



توسعه یک روش نیمه خودکار بر پایه تحلیل شیء پایه و الگوریتم داده کاوی در شناسایی زمین لغزش (مطالعه موردی حوزه آبخیز جنگلی محمدآباد گلستان)

مرضیه نیکجوی، علی نجفی نژاد*، علی شمس الدینی، حمیدرضا پورقاسمی، چوقی بایرام کمکی

دانشجوی دکتری رشته مدیریت حوزه های آبخیز، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

عضو هیات علمی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ایران

عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

استادیار گروه بیابان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

چکیده

نخستین گام مدیریت و کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش، شناسایی محل وقوع موارد پیشین است. با افزایش سرعت تخریب و تغییر کاربری اراضی به دلیل فعالیت های انسانی و عوامل محیطی، استفاده از روش های دقیق، سریع و ارزان برای شناسایی زمین لغزش ها ضروری است. این تحقیق به توسعه یک روش نیمه خودکار مبتنی بر سنجش از دور و الگوریتم های داده کاوی برای شناسایی زمین لغزش ها در حوزه آبخیز جنگلی محمدآباد در استان گلستان پرداخته است. این منطقه به دلیل شرایط توپوگرافی خاص و دست کاری های انسانی مستعد وقوع زمین لغزش بوده و هرساله خسارات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی زیادی را متحمل می شود. در این مطالعه، دو تصویر ماهواره گائوفن-۱ مربوط به خردادماه ۱۴۰۲ و اسفندماه ۱۴۰۱ مورد استفاده قرار گرفت. به منظور افزایش وضوح تصاویر، سه روش ترکیب تصویر با عنوان Brovey، PCA و Wavelet-PCA مورد آزمون قرار گرفت. در مرحله بعد با بازدید صحرایی ۲۱۸ مورد زمین لغزش در منطقه ثبت شد که ۷۰ درصد آن برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده شد. قطعه بندی تصاویر همراه با بهینه سازی پارامتر مقیاس با روش واریانس محلی و پارامترهای شکل و فشردگی به صورت آزمون و خطا صورت گرفت. به منظور انجام طبقه بندی، انتخاب ویژگی با روش جنگل تصادفی انجام شد و در نهایت طبقه بندی تصویر با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان انجام شد. بر اساس نتایج روش Wavelet-PCA با ضریب همبستگی بالای ۹۷ درصد و نزدیک ترین مقدار آنتروپی به تصویر اصلی بهترین روش ترکیب تصویر انتخاب شد.

پارامترهای بهینه قطعه‌بندی شامل مقیاس = ۳۳، شکل = ۰/۶ و فشردگی = ۰/۵ بود. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی با صحت کلی بالای ۹۲ درصد و ضریب کاپا بالای ۰/۸۵ قادر به شناسایی زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی بوده است.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش، شیء پایه، داده‌کاوی، پارامتر مقیاس، ترکیب تصویر

۱- مقدمه

زمین‌لغزش از جمله مخاطرات طبیعی پیچیده و زیان‌بار است که هر سال خسارت‌های جانی و مالی فراوانی خصوصاً در مناطق کوهستانی به بار می‌آورد. طی سالیان اخیر تلفیقی از عوامل مختلف از جمله رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی در مناطق ناپایدار، احداث راه‌ها، استفاده بیش‌ازحد از منابع طبیعی و به هم خوردن تعادل طبیعت باعث تشدید وقوع این پدیده شده که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم منجر به آسیب‌های جبران‌ناپذیر اقتصادی و اجتماعی شده است (Singh, 2010). بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۰ وقوع زمین‌لغزش ۴/۹ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار داده و منجر به مرگ بیش از ۱۵۹۱۰ نفر در جهان شده است که بیشترین میزان مرگ‌ومیر ناشی از این پدیده در کشورهای در حال توسعه بوده است (Donatti et al., 2024). در ایران نیز میزان خسارت مالی سالیانه برآورد شده ناشی از این پدیده بر اساس یک گزارش اولیه، ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (محمدی و نور، ۱۳۹۸).

در گذشته، شناسایی زمین‌لغزش‌ها عمدتاً از طریق روش‌های میدانی و تحلیل‌های زمین‌شناسی بوده است. محققان و کارشناسان با بازدید از مناطق آسیب‌دیده، به بررسی نشانه‌های فیزیکی مانند ترک‌ها، شکستگی‌ها و تغییرات در پوشش گیاهی می‌پرداختند. همچنین نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های ژئودتیکی به‌عنوان ابزارهای مکمل در شناسایی بودند. این روش‌ها نیازمند صرف زمان، هزینه و نیروی انسانی در مقیاس وسیع بودند. از این رو، ضرورت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و راداری به‌عنوان ابزارهای نوین برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها مورد توجه قرار گرفت؛ زیرا این فناوری‌ها امکان پایش دقیق و وسیع مناطق را با صرف زمان و هزینه کمتر فراهم کرده و دقت بالایی در شناسایی تغییرات سطح زمین و مناطق مستعد زمین‌لغزش ارائه می‌دهند (Casagli et al., 2023).

یکی از روش‌های استفاده از فناوری سنجش‌از‌دور بر اساس طبقه‌بندی کلاسیک یا اصطلاحاً روش پیکسل پایه است که در مطالعه مخاطرات طبیعی از جمله زمین‌لغزش به‌وفور مشاهده می‌شود (Wei et al., 2024). طبقه‌بندی در این روش تنها بر اساس اطلاعات طیفی بوده که دقت طبقه‌بندی را کاهش می‌دهد. ضمن اینکه

با افزایش واریانس طیفی در کلاس‌ها، جداسازی عوارض مشکل می‌شود و منجر به تولید نتایج ضعیف خواهد شد (Keyport et al., 2018)؛ حق‌شناس و همکاران، (۱۴۰۰). بنابراین لزوم به‌کارگیری روش‌هایی کارآمد نظیر روش شیء پایه، در سالیان اخیر مورد توجه محققان بخش منابع طبیعی بوده است (Knevels et al., 2019). در این روش علاوه بر اطلاعات طیفی تصویر، از سایر ویژگی‌ها نظیر شکل، مقیاس و بافت نیز استفاده می‌شود که در شناسایی پدیده‌های با اطلاعات طیفی مشابه بسیار راهگشا است (Amatya et al., 2021). درواقع، روش شیء پایه تجزیه و تحلیل تصاویر را بر اساس شکل اشیاء موجود در تصویر انجام می‌دهد نه ارزش بازتابشی موجود در پیکسل‌های انفرادی و از این نظر به بالا بردن قابلیت تفکیک اطلاعات طیفی و مکانی تصویر کمک می‌نماید. (Keyport et al., 2018) به مقایسه روش پیکسل پایه و شیء پایه با الگوریتم خوشه‌بندی K-means در شناسایی زمین لغزش با استفاده از تصویر سه باندی ارتوفتو نیم متری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش شیء پایه با صحت بالاتری نسبت به روش پیکسل پایه قادر به شناسایی زمین لغزش‌ها بوده است. (Amatya et al., 2021) به تهیه نقشه زمین لغزش بر اساس تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مبتنی بر روش شیء پایه و توسعه یک سیستم تشخیص زمین لغزش نیمه خودکار (SALaD) بر اساس الگوریتم‌های یادگیری ماشین پرداختند. نتایج نشان داد این سیستم قادر به شناسایی ۷۰ درصد از سطح زمین لغزش‌ها بوده است و به عنوان جایگزین مناسبی برای تهیه نقشه زمین لغزش در مناطق وسیع معرفی شد.

