



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره سوم، ۱۳۹۸
۲۹-۴۹

http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.15753.3093

ارائه مدل نیمه خودکار مبتنی بر تحلیل شیء‌گرا به منظور تهیه نقشه پراکنش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ليقوان)

* پناه محمدی^۱، عباس احمدی^۲، بختیار فیضی‌زاده^۳، علی‌اصغر جعفرزاده^۴ و مهدی رحمتی^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ^۲ دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ^۳ استادیار گروه سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، ^۴ استاد گروه علوم خاک، دانشگاه تبریز، ^۵ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه مراغه
تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: کشور ایران به دلیل فرارگیری در ناحیه خشک و نیمه‌خشک، همواره متأثر از ناپایداری دامنه‌ای و فرسایش، به‌ویژه فرسایش خندقی است. این شکل فرسایش در نقاط مختلف ایران و به‌طور مستمر در طی سالیان رخ داده و ضمن فرسایش و انتقال حجم بالای رسوب، سبب تخریب جاده‌ها، تأسیسات، مراتع، دامنه‌ها و غیره شده است که این موضوع شناسایی مناطق پرخطر و تهیه نقشه‌های حساسیت را ضروری می‌نماید. طی سال‌های اخیر پردازش تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان روشی پیشرفته و با هدف افزایش دقت و صرفه‌جویی در وقت و هزینه مورد استفاده گسترده پژوهشگران قرار گرفته است. روش تحلیل شیء‌گرای تصاویر یکی از مهم‌ترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است که در آن بر اساس ویژگی‌های طیفی، شکلی و زمینه‌ای و با استفاده از دانش کارشناس، نسبت به شناسایی عوارض اقدام می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، حوضه ليقوان به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های مهم آبی‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی جهت مطالعه انتخاب و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (سال ۲۰۱۶) با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متری جهت پردازش و شناسایی خندق‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر مذکور با استفاده از نرم‌افزار eCognition مورد پردازش قرار گرفته و با کاربرد انواع الگوریتم‌های مختلف نسبت به طراحی مدلی نیمه‌خودکار مبتنی بر تحلیل شیء‌گرا اقدام شد. درنهایت به‌منظور ارزیابی دقت مدل، خندق‌های شناسایی‌شده به‌صورت نقشه خروجی گرفته و با انتقال به نرم‌افزار ArcGIS و مطابقت دادن با نقشه واقعیت زمینی و تشکیل ماتریس خطا، دقت تولیدکننده، دقت کاربر و ضریب کاپا برای هر کدام از الگوریتم‌ها محاسبه گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصله نشان داد که الگوریتم‌های تراکم و ضریب فشردگی به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت تولیدکننده بوده (دقت تولیدکننده به‌ترتیب برابر با ۸۸ و ۷۸) در حالی‌که بر اساس ضریب کاپا الگوریتم عدم تقارن

* مسئول مکاتبه: panah.m83@gmail.com

بیش‌ترین دقت و صحت را در مقایسه با سایر روش‌ها داشته (کاپا برابر ۰/۹۱) و بعد از آن الگوریتم‌های شاخص شکل و تراکم به ترتیب با ضریب کاپا برابر ۰/۸۹ و ۰/۸۵ دارای دقت قابل‌قبولی برای طبقه‌بندی و شناسایی خندق‌ها ارائه دادند.

نتیجه‌گیری: در پژوهش حاضر با استفاده از خصوصیات طیفی و هندسی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و پردازش شی‌گرا در محیط نرم‌افزار eCognition مدلی نیمه‌خودکار برای شناسایی خندق ارائه شد. استفاده از روش‌های شی‌گرا به دلیل افزایش دقت و صحت طبقه‌بندی و شناسایی عوارض و پدیده‌های سطحی، می‌تواند به‌عنوان راهگشای مناسبی در تحقیقات آتی خاکشناسی و پدیده‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های شی‌گرا، پردازش شی‌گرا، طبقه‌بندی، قطعه‌بندی

مقدمه

بخش عمده‌ای از سرزمین ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته است که همواره تحت‌تأثیر ناپایداری دامنه‌ای و فرسایش است (۲۴). در این میان یکی از شدیدترین نوع فرسایش‌ها، فرسایش خندقی^۱ است که تحت‌تأثیر ناپایداری سطحی خاک و عدم پوشش گیاهی و محافظ مناسب، در اثر تمرکز رواناب ناشی از بارندگی رخ داده و ضمن فرسایش خاک و انتقال حجم زیادی از رسوب، سبب تخریب جاده‌ها، مراتع، دامنه‌ها و غیره می‌شود (۲۱). بنابراین تهیه نقشه‌های حساسیت و خطر فرسایش خندقی به‌منظور شناسایی مناطق پرخطر، ضروری است. بسیاری از مطالعات انجام‌شده در این زمینه در ایران، به‌صورت مطالعات میدانی و با صرف وقت و هزینه بالا صورت گرفته (۱۸) و در برخی موارد به‌ویژه در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور انجام این امر امکان‌پذیر نیست. در سال‌های اخیر استفاده ترکیبی از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تفسیر بصری عکس‌های هوایی به همراه مطالعات میدانی جهت تهیه نقشه پراکنش فرسایش و اشکال آن گسترش یافته است (۱۳ و ۱۵). تصاویر ماهواره‌ای با توجه به این‌که با صرف وقت و

هزینه کم‌تر، امکان ارزیابی مناطق وسیع تحت‌تأثیر فرسایش را فراهم می‌آورند، به‌عنوان جانشین بسیار مناسبی جهت شناسایی تغییرات سطح زمین و فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور^۲، به‌صورت گسترده‌ای در فراهم آوردن اطلاعات مرتبط با مدیریت آبخیزها، به‌کار گرفته شده است (۱ و ۱۷). در کنار این امر پیشرفت‌های خوب در علوم رایانه و هوش مصنوعی، منجر به توسعه تکنیک‌های جدید مانند تحلیل شی‌گرا^۳، به‌منظور استخراج خودکار اشیاء طبیعی از تصاویر ماهواره‌ای، شده است (۵).

روش تحلیل شی‌گرا یا پردازش شی‌گرای تصاویر^۴ یکی از روش‌های طبقه‌بندی^۵ و از مهم‌ترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است. در این روش بر اساس ویژگی‌های طیفی، شکلی و زمینه شیء (فرسایش خندقی) و با استفاده از دانش کارشناسی، نسبت به شناسایی عوارض موردنظر اقدام می‌شود (۵).

- 2- Remote sensing technique
- 3- Objectual analysis
- 4- Object Based Image Analysis OBIA
- 5- Classification

- 1- Gully Erosion

افزایش می‌یابد (۱۹). فیضی‌زاده و هلالی (۲۰۰۹) نقشه کاربری اراضی استان آذربایجان غربی را با دو روش طبقه‌بندی پیکسل پایه (الگوریتم حداکثر احتمال) و شی‌گرا (الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه) و با استفاده از تصاویر سنجنده HDR ماهواره SPOT-5 تهیه کردند. نتایج مربوط به صحت کلی طبقه‌بندی‌های آنان نشان داد که روش طبقه‌بندی شی‌گرا با افزایش دقت معادل ۷٪ در هر دو شاخص صحت کلی و کاپا از دقت بالاتری برخوردار است (۱۰). جعفری و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر SPOT-5 مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ و با طراحی مدل نیمه‌خودکار شی‌گرا نسبت به شناسایی و کلاس‌بندی زمین‌لغزش‌ها و واریزه‌های منطقه‌ای در شمال تایوان اقدام نمودند. آنان در مطالعه خود علاوه بر ویژگی‌های طیفی از شاخص‌های گیاهی $NDVI^3$ و $GNDVI^4$ نیز استفاده کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که روش شی‌گرا زمین‌لغزش‌های سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ را به ترتیب با دقت برابر با ۸۴/۹۷ و ۸۴/۱۹ درصد شناسایی کرد (۱۴). فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) طی پژوهشی نسبت به مقایسه تطبیقی الگوهای بافت‌های مدرن و فرسوده شهری با استفاده از فرآیند پردازش شی‌گرا اقدام و نتیجه گرفتند که استفاده از پارامترهای شی‌گرا به‌خوبی امکان شناسایی و طبقه‌بندی کاربری اراضی و مقایسه الگوهای بافت شهری را فراهم می‌کند (۹). برادسکی و بروکا (۲۰۰۶)، با استفاده تحلیل شی‌گرایی فازی نسبت به تهیه نقشه خاک لخت اقدام کردند. آن‌ها با مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی، با نقشه خاک موجود از منطقه مورد مطالعه، بیان کردند که نتایج به‌دست آمده با نقشه موجود در ۷۲ درصد موارد مطابقت دارد (۵). القریشی و همکاران (۲۰۱۶) به‌منظور استفاده از

به‌منظور استفاده بهینه از این تکنیک، بایستی اطلاعات جامعی در خصوص ویژگی‌های عارضه موردنظر داشته و ویژگی‌هایی که می‌توان از آن‌ها در شناسایی آن عارضه بر روی تصاویر ماهواره‌ای استفاده کرد، شناسایی شوند. توانایی روش‌های کلاسیک در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای (روش پیکسل‌پایه^۱) به‌ویژه در مواقعی که اشیاء متفاوت، اطلاعات طیفی مشابهی دارند محدود بوده و این امر موجب کاهش صحت طبقه‌بندی این روش‌ها است؛ اما در روش طبقه‌بندی شی‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی^۲ شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود (۱۱). استفاده از تکنیک تحلیل شی‌گرا در شناسایی فرسایش خندقی، در مقایسه با روش پیکسل‌پایه دارای برتری است؛ زیرا در روش پیکسل‌پایه مقادیر عددی مربوط به یک سلول رقمی (DN) نمی‌تواند به‌خوبی بیانگر فرایندهای ژئومورفیکی مانند فرسایش خندقی باشد، در حالی‌که در روش شی‌گرا هر کدام از اشیاء (گروهی از سلول‌های همگن)، با فراهم آوردن اطلاعات خندق با استفاده از تحلیل تصاویر، به‌صورت شکل، اندازه و زمینه می‌توانند سبب بهبود فرآیند شناسایی و طبقه‌بندی خندق‌ها شوند (۱۶).

