerial Photos, **In Proceedings of XIX ISPRS congress**, 33, pp. 35-42.
- Woodcock, C. E., Strahler, A. H. (1987) The Factor of Scale in Remote Sensing, **Remote sensing of Environment**, 21 (3), pp. 311-332.
- Zhang, H., Li, Q., Liu, J., Du, X., Dong, T., McNairn, H., Shang, J. (2017) Object-Based Crop Classification Using Multi-Temporal SPOT-5 Imagery and Textural Features with a Random Forest Classifier, **Geocarto International**, pp. 1-19. DOI: 10.1080/10106049.2017.1333533.