در مطالعه زمین لغزش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باید به این نکته توجه کرد که ماهواره‌ها تصویر چند طیفی با قدرت تفکیک طیفی بالا و مکانی پایین و تصویر پانکروماتیک با قدرت تفکیک طیفی پایین و مکانی بالا دارند. درحالی‌که بسیاری از کاربردها و مطالعات، علم سنجش از دور به تصاویری با قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا نیاز دارد. برای این منظور تکنیک‌های فیوژن یا ترکیب رنگی تصاویر ابداع شده است. به عنوان مثال، (Santurri et al., 2010) در مطالعه خود به ارزیابی صحت پنج روش ترکیب تصاویر ماهواره‌ای (GSG، GSA-CA، GS، PC و GIHS) در شناسایی زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه امبریا در ایتالیا با استفاده از تصاویر چند طیفی ماهواره آیکونوس پرداختند. نتایج کمی این مطالعه نشان داد که روش ترکیب GSG و GSA-CA عملکرد بهتر نسبت به سایر روش‌ها داشته است. حال آنکه به لحاظ شکل ظاهری روش GS و PC در شناسایی زمین لغزش عملکرد بهتری از خود نشان داد. (Nikolakopoulos et al., 2014) در مطالعه خود

به منظور شناسایی زمین لغزش‌های قدیمی با استفاده از داده‌های MSS مربوط به سنجنده لندست-۱ و تصاویر در دسترس KH-7 با استفاده از ۸ روش ترکیب تصویر به این نتیجه رسیدند که ترکیب تصاویر با استفاده از روش Ehlers و HCS نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌ها از خود نشان داده است. مرور منابع انجام شده نشان می‌دهد که مطالعات متعددی با روش پیکسل پایه و استفاده از داده‌های تاریخی (عطف ماسبق) برای شناسایی و پیش‌بینی وقوع زمین لغزش‌ها انجام شده است، حال آنکه زمین لغزش یک پدیده دینامیک بوده که وقوع آن تابع عوامل متعدد محیطی متغیر بوده و لزوم استفاده از اطلاعات به‌روز، ارزان و با دقت مکانی بالا برای شناسایی آن را ایجاب می‌نماید. هدف مطالعه حاضر، توسعه یک روش نیمه خودکار مبتنی بر سنجش از دور-الگوریتم داده کاوی بر روی تصاویر بهبود یافته گائوفن-۱ به منظور شناسایی زمین لغزش‌های حوزه آبخیز جنگلی بوده است. بدین منظور، ابتدا روش‌های پیشرفته بهبود وضوح مکانی-طیفی تصویر مورد آزمون واقع شد، سپس با انتخاب ویژگی‌های مهم از بین ویژگی‌های بافتی، طیفی، ارتفاعی، هندسی و لایه‌های کمکی، شناسایی و طبقه‌بندی زمین لغزش انجام شد. روش مذکور در حوزه آبخیز جنگلی محمدآباد در استان گلستان مورد آزمون واقع شد. جنبه نوآوری تحقیق حاضر، تلفیق و استفاده هم‌زمان روش‌های ترکیب تصویر (فیوژن) با الگوریتم‌های داده کاوی و روش شیء پایه همراه با بهینه‌سازی پارامتر مقیاس برای افزایش دقت و عملکرد مدل بوده است. همچنین، در این پژوهش تصاویر ماهواره گائوفن برای اولین بار در مطالعه پدیده زمین لغزش در داخل کشور بکار گرفته شد. باتوجه به اینکه این تصاویر اخیراً از طریق سازمان فضایی ایران برای کارهای پژوهشی و اجرایی عرضه می‌شود، اطلاعات چندانی در مورد کارایی آن برای مطالعات محیطی وجود ندارد. از طرفی بررسی‌های میدانی انجام شده در حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد وقوع زمین لغزش در این منطقه دارای فراوانی زیاد و تکرار سالیانه است و تاکنون مطالعه مدونی در این خصوص انجام نگرفته است.

۲- مواد و روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

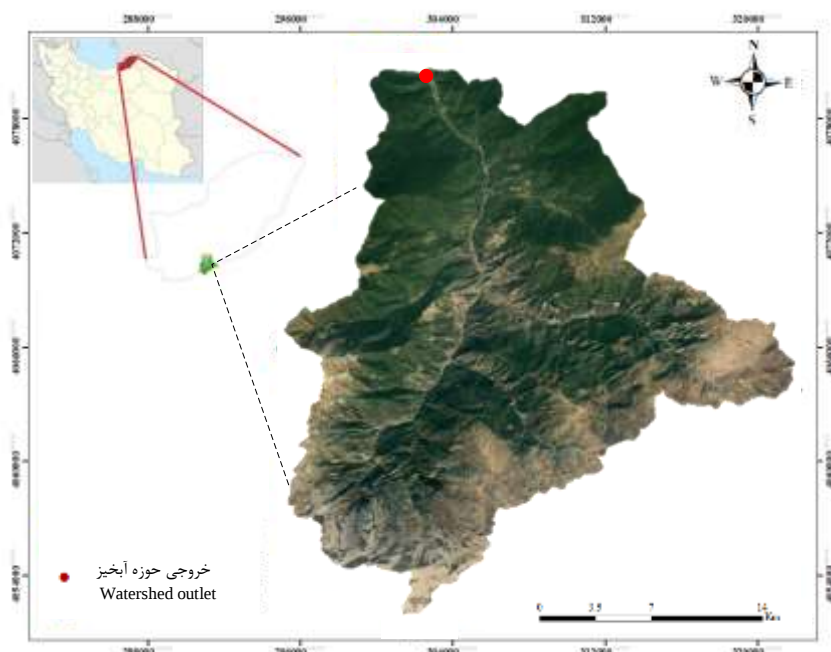
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوزه آبخیز محمدآباد از زیرحوزه‌های گرگان رود در استان گلستان است که در محدوده طول جغرافیایی $36^{\circ} 42'$ تا $55^{\circ} 00'$ شرقی و عرض جغرافیایی $39^{\circ} 39'$ تا $36^{\circ} 50'$ شمالی واقع شده است و جزو جنگل‌های هیرکانی می‌باشد (شکل ۱). وسعت کل حوضه در حدود $444/3$ کیلومتر مربع بوده که رودخانه‌ای به طول $30/5$ کیلومتر را در خود جای داده است. ارتفاع متوسط حوضه 1890 متر، حداکثر

توسعه یک روش نیمه خودکار برپایه تحلیل شیء پایه و الگوریتم داده کاوی در شناسایی زمین لغزش (مطالعه موردی حوزه آبخیز جنگلی محمدآباد گلستان)

۵

مرضیه نیکجوی، علی نجفی نژاد

ارتفاع ۳۸۰۰ متر و حداقل ارتفاع ۳۴۱ متر است. شیب متوسط حوزه ۵۵/۲ درصد می باشد. جهت شیب غالب حوزه، شمال غربی است که در مجموع ۱۸/۶ درصد از کل مساحت حوزه را به خود اختصاص می دهد. متوسط بارش سالانه ۵۳۰ میلی متر است (طرح مطالعاتی آبخیز محمدآباد کلاته، ۱۳۹۵).



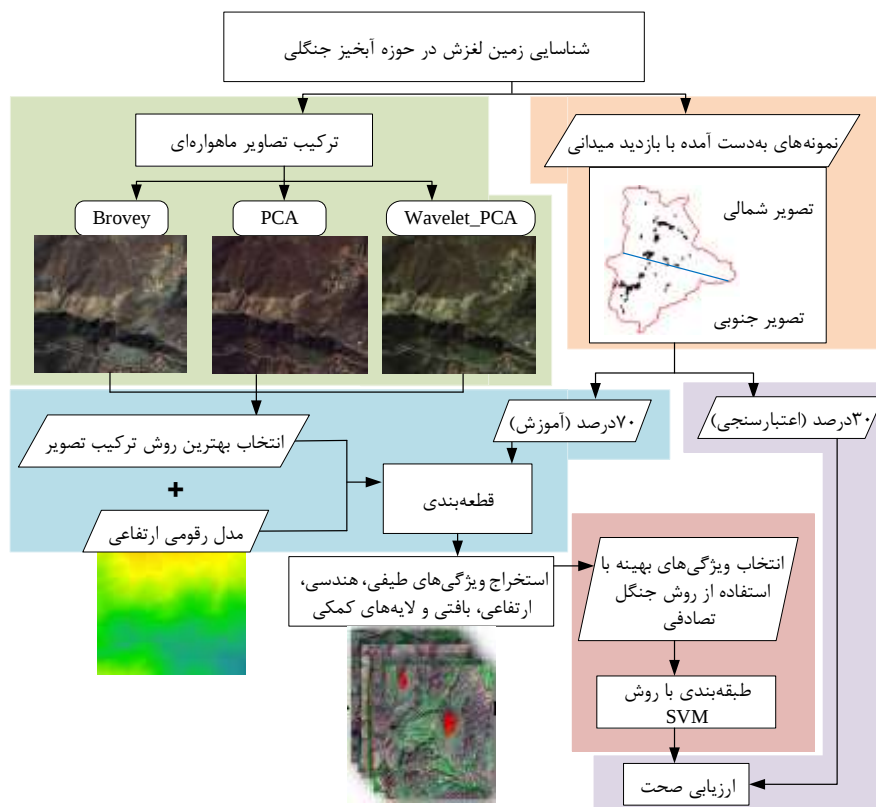
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز محمدآباد در استان گلستان و ایران