موسوی و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور تهیه نقشه موقعیت مکانی بارخان‌های منطقه شهداد کرمان از تکنیک تحلیل شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای IRS استفاده کردند. آن‌ها با مقایسه دو روش پیکسل‌پایه و شی‌گرا، نتیجه گرفتند که دقت شناسایی بارخان‌های منطقه در روش شی‌گرا نسبت به روش پیکسل‌پایه

3- Normalized difference vegetation index
4- Green Normalized Difference Vegetation Index

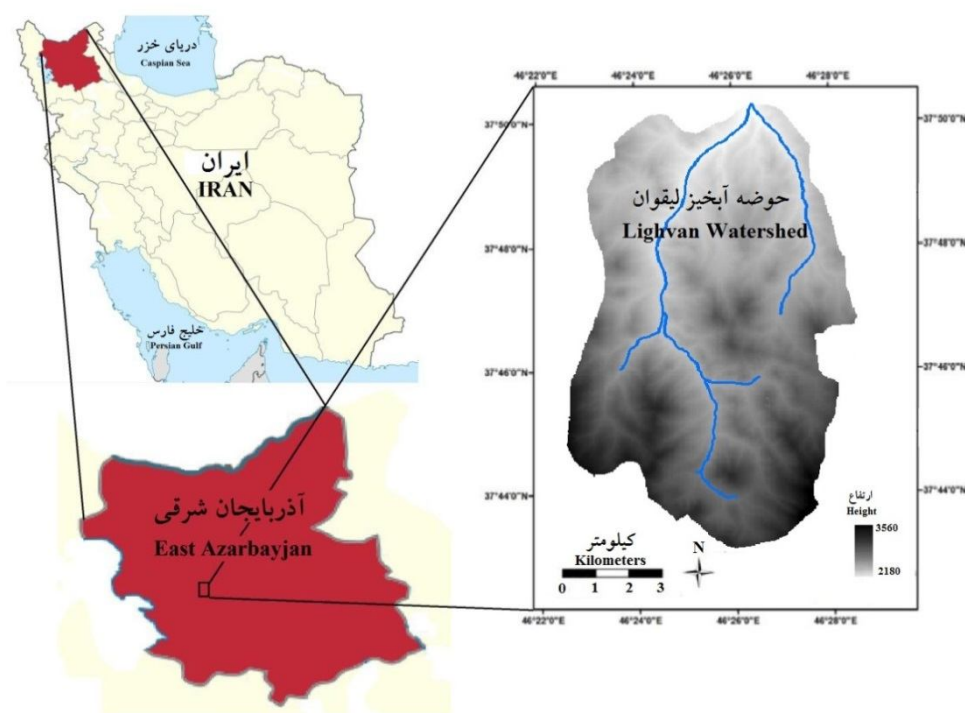
1- Pixel base method
2- Segmentation

جمع‌بندی حاصله از بررسی مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک تحلیل شیء‌گرا در شناسایی تغییرات سطح زمین، روشی نوین محسوب می‌شود که به‌ویژه در سال‌های اخیر مورد استفاده بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. همچنین با توجه به این‌که در پژوهش‌های انجام‌شده در ایران، به‌طور معمول با مطالعات میدانی و با صرف وقت و هزینه بالا، نسبت به شناسایی و تهیه نقشه پراکنش خندق‌ها اقدام می‌شود، لزوم ارائه و استفاده از تکنیک‌های نوین در این زمینه که از سرعت و دقت مناسبی برخوردار هستند، ضروری است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی دقت و صحت روش شیء‌گرا در تعیین پدیده فرسایش خندقی در زمین منظر است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه ليقوان از زیرحوضه‌های مهم آجی‌چای بوده که با وسعتی معادل ۷۶ کیلومترمربع و محیط ۴۲/۱۳ کیلومتر در استان آذربایجان شرقی در دامنه شمالی کوه سهند مابین طول جغرافیایی ۲۵' ۴۶° تا ۲۶' ۴۶° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۵' ۳۷° تا ۵۰' ۳۷° شمالی گسترده شده است. بلندترین نقطه حوضه با ارتفاع ۳۶۲۰ متر از سطح دریای آزاد در جنوب شرقی ارتفاعات سهند و پایین‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۱۴۰ متر در محل ایستگاه هیدرومتری ليقوان (طول جغرافیایی " ۵۶/۴۵ ۲۵' ۴۶° شرقی و عرض جغرافیایی " ۵۷/۰۹ ۳۷° ۴۹' شمالی) واقع شده است (شکل ۱).

قابلیت‌های فناوری سنجش‌ازدور در شناسایی و طبقه‌بندی، روش‌های شیء‌گرا کارآمد محسوب شده و می‌تواند بهتر از پردازش پیکسل‌پایه جوابگوی نیازهای کاربران و پژوهشگران باشد (۴). در اغلب مواردی که نیازمند تفکیک فضایی و مکانی بیش‌تر است، روش‌های مبتنی بر شیء نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی ترجیح داده‌شده و بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند، زیرا در استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا دارای عملکرد بهتری هستند (۸). گوکسل و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که از اوایل دهه ۱۹۷۰ الگوریتم‌های طبقه‌بندی متعددی برای پردازش تصاویر دیجیتال در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در این بین الگوریتم‌های مبتنی بر شیء‌گرا نسبت به سایر الگوریتم‌ها از دقت و صحت کاربردی بیش‌تر برخوردار می‌باشند (۱۲). در همین ارتباط نتایج پژوهش‌های تولگا و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد علی‌رغم این‌که تمامی روش‌های طبقه‌بندی پیکسل‌پایه انتخاب‌شده برای پهنه‌بندی محصولات کشاورزی دارای دقت مناسبی بودند اما روش شیء‌گرا هم به لحاظ دقت کلی و هم ضریب کاپا از دقت بالاتری نسبت به روش‌های پیکسل‌پایه برخوردار است (۲۲). دومنیک و همکاران (۲۰۱۸) نیز با تجزیه و تحلیل تصاویر چندمنظوره اقدام به پایش و نظارت پوشش گیاهی آب‌های کم‌عمق با استفاده از روش پردازش شیء‌گرا نمودند که دقت کلی و ضریب کاپا حاصل از پژوهش آن‌ها به ترتیب برابر ۹۲٪ و ۰/۸۸ بود. این نتایج نشان‌دهنده رویکرد عالی روش شیء‌گرا در پردازش تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (۶).



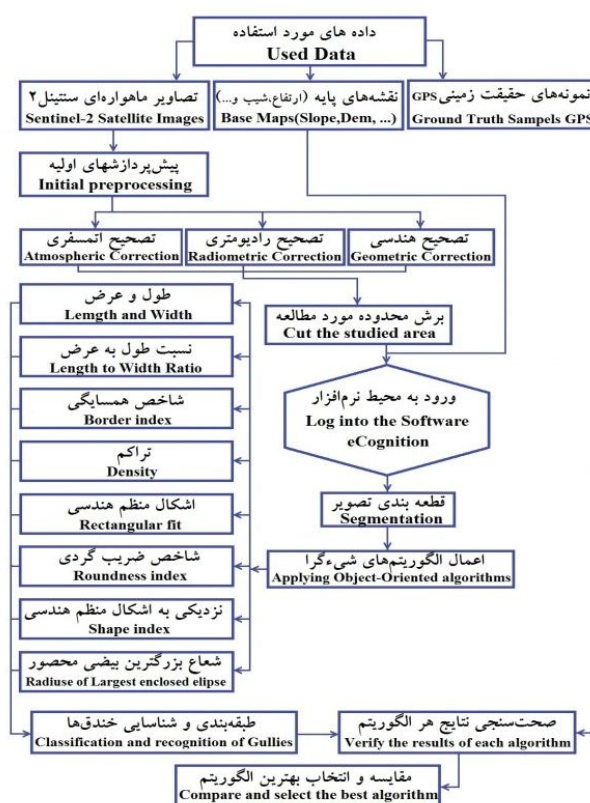
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان شرقی.