Fig (1): Geographical location of Mohammadabad watershed in Golestan province and Iran

۲-۲- روش اجرای پژوهش

در این مطالعه شناسایی زمین لغزش های گذشته برای اولین بار در ایران با استفاده تصاویر سنجنده PMC ماهواره گائوفن-۱ انجام شد. تصاویر این ماهواره چینی دارای ۴ باند آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۸ متر و باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۲ متر است. برای پوشش کل منطقه مورد مطالعه دو تصویر مربوط به ۱۲ خرداد ۱۴۰۲ (جنوب حوزه) و ۲۱ اسفند ۱۴۰۱ (شمال حوزه) از سازمان فضایی ایران تهیه شد. در مرحله بعد تصاویر با استفاده از نقاط DGPS و گوگل ارث در محیط نرم افزار ArcGIS زمین مرجع شدند. با توجه به متفاوت بودن زمان تصویربرداری تصاویر قابل دسترس، مدل سازی دو تصویر (پوشش دهنده بخش شمالی و جنوبی منطقه مورد مطالعه) به صورت جداگانه انجام شد.

شکل ۲ مراحل کار این پژوهش را نشان می‌دهد. برای انجام این کار، به علت پایین بودن قدرت تفکیک مکانی تصاویر طیفی مورد استفاده پیش‌پردازش‌های متعددی جهت بهبود کیفیت تصاویر صورت گرفت تا شناسایی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تصاویر در دسترس میسر گردد. برای این منظور از تکنیک‌های ترکیب رنگی تصاویر استفاده گردید (Liu et al., 2020). این روش با ترکیب باندهای پانکروماتیک و چند طیفی موجب افزایش ویژگی‌های طیفی و مکانی تصویر ترکیب شده نهایی شد، به‌طوری‌که از نظر طیفی تغییری در تصویر صورت نمی‌گیرد اما از نظر قدرت تفکیک مکانی بهبود می‌یابد. انتخاب روش مناسب ترکیب تصاویر تأثیر زیادی روی دقت و صحت شناسایی زمین‌لغزش‌ها دارد (Li et al., 2017)؛ بنابراین لازم است روش‌های مختلف ترکیب تصاویر آزمون شود تا با مقایسه با تصویر اولیه بهترین روش ترکیب تصویر انتخاب گردد (Kim et al., 2011).



شکل (۲): مراحل کار پژوهش

Fig. (2): Flochart of the study

طی سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای ترکیب تصاویر چند طیفی و پانکروماتیک ارائه شده است (Sharma et al., 2023)، در این مطالعه سه روش پرکاربرد تلفیق تصاویر بر روی داده‌های در دسترس اجرا شد، سپس با ارزیابی کمی و کیفی تصاویر تلفیق شده بهترین روش انتخاب گردید. این روش‌ها شامل، الگوریتم Brovey (Khosravi, 2022)، تبدیل مؤلفه اصلی (PCA) (Laben & Brower, 2000) و روش هیبرید تبدیل مؤلفه اصلی - تبدیل موجک (Wavelet_PCA) بوده است که در محیط نرم افزار Erdas Imagine 2014 محاسبه شد. برای ارزیابی کیفیت تصاویر ترکیب شده از دو روش ضریب همبستگی و آنتروپی استفاده گردید (Han et al., 2008؛ Acerbi-Junior et al., 2006).

یکی از مراحل مهم این تحقیق شناسایی زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در گذشته بود، این مهم با حضور در عرصه و همکاری قرقبان‌های منطقه طی بازدیدهای صحرایی گسترده انجام شد و موقعیت جغرافیایی ۲۱۸ مورد از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده و قابل دسترس در حوضه مورد مطالعه با دستگاه سیستم موقعیت یاب جهانی با دقت ± 3 متر ثبت گردید که ۷۰ درصد برای آموزش مدل و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در شکل ۳ نمونه‌ای از زمین لغزش‌های شناسایی شده در بازدید میدانی ارائه شده است.



شکل (۳): چند مورد از زمین لغزش‌های حوضه مورد مطالعه

Fig. (3): Examples of landslides in the studied basin

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج کلاس‌های لغزش و فاقد لغزش از روش طبقه‌بندی شیء پایه استفاده شد اولین گام در این روش قطعه‌بندی پیکسل‌ها و تولید قطعات معنی دار و در مرحله بعد طبقه‌بندی تصاویر است (Liu et al., 2021). در مطالعه حاضر از الگوریتم قطعه‌بندی چندمقیاسه استفاده شد (Agarwal et al., 2013). برای انجام قطعه‌بندی، باندهای اصلی تصویر ترکیب شده با روش ترکیب PCA-Wavelet و لایه مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری به عنوان ورودی به نرم افزار معرفی شد. پارامترهای مهم و قابل

تنظیم این روش شامل: پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی بود (Aguilar et al., 2016). با وجود اینکه تعیین پارامترهای بهینه نقش بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در این الگوریتم ایفا می‌کند در اکثر مطالعات به صورت آزمون و خطا تعیین می‌شود؛ اما در این مطالعه از ابزار ESP2 جهت تعیین خودکار پارامتر مقیاس بهینه در محیط نرم افزار eCognition استفاده شد (Drăguț et al., 2014). پارامترهای شکل و فشردگی نیز با روش آزمون و خطا تعیین گردید. سپس ویژگی‌های طیفی، بافتی، ارتفاعی، هندسی و لایه‌های کمکی در هر قطعه استخراج شد (جدول ۱). در مجموع ۵۳ ویژگی به عنوان عوامل مهم در شناسایی زمین لغزش بکار گرفته شد

جدول (۱): ویژگی‌های استخراج شده از قطعه‌های تصویر
Table (1): Features extracted from image segmentation

ویژگی	تعداد	معیار
طیفی	۱۶	انحراف معیار باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک میانگین باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک میانگین و انحراف معیار شاخص‌های گیاهی SAVI، DVI، EVI، NDVI
بافتی	۲۰	همگنی باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، تجانس آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، بی‌نظمی آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، همبستگی آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک، عدم تشابه آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک
ارتفاعی	۲	میانگین لایه مدل رقومی ارتفاعی، انحراف معیار لایه مدل رقومی ارتفاعی
هندسی	۳	طول، عرض، مساحت
لایه‌های کمکی	۱۲	میانگین و انحراف معیار شیب، جهت شیب، فاصله از رود، فاصله از جاده، سازند و انحنا شیب

بسیاری از این ویژگی‌هایی که انتخاب شدند ممکن است با همدیگر همبستگی داشته باشند یا در استخراج زمین لغزش‌های منطقه بی‌تأثیر باشند؛ بنابراین انتخاب ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را در مقدار خروجی دارند، حائز اهمیت است (پورغلام‌آمیجی و همکاران، ۱۴۰۰). در این مطالعه کاهش ابعاد ویژگی با روش جنگل تصادفی انجام شد (Deng, 2013). بدین منظور، قبل از طبقه‌بندی تصاویر، ابتدا انتخاب ویژگی با روش جنگل تصادفی انجام شد. سپس طبقه‌بندی تصویر با استفاده از سیستم بردار پشتیبان که جزو روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده است صورت گرفت (Bekkari et al., 2012). بر روی تصاویر مورد مطالعه، جمعاً دو کلاس زمین لغزش (۱) و فاقد زمین لغزش (۰) ایجاد شد، کلاس فاقد زمین لغزش شامل تمام کلاس‌های موجود به جز کلاس زمین لغزش می‌باشد. تعداد نمونه‌های آموزش از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$(۱) \quad (\text{تعداد ویژگی‌ها}) \times (۳۰ \text{ تا } ۱۰) = \text{تعداد نمونه‌های آموزشی}$$