Figure 1. Geographical location of the study area in Iran, the East Azarbaijan province.

متری، قدرت تفکیک طیفی ۱۳ بانندی، قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۲ بیتی و قدرت تفکیک زمانی ۱۰ روزه مأموریت تصویربرداری از سطح زمین را بر عهده دارد.

داده‌های مورد استفاده: داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل نقشه‌های پایه مطالعات خاک‌شناسی (نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی) و تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲^۱ مربوط به تاریخ ۲ شهریورماه سال ۹۵ (۲۳ اوت ۲۰۱۶) است که از سایت Copernicus دریافت و پس از انجام پیش‌پردازش‌های اولیه (تصحیحات هندسی، رادیومتری و اتمسفری) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ماهواره سنتینل-۲ ماهواره خورشیدآهنگ^۲ است که به صورت پوش‌بروم^۳ تصویربرداری می‌کند. این ماهواره در محدوده طیف مرئی، مادون قرمز نزدیک و میانی، به صورت چندطیفی، با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰

- 1- Sentinel-2
- 2- Sun-Synchronous Orbit
- 3- Pushbroom



شکل ۲- نمودار جریان پژوهش.

Figure 2. Research process flowchart.

قطعه‌بندی^۱ و طبقه‌بندی^۲ که در ادامه تشریح می‌شوند تشکیل شده است.

الف: قطعه‌بندی: قطعه‌بندی یا سگمنت‌سازی تصویر ماهواره‌ای اولین گام در تحلیل شیء‌گرا محسوب می‌شود که هدف از آن تقسیم‌بندی تصویر به اشیاء یا مناطقی با ویژگی‌های طیفی و ریخت‌شناسی همگن است. در این فرآیند پیکسل‌های تصویر بر اساس تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان آن‌ها از نظر ویژگی‌های طیفی و شکلی و با در نظر گرفتن درجه‌ای از ناهمگنی مجاز در هر قطعه، به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند که این قطعه‌ها یا شیء‌های ساخته‌شده در گام بعدی به منظور شناسایی عوارض مورد نظر (خندق)، طبقه‌بندی می‌شوند.

شناسایی خندق‌ها با روش تحلیل شیء‌گرا: شکل ۲ نمودار جریانی و مراحل انجام پژوهش را نمایش می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از بازدیدهای میدانی و بررسی منطقه و همچنین تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر Google Earth، تعداد ۱۰۰ نمونه خندق شناسایی و اطلاعات جغرافیایی آن‌ها ثبت شد که از این تعداد، ۶۰ درصد داده‌ها (۶۰ خندق) جهت آموزش و ۴۰ درصد داده‌ها نیز (۴۰ خندق) جهت آزمون الگوریتم استفاده شد. در این پژوهش به منظور پردازش تصاویر از نرم‌افزار eCognition استفاده کرده و با طراحی مدل نیمه‌خودکار مبتنی بر تحلیل شیء‌گرا نسبت به شناسایی خندق‌های منطقه اقدام شد. روش تحلیل شیء‌گرا از دو مرحله اصلی

1- Segmentation
2- Classification

از پارامترهای مؤثر بر قطعه‌بندی (مقیاس، شکل، فشردگی و غیره)، تصویر به‌دفعات قطعه‌بندی گردید.

ب: **طبقه‌بندی:** در مرحله طبقه‌بندی ویژگی‌های عوارض موردنظر، به‌صورت کمی بررسی شده و آستانه‌هایی برای تفکیک قطعه‌های عوارض موردنظر از قطعه‌های اطراف تعیین و تعریف می‌شود. سپس با انتخاب الگوریتم و کدنویسی در نرم‌افزار، فرایند طبقه‌بندی اجرا می‌شود. به‌منظور شناسایی و تفکیک قطعاتی که خندق می‌باشند، قطعه‌های ایجادشده، بر پایه ساختار سلسله‌مراتبی کدهای نوشته‌شده در نرم‌افزار eCognition با تکنیک تحلیل شیء‌گرا، طبقه‌بندی می‌شوند.

در محیط نرم‌افزار eCognition با ورود تصویر ماهواره‌ای و نقشه‌های پایه، ابتدا نمونه‌های خندق آموزشی بر روی تصویر قطعه‌بندی شده مورد شناسایی قرار گرفته و ضمن بررسی آن‌ها، شاخص‌های مختلف مربوط به هر کدام از اشیاء متناظر با نمونه خندق‌های آموزشی جهت انتخاب بهترین شاخص برای طبقه‌بندی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. سپس با به‌کارگیری شاخص‌های انتخاب‌شده فرآیند طبقه‌بندی بر اساس آستانه‌های تعیین‌شده برای هر شاخص انجام گرفت. در نهایت جهت ارزیابی دقت هر کدام از شاخص‌های مورد استفاده برای طبقه‌بندی در این پژوهش و ارائه مدل نیمه‌خودکار برای شناسایی خندق‌ها، نمونه‌های آزمایشی به‌کار گرفته شد.

خصوصیات و شاخص محاسباتی شیء‌گرا
طول و عرض^۱: شاخص‌های طول و عرض یک شیء با استفاده از نسبت طول به عرض شیء و طبق رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شدند (۸).

قطعه‌بندی تابع پارامترهای مختلفی مانند مقیاس^۱، شکل^۲، رنگ^۳ و فشردگی^۴ است که بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این پارامترها در ویژگی‌های کلاس موردنظر برای استخراج از تصویر ماهواره‌ای، در فرایند سگمنت‌سازی اعمال می‌شوند (۷). ترکیب‌های وزنی مختلف پارامترهای مذکور، باعث می‌شوند که تصویر ماهواره‌ای به صورت‌های متفاوتی قطعه‌بندی شود.

در این پژوهش از روش قطعه‌بندی چند تفکیکی^۵ جهت استخراج نقشه ماهیت تغییرات استفاده شد. برای دستیابی به تعادل بین شاخص‌های قطعه‌بندی، باید ویژگی‌های طیفی و ساختاری عوارض موردتوجه قرار گیرد؛ زیرا که تعیین شاخص‌های لازم جهت قطعه‌بندی مناسب تصویر با روش چند مقیاسه، اغلب بر مبنای آزمون‌وخطا بوده و باید طی دفعات متعدد و با ترکیب‌های وزنی متفاوتی از پارامترهای مؤثر بر قطعه‌بندی، انجام شود. نکته مورد توجه در فرآیند قطعه‌بندی این است که دقت قطعه‌بندی به لحاظ تطابق مکانی با عوارض موردنظر، دقت نهایی طبقه‌بندی تصویر و فرایند شناسایی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد.

متناسب با داده‌های مورد بررسی و بر اساس قدرت تفکیک مکانی و طیفی، با استفاده از روش آزمون خطا در سطوح مختلف و ارزیابی نتایج، بهترین سطح قطعه‌بندی انتخاب شد. برای این منظور با انتخاب باندهای ۲ تا ۸ تصاویر ماهواره سنتینل-۲ و همچنین نقشه‌های رقومی ارتفاع، شیب، نقشه‌های پایه زمین‌شناسی و خاک‌شناسی منطقه به‌عنوان لایه‌های اصلی و اعمال فرایند ژئوکدینگ روی آن‌ها، طی فرایند آزمون‌وخطا، با ایجاد ترکیب‌های وزنی متفاوت

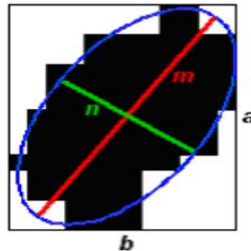
- 1- Scale
- 2- Shape
- 3- Color
- 4- Compactness
- 5- Multi Resolution Segmentation

6- Length and Width

$$\gamma_v^{BB} = \frac{(k_v^{bb})^2}{\#P_v} \quad (۴)$$

که در آن‌ها، $\#P_v$ تعداد کل پیکسل‌های موجود در P_v ، λ_1 و λ_2 فاقد ارزش عددی، γ_v^{EV} نسبت طول v مقادیر ویژه، γ_v^{BB} نسبت طول v جعبه محدودکننده، k_v^{bb} نسبت طول به عرض یک شیء تصویر و γ_v نسبت پر کردن محدوده جعبه است. نتیجه حاصل از هر دو روش مذکور مقایسه شده و نتیجه کوچک‌تر به‌عنوان شاخص نسبت طول به عرض انتخاب شد (۸).

عدم تقارن^۳: شاخص عدم تقارن طول نسبی شیء تصویر در مقایسه با یک چندضلعی منظم را توصیف می‌کند (شکل ۳). این شاخص بین صفر و یک متغیر است و هر چقدر اشیاء دارای تقارن بیشتری باشند، ارزش عددی این پارامتر کم‌تر خواهد بود (رابطه ۵).