برای انجام نمونه برداری از روی تصویر، ۷۰ درصد زمین لغزش‌هایی که طی بازدید صحرایی برداشت شده بودند بر روی سطح تصویر جانمایی شد و از اشیاء متناظر با آن‌ها به عنوان شیء‌های نمونه آزمایشی نمونه برداری صورت گرفت. در تصویر جنوبی، تعداد ۱۹۵ نمونه و در تصویر شمالی ۲۱۳ نمونه زمین لغزش بر روی تصویر شناسایی شد، هر زمین لغزش روی تصویر به چندین قطعه تقسیم می‌شد. برای آموزش بهتر مدل و با توجه به اینکه مناطق فاقد زمین لغزش بسیار بیشتر از مناطق زمین لغزش بودند اندازه نمونه‌های آموزش فاقد زمین لغزش دو برابر نمونه‌های زمین لغزش برداشت گردید. تعداد نمونه‌های اعتبارسنجی فاقد زمین لغزش به اندازه نمونه‌های اعتبارسنجی نقاط زمین لغزش برداشت شد. ارزیابی صحت نتایج الگوریتم طبقه‌بندی با استفاده از ۳۰ درصد زمین لغزش‌های ثبت شده در بازدید میدانی و کدنویسی در نرم افزار R انجام شد. از آنجایی که روش‌های مختلفی (بر اساس مساحت، تعداد و ...) برای ارزیابی طبقه‌بندی شیء پایه وجود دارد در این تحقیق برای بررسی صحت طبقه‌بندی نقشه نهایی، از ضریب صحت کلی بر اساس تعداد وقوع و ضریب کاپا استفاده شد (Cai et al. 2018).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیب تصویر

نتایج حاصل از تصاویر ترکیب شده با سه روش PCA، Brovey و روش هیبرید Wavelet-PCA با استفاده از روش‌های ضریب همبستگی و شاخص آنتروپی مورد ارزیابی قرار گرفت. در هر دو تصویر شمالی و جنوبی، تصاویر ترکیب شده با روش Wavelet-PCA نسبت به دو روش دیگر بیشترین ضریب همبستگی را با تصاویر اصلی داشته است (جدول ۲) که مقدار آن در تصویر ترکیب شده شمالی ۹۷ درصد و تصویر ترکیب شده جنوبی ۹۹ درصد بوده است. روش PCA و روش Wavelet-PCA اختلاف ناچیزی باهم داشتند و کمترین مقدار همبستگی مربوط به روش Brovey بوده که بیانگر کیفیت طیفی پایین این روش بوده است.

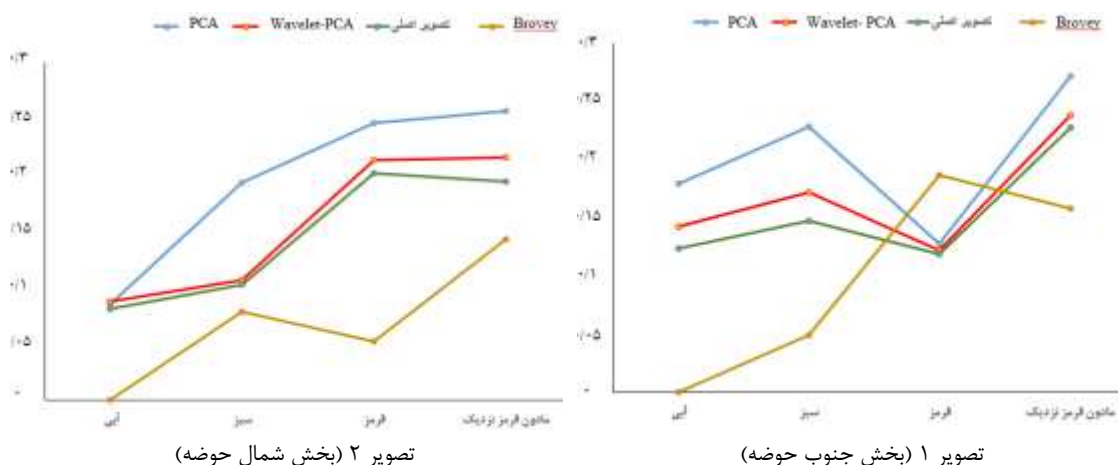
جدول (۲): ضریب همبستگی هر یک از تصاویر ترکیب شده با تصاویر اصلی اولیه

Table (2): Correlation coefficient of each of the combined images with the original images

تصویر اصلی (تصویر جنوبی)	تصویر اصلی (تصویر شمالی)
--------------------------	--------------------------

باند مادون قرمز	باند قرمز	باند سبز	باند آبی	باند مادون قرمز	باند قرمز	باند سبز	باند آبی		
-	-	۰/۹۵۴	-	-	-	۰/۹۴۵	-	روش	باند سبز
-	۰/۹۵۹	-	-	-	۰/۹۵۶	-	-	ترکیب	باند قرمز
۰/۹۶۰	-	-	-	۰/۹۵۴	-	-	-	Brovey	باند مادون قرمز نزدیک
-	-	-	۰/۹۷۱	-	-	-	۰/۹۹۲	روش	باند آبی
-	-	۰/۹۶۹	-	-	-	۰/۹۹۲	-	ترکیب	باند سبز
-	۰/۹۷۰	-	-	-	۰/۹۹۲	-	-	PCA	باند قرمز
۰/۹۷۲	-	-	-	۰/۹۹۳	-	-	-		باند مادون قرمز نزدیک
-	-	-	۰/۹۷۳	-	-	-	۰/۹۹۴	روش	باند آبی
-	-	۰/۹۷۲	-	-	-	۰/۹۹۳	-	ترکیب	باند سبز
-	۰/۹۷۳	-	-	-	۰/۹۹۳	-	-	-PCA	باند قرمز
۰/۹۷۲	-	-	-	۰/۹۹۳	-	-	-	Wavelet	باند مادون قرمز نزدیک

شکل ۴ نمودار تغییرات مقادیر آنترپوی محلی باندهای تصاویر اصلی را نسبت به باندهای تصاویر تهیه شده با روش های مختلف ترکیب نشان می دهد. نتایج مقادیر آنترپوی نشان داد که در هر دو تصویر نزدیک ترین مقدار آنترپوی را تصویر ترکیب تهیه شده با روش تبدیل Wavelet-PCA با تصاویر اصلی دارد. در مطالعه حاضر روش Brovey در حفظ اطلاعات طیفی و مکانی نسبت به دو روش دیگر نتایج ضعیفی ارائه کرد و کمترین همبستگی را با تصویر مرجع داشته است که با نتایج (Dhruval & Richard, 2015) هم راستا است.



شکل (۴): نمودار تغییرات مقادیر آنترپوی محلی باندهای تصاویر اصلی نسبت به باندهای تصاویر تهیه شده با روش های مختلف ترکیب

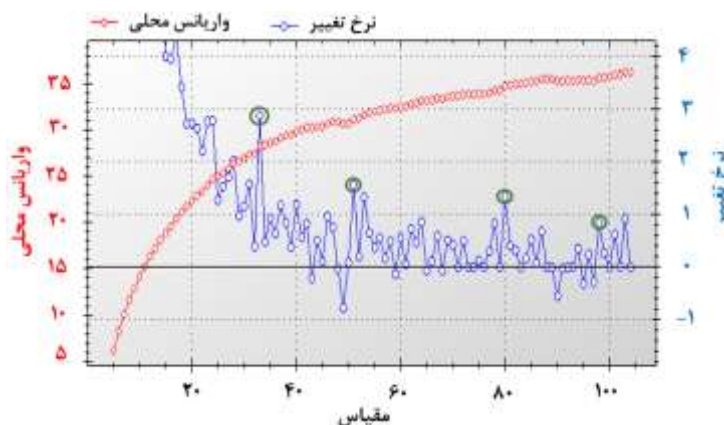
Fig. (4): The diagram of the local entropy values of original images' bands compared to the bands of the images prepared with different combination methods

یکی از مشکلات رایج در شناسایی زمین لغزش تهیه تصاویر ماهواره ای با کیفیت بالا و ارزان است که در مطالعه حاضر با ترکیب باندهای طیفی و پانکروماتیک تصاویر اپتیک گائوفن- ۱ این مهم انجام شد و بهبود اطلاعات مکانی با حفظ اطلاعات تصویر صورت گرفت که با نتایج (Amatya et al., 2021) مطابقت دارد. آن ها اعلام کردند تکنیک ترکیب تصاویر به طور قابل توجهی توانسته بود به بهبود نتایج کمک نماید. این مطالعه اولین تحقیق برای شناسایی زمین لغزش با استفاده از تصویر مذکور در ایران است بنابراین از حیث بررسی کیفیت تصاویر جهت مطالعات محیطی حائز اهمیت بوده که بر اساس صحت نتایج به دست آمده از این تحقیق برای مطالعات بعدی مخاطرات طبیعی پیشنهاد می گردد.

۲-۳- قطعه بندی و تعیین پارامترهای بهینه

به منظور انجام قطعه بندی تصاویر ماهواره ای، تخمین خودکار پارامتر مقیاس با استفاده از واریانس محلی انجام شد. تنظیم مقیاس نقش مهمی در موفقیت عمل قطعه بندی و طبقه بندی نهایی دارد. برای این کار ۳۰ ترکیب مختلف از مقادیر شکل و فشردگی تشکیل شد و واریانس محلی برای تمام این ۳۰ ترکیب به صورت مجزا محاسبه شد. بر اساس نتایج، بهترین مقیاس از ترکیب پارامترهای شکل و فشردگی به ترتیب برابر $0/3$ و $0/5$ به دست آمد. نمودار تغییرات واریانس محلی و نرخ تغییرات آن در شکل ۵ ارائه شده است. در این نمودار، بهترین مقیاس جایی است که منحنی واریانس محلی صاف تر و مقدار واریانس آن کمترین مقدار ممکن را دارد، ضمن اینکه منحنی نرخ تغییرات نیز باید قله ها را بارزتر نمایش دهد (Drăguț et al., 2014). با افزایش اندازه قطعات در مقیاس های پایین تر، واریانس محلی به طور ناگهانی افزایش یافته است، هم زمان نرخ تغییر نیز از روندی معکوس پیروی کرده است. این الگو بیانگر گذر از حالت پیکسل به حالت کوچک ترین قطعه معنی دار در تصویر است (Drăguț et al., 2014). با افزایش مقیاس، نمودار نرخ تغییرات نوسانات ناگهانی بین فرورفتگی ها و پیک ها را بیشتر نمایش می دهد. هرچه مقیاس قطعه بندی عدد بزرگ تر باشد، قطعات تشکیل شده بزرگ تر می شوند که در نهایت محدود نمودن تعداد نمونه های تعلیمی بر آموزش مدل و بالا بردن تشابه طیفی با عوارض دیگر را به دنبال دارد. در این نمودار آشکارترین قله ها در مقیاس های ۳۳، ۵۱، ۸۰ و ۹۷ رخ داده است. این ۴ مقیاس به عنوان پارامتر بهینه برای مقیاس تشخیص داده شد که می توانند در فرآیند قطعه بندی بکار گرفته شود. مقیاس ۳۳ ریزترین قطعه بندی و مقیاس ۹۷ درشت ترین قطعه بندی عوارض مدنظر (زمین لغزش) را نشان

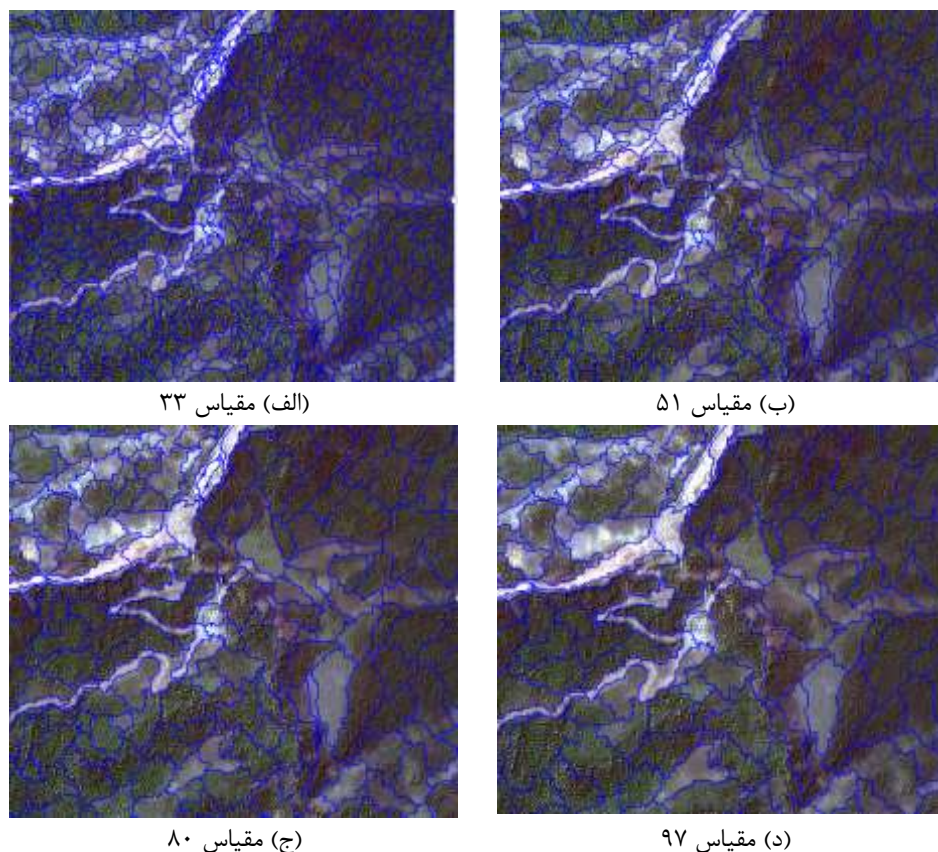
می‌دهد. در مطالعه حاضر از اولین شکستگی در نمودار نرخ تغییر که برابر مقیاس ۳۳ است استفاده شد. اگرچه مقیاس‌های بزرگ در مورد شناسایی عوارض بزرگ مقیاس نظیر جنگل به خوبی عمل می‌نماید (حق شناس و همکاران، ۱۴۰۰)، اما در مطالعه حاضر به علت پیچیده بودن و شرایط طبیعی منطقه همچنین وضوح پایین تصاویر، مقیاس‌های پایین دارای عملکرد بهتر بودند که با مطالعات (Zhao et al. 2017) تطابقت دارد. هرچند کوچک نمودن مقیاس منجر به افزایش تعداد قطعات تشکیل شده می‌گردد، اما با انجام فرا پردازش‌های نهایی نظیر ادغام می‌توان یک قطعه‌بندی معنی‌داری را تولید نمود (Martha et al., 2010).