شکل ۳- شاخص عدم تقارن.

Figure 3. Asymmetric index.

می‌کند. هر چقدر میزان ناهمواری بیشتر باشد، مقدار عددی این شاخص نیز بزرگ‌تر خواهد بود (۸). شاخص همسایگی به‌صورت نسبت بین طول مرز شیء تصویر و کوچک‌ترین مستطیل پیوستی محاسبه شده و مقدار آن بین ۱ تا بی‌نهایت متغیر است که ایده‌آل‌ترین حالت آن برابر یک است (رابطه ۶).

$$L = \sqrt{\#P_v \cdot \gamma_v} \quad (۱)$$

$$W = \frac{\#P_v}{\gamma_v} \quad (۲)$$

که در آن‌ها، $\#P_v$ تعداد کل پیکسل‌های موجود در P_v ، γ_v نسبت طول به عرض یک شیء تصویر و L و W به‌ترتیب شاخص طول و عرض شیء تصویر (متر) هستند که بین صفر تا بی‌نهایت متغیر است.

نسبت طول به عرض^۱: دو روش برای محاسبه و تقریب نسبت طول به عرض اشیاء تصویر وجود دارد: الف: نسبت طول به عرض برابر است با نسبت مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس به بزرگ‌ترین مقدار واقعی موجود در صورت کسر:

$$\gamma_v^{EV} = \frac{\lambda_1(v)}{\lambda_2(v)} \quad (۳)$$

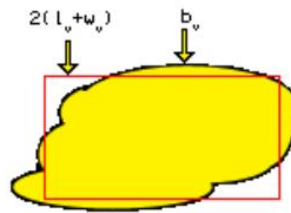
ب: محاسبه نسبت طول به عرض با استفاده از مرزهای جعبه محدودکننده شیء:

$$AS_i = \frac{\sqrt{\frac{1}{4}(\text{Var}X + \text{Var}Y)^2 + (\text{Var}XY)^2 - \text{Var}X \cdot \text{Var}Y}}{\text{Var}X + \text{Var}Y} \quad (۵)$$

که در آن، $\text{Var}X$ واریانس X ، $\text{Var}Y$ واریانس Y و AS_i شاخص عدم تقارن می‌باشد.

شاخص همسایگی^۳: این شاخص چگونگی یک شیء نسبت به شیء‌های همسایه را توصیف

- 1- Length/Width
- 2- Asymmetry
- 3- Border index



شکل ۴- شاخص همسایگی.

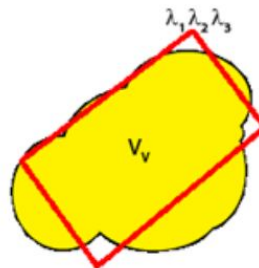
Figure 4. Border index.

استفاده از رابطه ۷ و از طریق تقسیم طول و عرض شیء بر تعداد کل پیکسل‌ها محاسبه شد (شکل ۵). این شاخص بین صفر تا ۱ متغیر بوده و هر چقدر تراکم تصویری اشیاء بیشتر باشد مقدار آن کوچک‌تر خواهد بود (۸).

$$B = \frac{b_v}{2(l_v + w_v)} \quad (6)$$

که در آن، b_v طول مرز شیء تصویر، l_v طول یک شیء تصویر، w_v عرض یک شیء تصویر v و B شاخص همسایگی است.

ضریب فشردگی^۱: این شاخص نسبت تراکم اشیاء تصویری را توصیف می‌کند. ضریب فشردگی با



شکل ۵- شاخص ضریب فشردگی.

Figure 5. Compactness.

محاسبه می‌کند. در نرم‌افزار eCognition متراکم‌ترین شکل یک مربع است (۸).

$$D = \frac{\sqrt{\#P_v}}{1 + \sqrt{\text{Var}X + \text{Var}Y}} \quad (8)$$

که در آن، $\sqrt{\#P_v}$ نسبت قطر یک جسم مربع با پیکسل‌های $\#P_v$ ، $\sqrt{\text{Var}X + \text{Var}Y}$ قطر بیضی و D تراکم است.

اشکال منظم هندسی^۲: این شاخص ویژگی منظم بودن اشیاء تصویری را توصیف می‌کند. به عبارت

$$C = \frac{4 * \pi * \text{Area}}{\text{Perimeter}^2} \quad (7)$$

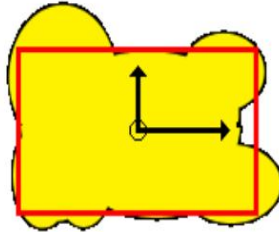
که در آن، Area مساحت (مترمربع)، Perimeter محیط (متر) و C ضریب شکل است.

تراکم^۳: این شاخص نحوه توزیع یک پیکسل از یک شیء تصویر در فضا را نشان می‌دهد. این شاخص چگالی یک شیء تصویر را با تقسیم تعدادی از پیکسل‌های تشکیل‌دهنده آن بر شعاع تقریبی آن شیء بر اساس ماتریس کوواریانس و با استفاده از رابطه ۸

3- Rectangular fit

1- Compactness
2- Density

دیگر نشان‌دهنده تشابه شیء تصویری از نظر اندازه و نسبت به مستطیل است (۸). به طوری که عدد صفر نشان‌دهنده عدم تناسب و عدد یک نشان‌دهنده یک مستطیل کامل است (شکل ۶).



شکل ۶- شاخص اشکال منظم هندسی.

Figure 6. Rectangular fit.

$$R = \varepsilon_v^{max} - \varepsilon_v^{min} \quad (10)$$

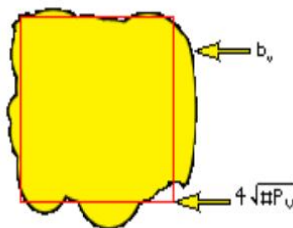
که در آن، ε_v^{min} و ε_v^{max} به ترتیب شعاع کوچک‌ترین بیضی پیوسته و شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور شده و R ضریب گردی است.

شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی^۲: این شاخص صافی مرز اشیاء تصویر را نشان می‌دهد و از طریق تقسیم طول مرز اشیاء تصویر بر چهار برابر ریشه دوم مساحت آن قابل محاسبه است (۸) محدوده این شاخص بین ۱ (حد ایده‌آل) تا بی‌نهایت متغیر بوده و طبق آن اشیائی دارای مرز صاف و نرم حداقل مقادیر عدد این شاخص را شامل خواهند شد (شکل ۷).

$$RF = \frac{\{ \#(x,y) \varepsilon P_v : \rho_v(x,y) \leq 1 \}}{\#P_v} \quad (9)$$

که در آن، $\rho_v(x,y)$ فاصله بیضوی در یک پیکسل و RF شاخص اشکال منظم هندسی است.

شاخص ضریب گردی^۱: این شاخص تشابه یک شیء تصویری به یک بیضی را نشان می‌دهد که به واسطه تفاوت بیضی پیوستی با بیضی محصور محاسبه می‌شود. در این شاخص شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور از شعاع کوچک‌ترین بیضی پیوستی کم می‌شود. این شاخص با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه شده و مقادیر عددی آن بین صفر (حالت ایده‌آل) تا بی‌نهایت تغییر می‌کند (۸).



شکل ۷- شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی.

Figure 7. Shape index.

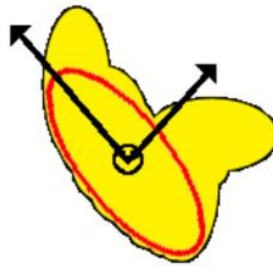
1- Roundness
2- Shape index

بیضی توصیف می‌کند که با استفاده از بیضی هم‌اندازه با مساحت شیء تصویری و بر اساس ماتریس کوواریانس محاسبه می‌شود و مقدار عددی آن برابر است با نسبت شعاع بیضی محصور به شعاع بیضی اصلی که در شکل ۸ نشان داده شده است (۸).

$$Sh_i = \frac{b_v}{\sqrt[4]{\#P_v}} \quad (11)$$

که در آن، b_v طول مرز اشیاء، $\sqrt[4]{\#P_v}$ مرز مربع با مساحت $\#P_v$ و Sh_i شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی می‌باشد.

شاخص شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور: این شاخص نحوه تشابه یک شیء تصویر را به یک



شکل ۸- شاخص شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور.

Figure 8. Radius of the largest enclosed ellipse.

کاربر، صحت کلی^۵ و ضریب کاپا^۶ مورد ارزیابی قرار گرفتند (۱۰).

ماتریس خطا: در نرم‌افزار eCognition ارزیابی صحت طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس خطا و بر اساس نقاط حقیقت زمینی بررسی می‌شود. در این روش فایل نمونه‌برداری که متشکل از ارزش‌های تمامی اشیاء و پیکسل‌های کلاس‌های تعریف شده است، با تصویر طبقه‌بندی شده حاصل از همان فایل تلافی داده شده و به این ترتیب امکان بررسی صحت طبقه‌بندی فراهم می‌گردد (۳).