شکل (۵): نمودار تغییرات واریانس محلی و نرخ تغییرات آن در مقابل مقیاس

Fig. (5): The local variance graph and its rate of change versus scale

داده‌های ورودی فرآیند قطعه‌بندی چهار باند اصلی تصویر ترکیب شده منتخب و لایه رقومی ارتفاع بود. در این مرحله با استفاده از مقیاس بهینه و استخراج وزن مناسب برای پارامترهای فشردگی و شکل، الگوریتم قطعه‌بندی به منظور شناسایی زمین لغزش اجرا شد. مقدار بهینه این پارامترها برای پارامتر شکل برابر $0/6$ و برای پارامتر فشردگی برابر $0/5$ به دست آمد. شکل ۶ نتایج قطعه‌بندی با چهار مقیاس انتخابی ۳۳، ۵۱، ۸۰ و ۹۷ و مقدار $0/6$ و $0/5$ برای پارامترهای شکل و فشردگی را نشان می‌دهد. در مقیاس‌های پایین، هر لغزش از تعداد قطعات کوچک‌تر تشکیل شده است و با شرایط عرصه تطابق بیشتری دارد. در حالی که در مقیاس‌های بزرگ‌تر تعداد قطعات کمتر شده و با داشتن شباهت بیشتر با سایر عوارض نظیر زمین لخت تداخل پیدا کرده و مرز آن‌ها با مرز واقعی عارضه منطبق نشده است.

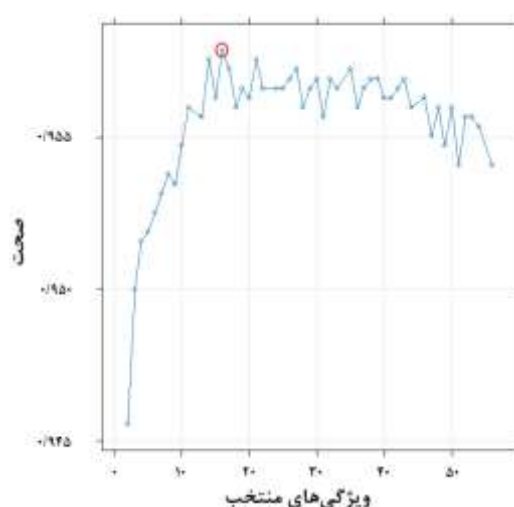


شکل (۶): قطعه‌بندی تصویر در مقیاس‌های مختلف: الف) مقیاس ۳۳، ب) مقیاس ۵۱، ج) مقیاس ۸۰ و د) مقیاس ۹۷
Fig. (6): Image segmentation in different scales: a) scale 33, b) scale 51, c) scale 80 and d) scale 97

۳-۳- انتخاب ویژگی

چالشی که در مطالعات قبلی مربوط به زمین لغزش به‌وفور یافت می‌شود مربوط به تعدد ویژگی‌های تشخیصی است که شاید توجیه منطقی برای دخیل نمودن همه این ویژگی‌ها در مدل وجود ندارد، در مطالعه حاضر به‌منظور برطرف نمودن این مشکل و غربال‌گری هوشمندانه ویژگی تشخیصی از الگوریتم جنگل تصادفی استفاده شد. این الگوریتم به دلیل حساسیت بالا در انتخاب متغیرها (استفاده از الگوی یادگیری تلفیقی با روش کیسه گذاری (Bagging) و ساخت درخت‌های تصمیم متوالی (Breiman, 1996) به‌منظور بهبود نتایج) استفاده شد. شکل ۷ نتایج انتخاب ویژگی بهینه با روش جنگل تصادفی از بین عوامل مؤثر در شناسایی زمین لغزش (۵۳ ویژگی) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود افزایش تعداد ویژگی‌ها تا ۱۶ ویژگی منجر به افزایش

صحت نتایج می‌شود و بعدازآن روند نمودار نزولی می‌گردد. این امر بیانگر این مهم است که افزایش تعداد ویژگی‌ها بیشتر از ۱۶ تأثیر منفی بر صحت نتایج دارد. میزان صحت کلی و ضریب کاپا برای روش جنگل تصادفی در انتخاب عوامل مؤثر به ترتیب برابر ۰/۹۴ و ۰/۴۸ بوده است.



شکل (۷): نتایج انتخاب ویژگی با روش جنگل تصادفی

Fig. (7): Results of feature selection by random forest algorithm

۱۶ ویژگی انتخاب شده توسط روش جنگل تصادفی به ترتیب اهمیت در شکل ۸ ارائه شده است. تحلیل نتایج نشان داد ویژگی‌های ارتفاعی و طیفی به عنوان مهم‌ترین عوامل انتخاب شدند. هیچ‌یک از ویژگی‌های بافت تصویر جزو ۱۶ ویژگی پراهمیت در شناسایی زمین لغزش انتخاب نشدند. نتایج این تحقیق با مطالعه (Amatya et al., 2021) که اعلام کردند ویژگی‌های طیفی نقش مهمی در شناسایی زمین لغزش داشته است مطابقت دارد. همچنین سه ویژگی مهم از بین این مجموعه در شناسایی زمین لغزش‌ها، میانگین لایه ارتفاع، میانگین باند آبی و میانگین شیب بوده و سه ویژگی کم‌اهمیت این مجموعه شامل میانگین شاخص پوشش گیاهی، میانگین شاخص خاک، و انحراف معیار شاخص جهت شیب تشخیص داده شد.

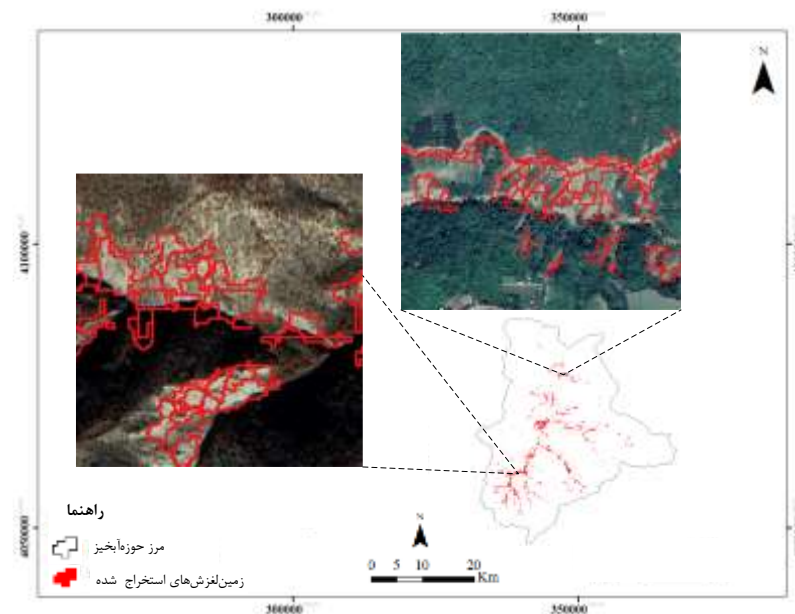
توسعه یک روش نیمه خودکار بر پایه تحلیل شیء پایه و الگوریتم داده کاوی در شناسایی زمین لغزش (مطالعه موردی حوزه آبخیز جنگلی محمدآباد گلستان)
مرضیه نیکجوی، علی نجفی نژاد



شکل (۸): انتخاب ویژگی بهینه با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی
Fig. (8): Optimal selected feature using random forest algorithm

۳-۴- طبقه بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

شکل ۹ زمین لغزش های شناسایی شده با الگوریتم سیستم بردار پشتیبان را نشان می دهد. باتوجه به شکل ملاحظه می شود روش پیشنهادی زمین لغزش های منطقه مورد مطالعه را به خوبی شناسایی کرده است.



شکل (۹) زمین لغزش‌های استخراج شده با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان
 Fig (9) Landslides extracted with Support Vector Machine algorithm

جدول ۳ صحت نتایج استخراج شده از تصویر منتخب در شناسایی زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه را با الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان نشان می‌دهد. بر اساس نتایج صحت کلی تصویر جنوبی برابر ۰/۹۳ و تصویر شمالی ۰/۹۲ است، حال آنکه هر دو تصویر از ضریب کاپای بالای ۰/۸۵ بهره‌مند بود که نشان از دقت بالای الگوریتم بکار برده شده دارد. مطالعه (Nitze et al., 2012) به مقایسه سه الگوریتم جنگل تصادفی، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در شناسایی نظارت شده مزارع کشاورزی پرداختند. آن‌ها اعلام کردند که روش بردار پشتیبان دارای نتایج قابل قبول‌تری بوده است که با نتایج مطالعه حاضر هم‌راستا است. (Van der Linden et al., 2009; Tavakkoli Piralilou et al., 2019) نیز در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند الگوریتم ماشین بردار پشتیبان دقت بالایی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای داشته است.

جدول (۳): نتایج الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی وقوع زمین لغزش‌های دو تصویر مورد مطالعه
 Table (3): The results of support vector machine classification algorithm to identify the occurrence of landslides in the two studied images

الگوریتم	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)
----------	----------------	-----------	-----------------------	------------------

تصویر	ماشین بردار پشتیبان	۹۳	۰/۸۷	کلاس لغزش	۹۱	کلاس لغزش	۹۶
جنوبی				کلاس فاقد لغزش	۹۶	کلاس فاقد لغزش	۹۱
تصویر	ماشین بردار پشتیبان	۹۲	۰/۸۵	کلاس لغزش	۸۹	کلاس لغزش	۹۶
شمالی				کلاس فاقد لغزش	۹۶	کلاس فاقد لغزش	۸۹

باید اذعان کرد که اگرچه مطالعه حاضر قادر به تشخیص زمین لغزش های بزرگ و متوسط در منطقه مورد مطالعه بود، اما زمین لغزش های کوچک و زمین لغزش هایی که در زیر تاج پوشش درختان قرار گرفتند را نتوانست استخراج کند. این ضعف ناشی از روش توسعه داده شده نیست، بلکه به خصوصیات طیفی داده های اپتیکی مورد استفاده (تصویر گائوفن-۱) برمی گردد که به دلیل سنگین بودن تاج پوشش جنگل (بالای ۷۰ درصد) و سایه درختان در بخشی از منطقه مورد مطالعه نتوانست آن ها را شناسایی نماید. مناطق کوهستانی با پوشش جنگلی، وجود سایه درختان و اشکوب های متعدد (۲ الی ۳ طبقه درختی و درختچه ای) باعث محدودیت در کاربرد این داده ها برای شناسایی زمین لغزش می گردد (Esposito et al., 2020). دشواری شناسایی زمین لغزش بنا به دلایل مشابه در مطالعات دیگر از جمله (Stumpf and Holbling et al., 2016; Kerle, 2011) اشاره شده که با نتیجه گیری مطالعه حاضر همسو می باشد. زمین لغزش های شناسایی شده عمدتاً در مجاورت جاده و در طول آبراهه اصلی بودند، از جمله علل آن سست شدن رسوبات دامنه در اثر پدیده زیر شویی کنار رودخانه و جاده سازی است که در پی آن خاک پایداری خود را از دست می دهد و به محض بارندگی و جذب رطوبت توسط خاک به سمت پای دامنه ریزش می نماید.

۴- نتیجه گیری

با افزایش نابسامانی های محیطی و به هم خوردن تعادل طبیعت، هرروزه زمین لغزش های متعددی در سرتاسر جهان به وقوع می پیوندد که می توانند سبب خسارات جانی و مالی فراوان گردند؛ بنابراین مطالعه این پدیده و شناسایی آن امری ضروری به نظر می رسد. استفاده از داده های تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی بالا، به همراه الگوریتم های داده کاوی، توانایی ما در شناسایی زمین لغزش ها را به طور قابل توجهی بهبود داده است. در سال های اخیر، به دلیل توانایی روش طبقه بندی شیء پایه در ترکیب اطلاعات طیفی و مکانی تصویر، تقریباً جایگزین روش های طبقه بندی پیکسل پایه شده است؛ در مطالعه حاضر با استفاده از تکنیک های بهبود ویژگی های طیفی و مکانی تصاویر ماهواره ای گائوفن-۱ و با ترکیب الگوریتم قطعه بندی و طبقه بندی نظارت شده، به توسعه یک سیستم هوشمند نیمه خودکار داده کاوی برای شناسایی زمین لغزش پرداخته شده است. روش پیشنهادی این تحقیق دارای ویژگی های مطلوبی همچون سرعت اجرا، هزینه پایین و دقت بالا در شناسایی

عملی زمین‌لغزش‌های منطقه مورد بررسی بوده است؛ بنابراین، با اندکی تغییر متغیرهای قابل‌دسترس، امکان به‌کارگیری موفق این مدل در سایر مناطقی که شناسایی زمین‌لغزش اولویت بالایی دارد، فراهم خواهد بود. از بین روش‌های ترکیب تصاویر، بهترین گزینه، روش ترکیب تصویر Wavelet-PCA بود که توانست بیشترین شباهت را با تصویر اصلی داشته باشد و توانست با ضریب همبستگی بالای ۹۷ درصد این مهم را به انجام برساند. اگرچه در تحقیق حاضر ترکیب تصویر با سه روش تشریح شده انجام شد، پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده از روش‌های دیگر نظیر گرام-اشمیت و تور استفاده شود و با روش‌های آزمون شده در این مطالعه مقایسه گردد. در مطالعه حاضر مقیاس بهینه برای طبقه‌بندی با استفاده از روش واریانس محلی ناهمگونی قطعات معادل ۳۳ تعیین شد. همچنین مقدار بهینه پارامتر شکل برابر ۰/۶ و پارامتر فشردگی برابر ۰/۵ به دست آمد. در غربالگری متغیرهای تشخیص ۱۶ ویژگی مهم با استفاده از روش جنگل تصادفی برای شناسایی زمین‌لغزش معرفی شد که از بین آن‌ها میانگین ارتفاع، میانگین باند آبی و میانگین شیب مهم‌ترین ویژگی در شناسایی این عارضه بودند. همچنین الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی بالای ۹۲ درصد توانست زمین‌لغزش‌های منطقه مورد مطالعه را شناسایی کند. در این مطالعه برای اولین بار از تصاویر ماهواره گائوفن-۱ برای شناسایی زمین‌لغزش در ایران استفاده شد که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای مطالعات مشابه پیشنهاد می‌گردد. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزان و مدیران محلی در شرایط بحرانی ارائه دهد و با تخصیص بهینه منابع و پیش‌بینی‌های به‌موقع از بروز خسارت و آسیب به عرصه‌های طبیعی جلوگیری نماید.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از سازمان فضایی ایران به خاطر ارائه تصاویر ماهواره‌ای گائوفن-۱ صمیمانه تشکر می‌کنند. همچنین از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان قدردانی می‌شود. تشکر ویژه‌ای نیز از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و قرقبان‌های حوزه آبخیز محمدآباد به خاطر همکاری و اطلاعات میدانی ارزشمندشان می‌شود که در اجرای دقیق این پژوهش به ما کمک کردند.

۵-منابع

مقالات فارسی

- Haghshenas N, Shamsoddini A, Aghighi H. (2021). Urban Tree Canopy Mapping Using Object Oriented Classification and Machine Learning Algorithms. Iranian Remote Sensing & GIS. 13 (1), 17- 32. 10.52547/GISJ.13.1.17. (In Persian).
- Mohammad Abad Kalate watershed study project (2015). Khorasan flood control consulting engineers company. (In Persian).
- Mohammady M, Noor H. (2020). Landslide Susceptibility Zoning Using New Synthetic Method in the GIS Environment. Environmental Science and Technology, 21 (12), 135-146. SID. <https://sid.ir/paper/360912/fa>. (In Persian).
- Pourgholam-Amiji M, Ahmadaali Kh, Liaghat A M. (2021). Sensitivity Analysis of Parameters Affecting the Early Cost of Drip Irrigation Systems Using Meta-Heuristic Algorithms. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 15(4), 737-756. Doi: <https://sid.ir/paper/1054363/fa>. (In Persian).