خطاهای کاهش و افزایش: پارامتر خطای کاهش اشاره به آن دسته از اشیاء و نمونه‌هایی دارد که در فرایند تفسیر نتیجه در کلاس مورد نظر قرار نگرفته‌اند. همچنین خطای افزایشی نیز بیانگر آن دسته از اشیائی

$$RLEE = \varepsilon_v(x_0, y_0), \text{ where } (x_0, y_0) = \min \varepsilon_v(x, y), (x, y) \in P_v \quad (12)$$

که در آن، $\varepsilon_v(x, y)$ فاصله بیضی در یک پیکسل (x, y) است.

ارزیابی صحت نتایج: لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است. در این پژوهش به منظور بررسی دقت و صحت طبقه‌بندی، برداشت زمینی موقعیت نمونه‌های واقعیت زمینی بر اساس نمونه‌برداری‌های میدانی و بازدید صحرائی و ثبت اطلاعات جغرافیایی نمونه‌ها با دستگاه GPS انجام گرفت که این نمونه‌ها به عنوان داده‌های مرجع، با نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر مقایسه شده و با به‌کارگیری معیارهای ماتریس خطا^۴، خطاهای کاهش و افزایش^۲، دقت تولیدکننده و

4- Producers and Users Accuracy
5- Overall accuracy
6- Kappa coefficient

1- Radiuse of Largest enclosed ellipse
2- Error Matrix
3- Ommision and Commision error

طبقه‌بندی شده به کل نمونه‌های معلوم را نشان می‌دهد (۲۳).

ضریب کاپا: غالباً در کارهای تحقیقاتی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مورد توجه است، از شاخص کاپا استفاده می‌شود که نمونه‌های طبقه‌بندی شده نادرست را نیز مدنظر قرار می‌دهد. این ضریب یک تکنیک چندمتغیره گسسته‌ای است که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. مزیت ضریب کاپا نسبت به صحت کلی در این است که از مقادیر حاشیه‌ای (غیرقطری) ماتریس خطا نیز برای محاسبه دقت استفاده کرده و بنابراین به دقت قابل‌اعتمادتری می‌رسد (۲۳).

نتایج و بحث

با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از امتیازات مختلف پارامترها و به‌کارگیری الگوریتم چندمقیاسه، میزان تطابق قطعات ایجادشده با خندق‌های آموزشی ارزیابی و در نهایت متناسب‌ترین ابعاد شیء‌های تصویری با عوارض موجود در تصویر (جدول ۱)، به‌عنوان سطح قطعه‌بندی برای آشکارسازی تغییرات انتخاب گردید (شکل ۹).

است که جزء کلاس مدنظر نبوده و به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند (۲۰).

دقت تولیدکننده و کاربر: خطاهای کاهش و افزایشی به‌عنوان خطاهای نوع یک و دو در نظر گرفته می‌شوند که از آن‌ها به‌ترتیب برای محاسبه دقت تولیدکننده و دقت کاربر استفاده می‌شود. دقت تولیدکننده، احتمال این‌که سیستم طبقه‌بندی، شیء و یا نمونه را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد در صورتی‌که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. اما آنچه برای استفاده‌کنندگان مهم است دقت کاربر است. دقت کاربر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به‌عبارت دیگر دقت کاربر نسبت نمونه‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع نمونه‌های یک کلاس است (۲).

صحت کلی: یکی از خروجی‌های مهم و کاربردی جدول ماتریس خطا صحت کلی است که از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل نمونه‌ها به‌دست می‌آید. صحت کلی میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که نسبت نمونه‌های صحیح

جدول ۱- مقادیر و وزن پارامترها برای قطعه‌بندی تصاویر.

Table 1. Parameters values and weights for Segmentation.

پارامتر Parameter	مقیاس Scale	شکل Shape	فشرده‌گی Compactness	شیب Slope	مدل رقومی ارتفاع DEM	باندهای ۲ تا ۸ تصاویر سنتینل Bands 2 to 8 Sentinel images
وزن لایه‌ها Layer weight	50	0.7	0.3	0	0	1



شکل ۹- نمایش تصویر اصلی (الف) و تصویر قطعه‌بندی شده (ب).
Figure 9. Display of the original image (A) and the segmented one (B).

ویژگی‌های منتخب استخراج و سپس ویژگی بهینه از بین آن‌ها انتخاب گردید. بر این اساس ۴۰ ویژگی مختلف طیفی، مکانی، هندسی و بافت تعیین (جدول ۲) و با استفاده از ابزار FSS^۱ در نرم‌افزار eCognition و بر اساس نمونه‌های آموزشی، بهینه‌سازی و مؤثرترین ویژگی‌ها جهت طبقه‌بندی انتخاب شد. به دلیل استفاده از روش نظارت‌شده جهت بهینه‌سازی فضای ویژگی‌ها، با استخراج داده‌های آموزشی و بهینه‌سازی ویژگی‌های انتخاب‌شده اولیه، بر اساس کم‌ترین فاصله جدایی کلاسی، تعداد ۱۱ شاخص به عنوان ویژگی بهینه تعیین گردید. سپس با استفاده از الگوریتم‌های منطق فازی و درجه عضویت، آستانه‌های عددی برای هر یک از شیء‌های تصویری تعیین شدند. این ارزش‌های عضویت محاسبه‌شده، مبنای طبقه‌بندی قرار گرفته و در نهایت فرایند طبقه‌بندی انجام گرفت. در جدول ۳ ویژگی‌های بهینه استخراج‌شده توسط FSS به منظور آشکارسازی تغییرات اشیاء تصویر و نتایج حاصل از اعمال هر کدام از آن‌ها در شکل ۱۰ ارائه شده‌اند.

هر کدام از اشیاء حاصله از قطعه‌بندی دارای اطلاعات زمینی زیادی می‌باشند که می‌توان آن‌ها را با استفاده از نرم‌افزار eCognition استخراج کرد. برای این منظور پس از قطعه‌بندی، با تعیین کلاس‌های عارضه و همچنین الگوریتم‌های موردنظر، اطلاعات مربوط به قطعه‌های متعلق به هر کلاس استخراج و سپس نمونه‌های آموزشی حاصل از برداشت‌های میدانی بر روی تصویر پیاده می‌شوند. در این پژوهش از الگوریتم منطق فازی مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایگی متناسب با اطلاعات طیفی، فیزیکی و هندسی هر یک از کلاس‌ها، جهت انجام طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده شد. انتخاب مناسب این اطلاعات و ویژگی‌ها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است؛ زیرا استفاده از تمام ویژگی‌های طیفی، فیزیکی، هندسی و غیره به دلیل وابستگی آماری این ویژگی‌ها، صحت طبقه‌بندی را کاهش می‌دهد و از طرف دیگر انتخاب تجربی این ویژگی‌ها به روش آزمون و خطا نیز تابع تجربه کاربر بوده و لزوماً بهترین انتخاب نیست؛ بنابراین تشکیل فضای ویژگی بهینه قبل از مرحله طبقه‌بندی، یکی از مراحل مهم در انتخاب ویژگی‌ها است. برای تشکیل فضای ویژگی بهینه ابتدا تمام

جدول ۲- الگوریتم‌های اولیه انتخاب شده برای آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی.