مقالات انگلیسی

- Acerbi-Junior, F., Clevers, J., & Schaepman, M. (2006). The assessment of multi-sensor image fusion using wavelet transforms for mapping the Brazilian Savanna. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 8(4), 278-288. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.01.001>
- Agarwal, S., Vailshery, L., Jaganmohan, M., & Nagendra, H. (2013). Mapping Urban Tree Species Using Very High Resolution Satellite Imagery: Comparing Pixel-Based and Object-Based Approaches. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2(1), 220-236. <https://doi.org/10.3390/ijgi2010220>
- Aguilar, M. A., Aguilar, F. J., García Lorca, A., Guirado, E., Betlej, M., Cichón, P., & Parente, C. (2016). Assessment of multiresolution segmentation for extracting greenhouses from WorldView-2 imagery. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 41, 145-152. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B7-145-2016>, 2016.
- Amatya, P., Kirschbaum, D., Stanley, T., & Tanyas, H. (2021). Landslide mapping using object-based image analysis and open source tools. Engineering geology, 282, 106000. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106000>

- Bekkari, A., Idbraim, S., Elhassouny, A., Mammass, D., El Yassa, M., & Ducrot, D. (2012). Spectral and Spatial Classification of High Resolution Urban Satellites Images Using Haralick Features and SVM with SAM and EMD Distance Metrics. *International Journal of Computer Applications*, 46(11), 28-37.
- Breiman, L. (1996). Bagging Predictors, *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Cai, L., Shi, W., Miao, Z., & Hao, M. (2018). Accuracy assessment measures for object extraction from remote sensing images. *Remote Sensing*, 10(2), 303. <https://doi.org/10.3390/rs10020303>
- Casagli, N., Intrieri, E., Tofani, V., Gigli, G., & Raspini, F. (2023). Landslide detection, monitoring and prediction with remote-sensing techniques. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(1), 51-64.
- Deng, H. (2013). Guided Random Forest in the RRF Package. *ArXiv13060237 Cs*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1306.0237>
- Dhruval, L., & Richard, S. (2015). Advance SFIM technique for image fusion in remote sensing domain. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 2(1), 148-161.
- Donatti, C. I., Nicholas, K., Fedele, G., Delforge, D., Speybroeck, N., Moraga, P., & Zvoleff, A. (2024). Global hotspots of climate-related disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 108, 104488.
- 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, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.11.018>
- Esposito, G., Marchesini, I., Mondini, A. C., Reichenbach, P., Rossi, M., & Sterlacchini, S. (2020). A spaceborne SAR-based procedure to support the detection of landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(9), 2379-2395. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2379-2020>
- Han, S. S., Li, H. T., & Gu, H. Y. (2008). The study on image fusion for high spatial resolution remote sensing images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. XXXVII. Part B*, 7, 1159-1164.
- Hölbling, D., Betts, H., Spiekermann, R., & Phillips, C. (2016). Identifying spatio-temporal landslide hotspots on North Island, New Zealand, by analyzing historical and recent aerial photography. *Geosciences*, 6(4), 48. <https://doi.org/10.3390/geosciences6040048>.
- Keyport, R. N., Oommen, T., Martha, T. R., Sajinkumar, K. S., & Gierke, J. S. (2018). A comparative analysis of pixel-and object-based detection of landslides from very high-resolution images. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 64, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.015>
- Kim, Y., Lee, C., Han, D., Kim, Y., & Kim, Y. (2011). Improved additive-wavelet image fusion. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(2), 263-267. DOI: 10.1109/LGRS.2010.2067192

- Knevels, R., Petschko, H., Leopold, P., & Brenning, A. (2019). Geographic object-based image analysis for automated landslide detection using open source GIS software. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(12), 551. <https://doi.org/10.3390/ijgi8120551>
- Laben, C.A., & Brower, B.V. (2000). Process for enhancing the spatial resolution of multispectral imagery using pan-sharpening. *US Patent 6* (11), 875.
- Li, S., Kang, X., Fang, L., Hu, J. & Yin, H. (2017). Pixel-level image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion*, 33, 100-112.
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2016.05.004>
- Liu, X., Frey, J., Denter, M., Zielewska-Büttner, K., Still, N., & Koch, B. (2021). Mapping standing dead trees in temperate montane forests using a pixel-and object-based image fusion method and stereo WorldView-3 imagery. *Ecological Indicators*, 133, 108438.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108438>
- Liu, Y., Wang, L., Cheng, J., Li, C., & Chen, X. (2020). Multi-focus image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion*, 64, 71-91.
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.06.013>
- Martha, T.R., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C.J., & Kumar, K.V. (2010). Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology* 116, 24–36.
- Nikolakopoulos, K. G., Kavoura, K., Sabatakakis, N., & Vaiopoulos, A. D. (2014). Fusion of declassified airphotos and Landsat MSS data for old landslides detection. In *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications*, 9245, 58-69. SPIE.
<https://doi.org/10.1117/12.2068128>
- Nitze, I., Schulthess, U., & Asche, H. (2012). Comparison of machine learning algorithms random forest, artificial neural network and support vector machine to maximum likelihood for supervised crop type classification. *Proceedings of the 4th GEOBIA, Rio de Janeiro, Brazil*, 79, 3540.
- Sharma, K. V., Kumar, V., Singh, K., & Mehta, D. J. (2023). LANDSAT 8 LST Pan sharpening using novel principal component based downscaling model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100963.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100963>
- Santurri, L., Carlà, R., Fiorucci, F., Aiazzi, B., Baronti, S., Mondini, A., & Cardinali, M. (2010). Assessment of very high resolution satellite data fusion techniques for landslide recognition. *na*.
- Singh, A.K. (2010). Bioengineering techniques of slope stabilization and landslide mitigation. *Management: An International Journal*, 19(3), 384-397. *Disaster Prevention and*
<https://doi.org/10.1108/09653561011052547>

- Stumpf, A., & Kerle, N. (2011). Object-oriented mapping of landslides using random forests. *Remote Sens. Environ.* 115, 2564–2577. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.013>
- Tavakkoli Piralilou, S., Shahabi, H., Jarihani, B., Ghorbanzadeh, O., Blaschke, T., Gholamnia, K., Meena, S.R., & Aryal, J. (2019). Landslide detection using multi-scale image segmentation and different machine learning models in the higher Himalayas. *Remote Sens.* 11, 2575. <https://doi.org/10.3390/rs11212575>
- Van der Linden, S., Rabe, A., Okujeni, A. & Hostert, P. (2009). *Image SVM Classification, Application Manual: Image SVM Version, 2.*
- Wei, X., Gardoni, P., Zhang, L., Tan, L., Liu, D., Du, C., & Li, H. (2024). Improving pixel-based regional landslide susceptibility mapping. *Geoscience Frontiers*, 15(4), 101782. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101782>
- Zhao, W., Du, S., & Emery, W. J. (2017). Object-based convolutional neural network for high-resolution imagery classification. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(7), 3386-3396.
DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2680324



Development of a semi-automatic method based on object-based analysis and data mining algorithm in landslide detection (case study of Mohammad Abad forest watershed in Golestan)

Abstract

The first step in managing and reducing damages caused by landslides is to identify the location of previous incidents. With the increasing speed of destruction and land use change due to human activities and environmental factors, it is necessary to use accurate, fast and cheap methods to identify landslides. This research has developed a semi-automated method based on remote sensing and data mining algorithms to identify landslides in the Mohammadabad forest watershed in Golestan province. Due to special topographical conditions and human manipulations, this area is prone to landslides and suffers a lot of social, economic and environmental damages every year. In this study, two Gaofen-1 satellite images from June 1402 and March 1401 were used. In order to increase the clarity of the images, three image combining methods named Brovey, PCA and Wavelet-PCA were tested. In the next stage, 218 cases of landslides were recorded in the region through field visits, 70% of which were used for model training and 30% for validation. Image segmentation was done along with optimization of scale parameter by local variance method and shape and compression parameters by trial and error. In order to perform the classification, feature selection was done using the random forest method and finally the image classification was done using the support vector machine supervised classification method. Based on the results of the Wavelet-PCA method with a correlation coefficient above 97% and the closest entropy value to the original image, the best image combination method was selected. The optimal segmentation parameters included scale = 33, shape = 0.6 and compression = 0.5. The results showed that the proposed method was able to identify landslides in the study area with an overall accuracy of 92% and a Kappa coefficient of 0.85.

Keywords: landslide, base object, data mining, scale parameter, fusion