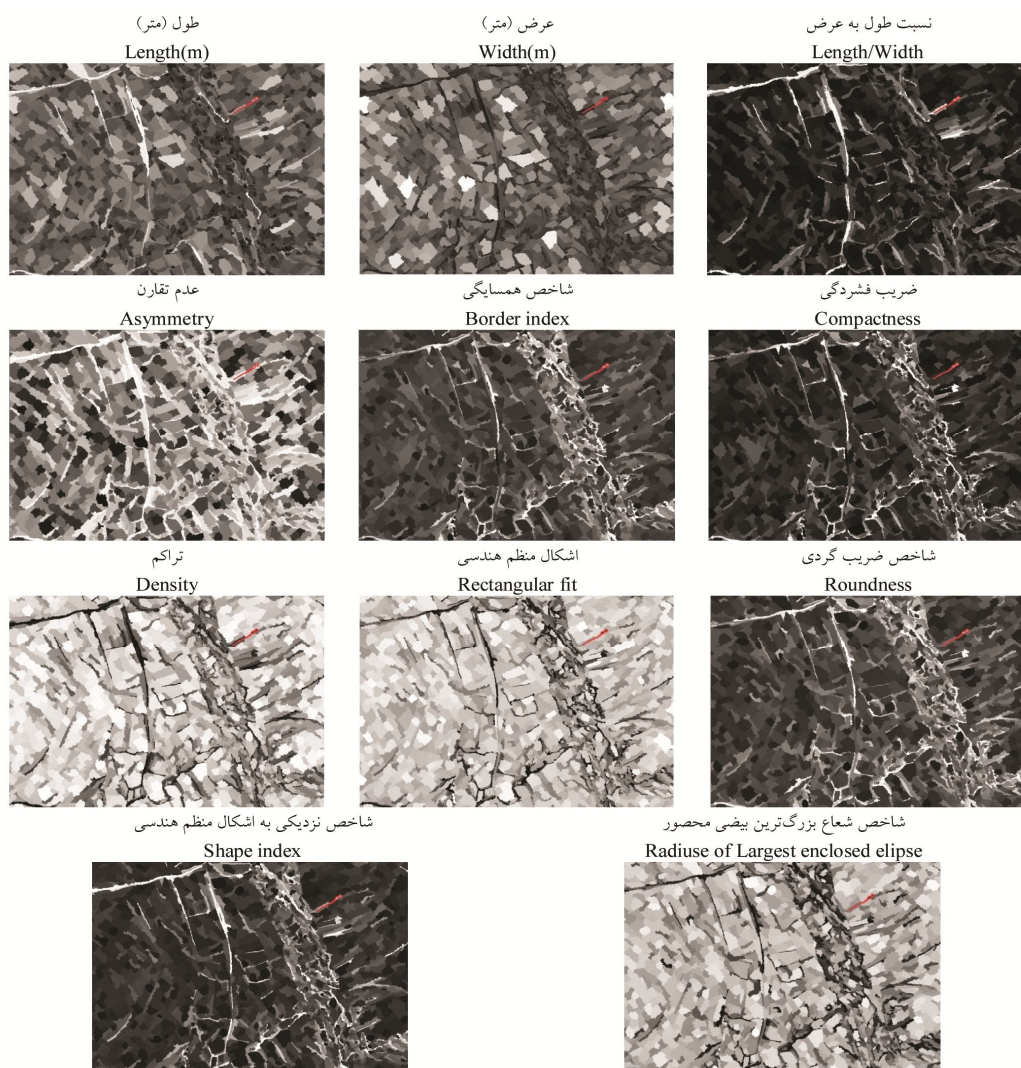
Table 2. First selected algorithms for detection variations and classifications.

شاخص Index	الگوریتم Algorithms
باندهای 2 تا 8 تصاویر سنتینل - لایه رقومی ارتفاع - لایه شیب Bands 2 to 8 Sentinel image - DEM Layer - Shape Layer	میانگین Mean
باندهای 2 تا 8 تصاویر سنتینل - لایه رقومی ارتفاع - لایه شیب Bands 2 to 8 Sentinel image - DEM Layer - Shape Layer	انحراف استاندارد Standard Deviation
مساحت - طول - عرض - نسبت طول/عرض - حجم Area (m ²) - Length (m) - width (m) - Length/width - Volume (m ³)	حدود هندسی Geometry Extent
عدم تقارن - شاخص همسایگی - ضریب فشردگی - تراکم - اشکال منظم هندسی - شاخص گردی - شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی - روشنایی - شاخص بیضی - شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور - شعاع کوچک‌ترین بیضی محصور Asymmetry - Border index - Compactness - Density - Rectangular fit- Roundness - Shape index - Brightness - Elliptic Index - Radius of largest enclosed ellipse - Radius of smallest enclosed ellipse	شکل هندسی Geometry Shape

جدول ۳- الگوریتم‌های بهینه شده با FSS برای آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی.

Table 3. Optimized algorithms with FSS to detect changes and classifications.

شاخص Index	الگوریتم Algorithms
طول - عرض - نسبت طول/عرض Area (m ²) - Length (m) - width (m) - Length/width	حدود هندسی Geometry Extent
عدم تقارن - شاخص همسایگی - ضریب فشردگی - تراکم - اشکال منظم هندسی - شاخص ضریب گردی - شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی - شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور Asymmetry - Border index - Compactness - Density - Rectangular fit- Roundness - Shape index - Radius of largest enclosed ellipse	شکل هندسی Geometry Shape



شکل ۱۰- نقشه مقادیر اختصاص یافته به اشیاء تصویری در هر الگوریتم.

Figure 10. Mapping the values assigned to visual objects in each algorithm.

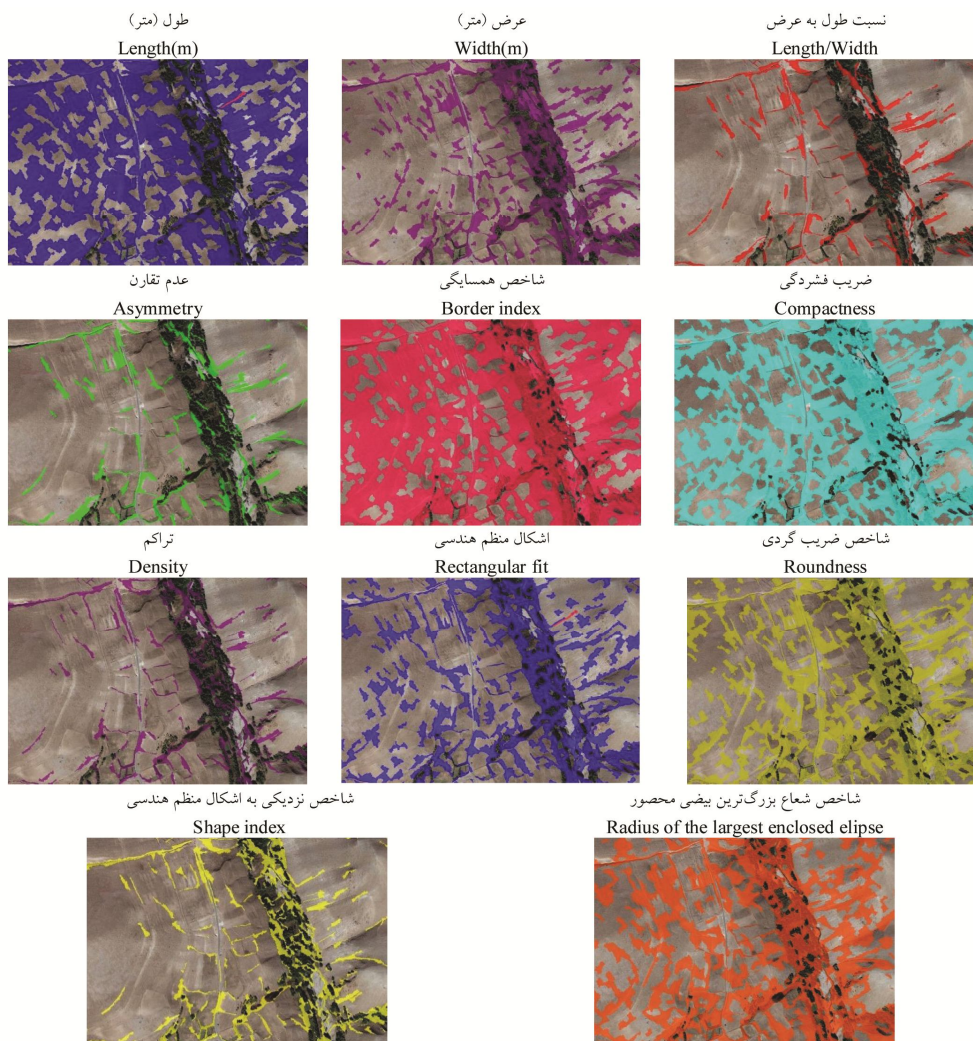
جدول ۴- حدود آستانه الگوریتم‌های استفاده شده برای آشکارسازی تغییرات و طبقه‌بندی

Table 4. The thresholds of the algorithms used to detect changes and classifications.

حدود آستانه Threshold limits	الگوریتم مورد استفاده Used algorithm	حدود آستانه Threshold limits	الگوریتم مورد استفاده Used algorithm
0.54 – 1.36	تراکم Density	4.27 – 18.31	طول (متر) Length (m)
0.44 – 0.81	اشکال منظم هندسی Rectangular fit	39.74 – 144.5	عرض (متر) Width (m)
0.82 – 2.47	شاخص ضریب گردی Roundness	3.42 – 11.95	نسبت طول به عرض Length/Width
2.13 – 4.36	شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی Shape index	0.91 – 0.99	عدم تقارن Asymmetry
0.02 – 0.63	شاخص شعاع بزرگترین بیضی محصور Radius of Largest enclosed ellipse	1.45 – 2.61	شاخص همسایگی Border index
		1.69 – 3.88	ضریب فشردگی Compactness

آستانه‌های تعریف‌شده برای منطقه و یا تصویر جدید
تعدیل شوند. شکل ۱۰ تصویر منطقه به همراه
کلاس‌بندی ذکر شده، در محیط نرم‌افزار eCognition
را ارائه می‌دهد.

جدول ۴ آستانه‌های مورد استفاده برای هر کدام از
الگوریتم‌های طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. بدیهی است
در صورت استفاده از این مدل در منطقه‌ای متفاوت یا
در صورت استفاده از تصویری متفاوت باید



شکل ۱۱- نقشه خندق‌های استخراج‌شده با استفاده از هر الگوریتم.

Figure 11. Map of ditches gully erosion using each algorithm.

آزمایشی که اطلاعات جغرافیایی آن‌ها با استفاده از
مطالعات میدانی ثبت شده بود، ماتریس خطا تشکیل و
بر اساس آن دقت تولیدکننده^۱، دقت کاربر^۲ و ضریب
کاپا برای هر کدام از الگوریتم‌ها محاسبه گردید که
نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

صحت‌سنجی نتایج: پس از طراحی مدل نیمه‌خودکار و
اجرای آن، به منظور ارزیابی دقت مدل در شناسایی
خندق‌ها، قطعات شناسایی شده به عنوان خندق را
به صورت نقشه خروجی گرفته و به نرم‌افزار Arc GIS
انتقال داده شد. سپس با مطابقت دادن نقشه‌های
حاصل از طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی حاصل از
مطالعات میدانی و با مقایسه تعداد ۶۰ نمونه خندق

1- Producer Accuracy
2- User Accuracy

جدول ۵- ارزیابی صحت الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی مبتنی بر روش شیء‌گرا.

Table 5. Evaluation of the accuracy of different classification algorithms based on the object-oriented method.

ضریب کاپا Kappa Coefficient	دقت کاربر User Accuracy	دقت تولیدکننده Producer Accuracy	خطای افزایشی Error of Commission	خطای کاهشی Error of Omission	الگوریتم مورد استفاده برای شناسایی used algorithm to identify the
0.41	53	81	47	19	طول (متر) Length (m)
0.50	58	86	42	14	عرض (متر) Width (m)
0.78	87	78	13	22	نسبت طول به عرض Length/Width
0.91	89	83	11	17	عدم تقارن Asymmetry
0.32	43	79	57	21	شاخص همسایگی Border index
0.33	44	78	56	22	ضریب فشردگی Compactness
0.85	87	88	13	12	تراکم Density
0.68	63	81	37	19	اشکال منظم هندسی Rectangular fit
0.48	54	85	46	15	شاخص ضریب گردی Roundness
0.89	86	81	14	19	شاخص نزدیکی به اشکال منظم هندسی Shape index
0.44	46	81	54	19	شعاع بزرگ‌ترین بیضی محصور Radius of the largest enclosed ellipse

صحت و درصد خطای هر کدام از روش‌های به‌کار رفته برای طبقه‌بندی در این تحقیق مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۵). از مهم‌ترین فاکتورهای مورد توجه در ارزیابی صحت نتایج و میزان دقت هر یک از کلاس‌ها به‌صورت جداگانه، می‌توان به پارامترهای خطای افزایشی^۱ و خطای کاهشی^۲ اشاره نمود. پارامتر خطای کاهشی اشاره به آن دسته از نمونه‌های آزمایشی دارد که در فرایند تفسیر نتیجه در کلاس مورد نظر قرار نگرفته‌اند. به‌عنوان مثال طبق این فاکتور استفاده از روش تراکم با خطای کاهشی برابر ۱۲

در پژوهش حاضر با استفاده از نقشه‌های پایه (شیب و مدل رقومی ارتفاع) و همچنین با استفاده از ویژگی‌های طیفی، ویژگی‌های هندسی، شکل و بافت (جدول ۵) و با کاربرد نرم‌افزار eCognition نسبت به طراحی مدلی نیمه‌خودکار مبتنی بر تحلیل شیء‌گرا در شناسایی خندق اقدام شد. مدل ذکر شده براساس خندق‌های آموزشی (۴۰ خندق) طراحی و پس از طبقه‌بندی خندق‌ها به‌منظور ارزیابی آن از خندق‌های آزمایشی نمونه‌برداری شده طی عملیات میدانی (۶۰ خندق) استفاده شد. برای این منظور، پس از انجام فرایند نمونه‌برداری و مقایسه نمونه‌های تصویری با نمونه‌های مرجع به‌دست آمده، ماتریس خطا ایجاد و

1- Commission Error
2- Omission Error

در مقایسه با سایر روش‌ها داشته (کاپا برابر ۰/۹۱) و بعد از آن الگوریتم‌های شاخص شکل و تراکم به ترتیب با ضریب کاپا برابر ۰/۸۹ و ۰/۸۵ دارای دقت قابل‌قبولی برای طبقه‌بندی و شناسایی خندق‌ها ارائه می‌کنند. این ضرایب نشان‌دهنده این هستند که بخش اعظم اشیائی که توسط این الگوریتم‌ها به‌عنوان خندق شناسایی شده‌اند، به‌درستی در کلاس خندق طبقه‌بندی شده‌اند. در مقابل الگوریتم‌های شاخص همسایگی و ضریب فشردگی دارای کم‌ترین دقت طبقه‌بندی هستند (به ترتیب برابر ۰/۳۲ و ۰/۳۳). با توجه به این‌که به لحاظ دقت تولیدکننده این دو شاخص دارای دقت ۰/۷۹ و ۰/۷۸ هستند، ضرایب پایین کاپا برای این الگوریتم‌ها نشان‌دهنده این است که این شاخص‌ها علی‌رغم این‌که اکثر نمونه‌های آزمایشی را در کلاس خندق طبقه‌بندی کرده‌اند؛ اما در مقابل تعداد اشیائی که خندق نبوده و این الگوریتم‌ها به اشتباه آن‌ها را در کلاس خندق طبقه‌بندی کرده‌اند زیاد است که این امر باعث کاهش شدید دقت این الگوریتم‌ها در شناسایی و طبقه‌بندی خندق‌ها است.

نتیجه‌گیری کلی

تهیه نقشه پراکنش فرسایش با مطالعات میدانی، کاری دشوار بوده و به‌ویژه در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور غیرممکن است. از طرف دیگر تفسیر بصری تصاویر ماهواره‌ای زمان‌بر بوده و نیازمند دانش کارشناسی است. در نتیجه در مدیریت خطرات که نیاز به دسترسی سریع به اطلاعات می‌باشد، کارایی ندارد. مطالعه حاضر یکی از اولین تحقیقات در سطح کشور است که در آن برای شناسایی اشکال فرسایش (فرسایش خندقی) از روش نیمه‌خودکار مبتنی بر روش تحلیل شیء‌گرا استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر با استفاده از خصوصیات طیفی و هندسی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و پردازش شیء‌گرا در

درصد، بیش‌ترین تعداد نمونه‌های آزمایشی را در کلاس خندق طبقه‌بندی می‌کند در حالی که روش‌های نسبت طول به عرض و ضریب فشردگی با خطای کاهشی برابر ۲۲ درصد کم‌ترین تعداد نمونه‌های آزمایشی را در کلاس خندق طبقه‌بندی کرده‌اند. همچنین خطای افزایشی اشاره به آن دسته از اشیائی دارد که جزء کلاس مدنظر (خندق) نبوده و به اشتباه در کلاس خندق طبقه‌بندی شده‌اند. بر اساس این فاکتور روش عدم تقارن با خطای افزایشی برابر ۱۱ درصد نشان‌دهنده این است که ۸۹ درصد اشیاء طبقه‌بندی شده طبق این الگوریتم به‌درستی در کلاس خندق طبقه‌بندی شده‌اند و بر عکس الگوریتم شاخص همسایگی دارای بیش‌ترین خطا در کلاس‌بندی اشیاء متعلق به خندق است (خطای افزایشی برابر ۵۷ درصد). خطاهای افزایشی و کاهشی به‌عنوان خطاهای نوع یک و دو در نظر گرفته می‌شوند که از آن‌ها به ترتیب برای محاسبه دقت کاربر و دقت تولیدکننده استفاده می‌شود. بر همین اساس دقت کاربر عبارت است از احتمال قطعیت درست طبقه‌بندی شدن یک شیء و دقت تولیدکننده نیز عبارت است از احتمال طبقه‌بندی یک نمونه آزمایشی در کلاس مرتبط با آن نمونه. طبق نتایج ارائه‌شده در جدول ۶، الگوریتم‌های تراکم و ضریب فشردگی به ترتیب دارای بیش‌ترین (۸۸) و کم‌ترین (۷۸) دقت تولیدکننده هستند. در حالی که الگوریتم‌های عدم تقارن و شاخص همسایگی با دقت کاربر برابر ۸۹ و ۴۳ درصد به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت کاربر می‌باشند.

فاکتور مهم دیگر در زمینه اعتبارسنجی که بسیار مورد توجه و اعتبار بالایی دارد ضریب کاپا است. ضریب کاپا برخلاف صحت کلی، میزان دقت را بر اساس تمامی شیء‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌نماید. بر اساس ضریب کاپا الگوریتم عدم تقارن بیش‌ترین دقت و صحت را

روش‌ها داشته و با دقت بالاتری قادر به طبقه‌بندی و شناسایی خندق‌ها است. از آن‌جا که استفاده از روش شیء‌گرا به منظور شناسایی عوارض از روی تصاویر ماهواره‌ای روشی نوین محسوب می‌شود، بنابراین دقت مناسب مدل در شناسایی خندق‌های منطقه نشان از کارایی این روش داشته و عرصه را برای استفاده از این روش در مطالعات آتی فراهم می‌آورد.

محیط نرم‌افزار eCognition مدلی نیمه‌خودکار برای شناسایی خندق ارائه شد. نتایج حاصله از مقایسه الگوریتم‌های مختلف به کار برده شده در این پژوهش نشان داد که الگوریتم‌های تراکم و ضریب فشردگی به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین دقت تولیدکننده بوده در حالی که الگوریتم عدم‌تقارن بر اساس ضریب کاپا بیش‌ترین دقت و صحت را در مقایسه با سایر

منابع

1. Abedi, F., Mohammadzadeh, A., Mokhtarzadeh, M., and Valadan Zouj, M.J. 2015. Comparison and Evaluation of the object-based and pixel-based analysis of LiDAR and large-scale optical images in metropolitan area. *J. Soft Comp. Inf. Technol.* 4: 3. 118-128.
2. Akbari, D., Homayouni, S., and Seresht, M.S. 1390. Improving the accuracy of spectral detection of roofs through intelligent integration the method of target detection in ultrasound images. *Iran. J. Remote Sens. GIS.* 2: 97-114. (In Persian)
3. Alavi-Panah, S.K. 2012. Application of Remote Senseing in the Earth Sciences (soil). 4th Edition. Tehran: University of Tehran. 438p. (In Persian)
4. Alqurashi, A.F., Kumar, L., and Sinha, P. 2016. Urban land cover change modelling using time-series satellite images: A case study of urban growth in five cities of Saudi Arabia, *J. Rem. Sens.* 8: 10. 838-852.
5. Brodsky, L., and Boruvka, L. 2006. Object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for bare soil brightness mapping. *Soil and Water Research.* 1: 3. 79-84.
6. Dominique, C., Christopher, D., Adam, S., Nicholas, W., and Eric, P.S.S. 2018. An Object-based image analysis workflow for monitoring shallow-water aquatic vegetation in multispectral drone imagery-ISPRS *Inter. J. Geo-Inf.* ISPRS *Int. J. Geo-Inf.* 7: 8. 294-309.
7. Fatemi, S.B., and Rezaei, Y. 2012. Principles of remote sensing (3rd ED). Azadeh Press, Tehran, 288p. (In Persian)
8. Feyzizadeh, B., Blaschke, T., Tiede, D., and Rezaei Moghaddam. M. 2017. Evaluating fuzzy operators of an object-based image analysis for detecting landslides and their changes. *Geomorphology.* 293: 240-254.
9. Feyzizadeh, B., Kazemi, S., and Sharafi, S. 1397. A Semi-Automated Approach For Identifying And Classifying Urban Distressed And Modern Area Based On Spectral And Spatial Patterns In Object-Oriented Remote Sensing: A Case Study Area Isfahan City. *Human Geography Research Quarterly.* 50: 3. 661-678. (In Persian)
10. Feyzizadeh, B., and Helali, H. 2009. Comparision of pixel based and object-oriented methods in vegetation/ landuse classification in western Azarbayejan. *J. Physic. Geograph. Res. Quar.* 71: 1. 73-84. (In Persian)
11. Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. 2008. Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology.* 94: 3-4. 268-289.
12. Göksel, C., David, R.M., and Dogru, A.O. 2018. Environmental Monitoring of Spatio-Temporal Changes in Northern Istanbul using remote sensing and GIS. *Inter. J. Environ. Geoinf.* 5: 1. 94-103.
13. Hölbling, D., Friedl, B., and Eisank, C. 2015. An object-based approach for semi-automated landslide change detection and attribution of changes to landslide classes in northern Taiwan. *Earth Science Informatics.* 8: 2. 327-335.

14. Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., and Sattarian, A. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Inter. J. Environ. Sci. Technol.* 11: 4. 909-926.
15. Lu, P., Stumpf, A., Kerle, N., and Casagli, N. 2011. Object-oriented change detection for landslide rapid mapping. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE.* 8: 4. 701-705.
16. Moghimi, E., Bagheri Seyedshokri, S., and Safarrad, T. 2012. Zoning of landslide hazard using entropy model (Case study: Nesar Anticline at North West Zagros). *J. Physic. Geograph. Res. Quar.* 44: 1. 77-90. (In Persian)
17. Moine, M., Puissant, A., and Malet, J.P. 2009. Detection of landslides from aerial and satellite images with a semiautomatic method. Application to the Barcelonnette basin (Alpes-de-Haute-Provence, France). In: Malet, J.P., Remaitre, A., Bogaard, T. (Eds.), *Landslide Processes: From Geomorphological Mapping to Dynamic Modelling*. CERG, Strasbourg, France. Pp: 63-68.
18. Moosavi, V. 2012. Application of object oriented and pixel based remote sensing methods in Barchans study. M.Sc. Dissertation. Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. Tarbiat Modares University. 88p. (In Persian)
19. Mousavi Khatir, S.Z., Kavian, A., and Solaimani, K. 2010. Pepration of landslide susceptibility map in Sajaroud watershed using Logistic Regression model. *J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resour. Water and Soil Science.* 53: 3. 99-111.
20. Nohegar, A., Kazemi, M., Ahmadi, S.J., Gholami, H., and Mahdavi, R. 1395. Using pixel basis and subpixel based techniques to identify alteration zones (Case study: Tange Bostanak Region). *Quantitative Geomorphological Research.* 5: 1. 89-109.
21. Shadfar, S., and Yamani, M. 2007. Zoning of landslide hazard in Jelisan watershed using LNRE model. *J. Physic. Geograph. Res. Quar.* 62: 4. 11-23. (In Persian)
22. Tolga, M., Balcik, F.B., Şanlı, F.B., Mustafa, Ü., Kaan, K., Çiğdem, G., Cem, G., and Yusuf, K. 2018. Comparison of Object and pixel-based classifications for mapping crops using rapideye imagery: A Case Study of Menemen Plain, Turkey. *Inter. J. Environ. Geoinf.* 5: 2. 231-243.
23. Villa, A., Benediktsson, J.A., Chanussot, J., and Jutten, J. 2011. Hyperspectral image classification with iIndependent component discriminant analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 49: 12. 4865-4876.
24. Zandi, J. 2012. Prioritization of controlling area on soil erosion using RS and GIS techniques (A case study: Vzaroud watershed, Mazandaran). M.Sc. Dissertation. Faculty of Natural Resources. Sari Agricultural and Natural Resources University. 144p. (In Persian)



Semi-automatic object-based model to produce the inventory map of gully erosion (Case study: Lighvan watershed)

***P. Mohammadi¹, A. Ahmadi², B. Feizizadeh³, A.A. Jafarzadeh⁴ and M. Rahmati⁵**

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, ³Assistant Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz,

⁴Professor, Dept. of Soil Science, University of Tabriz, ⁵Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Maragheh

Received: 10.28.2018; Accepted: 03.06.2019

Abstract

Background and Objectives: Locating in arid and semi-arid region, Iran is always affected by sloping instability and erosion, especially gully erosion. This erosion pattern has occurred in different parts of Iran continuously over many years, and during erosion process and transferring the high amount of sediment has caused the destruction of roads, infrastructures, pasturelands, hillslopes, etc. which makes it necessary to identify high-risk areas and to develop sensitivity maps. In recent years, the processing of satellite images as an advanced method with the aim of increasing the accuracy and saving time and cost has been widely used by researchers. The object-oriented analysis of images is one of the most important methods for extracting information from satellite imagery, which is based on spectral, form and spatial characteristics and using expert knowledge to identify complications.

Materials and Methods: In this research, the Lighvan watershed was studied as one of the most important sub-basins of Aji Chay in the East Azarbaijan Province. The images of Sentinel-2 (2016) with spatial resolution of 10, 20 and 60 meters were used for the processing and identification of gully erosion sites. The images were processed using the eCognition software and applied with different types of algorithms to design a semi-automatic model based on object-oriented analysis. Finally, in order to evaluate the accuracy of the model, the identified gully affected area were mapped out and calculated using ArcGIS software to match the ground truth map and to calculate the error matrix, manufacturer accuracy, user accuracy and kappa coefficient for each of the algorithms.

Results: The results showed that the density and compactness algorithms had the highest and lowest accuracy of the manufacturer (manufacturer accuracies were 88 and 78), respectively. While based on Kappa coefficient, the asymmetry algorithm had the highest accuracy compared to other methods (kappa = 0.91). Then, the shape index and density algorithms with kappa coefficient of 0.89 and 0.85 provided acceptable accuracy for the classification and identification of the gully.

Conclusion: In the present study, semi-automatic semi-automatic model for ditch identification was presented using spectral and geometric properties of Sentinel-2 satellite images and object-oriented processing in eCognition software environment. The use of object-oriented methods due to the increased accuracy of classifying and identifying surface effects and phenomena can be used as a suitable solution for future soil studies and natural phenomena.

Keywords: Classification, Object Oriented Algorithms, Object-Oriented Processing, Segmentation

* Corresponding Author; Email: panah.m83@gmail.com

Arc