



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۴۰-۲۱

محمدحسین فتحی^۱

* موسی عابدینی^۲

شهرام روستایی^۳

شناسایی و پهنه بندی مناطق مستعد زمین لغزش با استفاده از روش شی گراء و تئوری احتمالات شرطی (قضیه بیزین)، مطالعه موردی: (کرانه جنوبی حوضه آبریز اهر چای از روستای نصیرآباد تا سد ستارخان)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۴

چکیده

حرکات توده‌ای و زمین لغزش از مخرب‌ترین مخاطرات طبیعی محسوب می‌گردند. لذا شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود در یک حوضه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساس جهت دستیابی به راه‌کارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه موثر می‌باشد. در این مطالعه پیش‌بینی مکانی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری احتمالات شرطی (قضیه بیزین)، در کناره‌های جنوبی اهر چای از روستای نصیرآباد تا سد ستارخان، بر پایه زمین لغزش‌های رخ داده در گذشته که به وسیله روش شی گراء استخراج و شناسایی گردیده است، صورت گرفته است. با استفاده از احتمالات تئوری بیزین ارتباط بین پارامترها و مناطق لغزشی (دو سوم مناطق لغزشی) تعیین و وزن هر طبقه از پارامترها به دست آمد. با توجه به نقشه به دست آمده و نیز وزن کلاس‌های هر یک از پارامترها، کلاس تراس‌های آبرفتی قدیمی و مخروط‌افکنه‌های مرتفع در لایه سازند، مرتع متوسط در بین کلاس‌های کاربری زمین، جهات شمالی و شمال‌غربی، شیب‌های ۲۵-۵ درجه و نیز فاصله ۱۲۵-۲۷۰ متر از رودخانه بیش‌ترین وزن و

E-mail: Geo.fathi@ tabrizu.ac.ir

۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.

E-mail: musaabedini@yahoo.com

* ۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول).

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاثیر را در وقوع زمین لغزش‌های منطقه دارا هستند. دقت نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده یک سوم (۱۲ نقطه لغزشی) مناطق لغزشی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتیجه ارزیابی نشان داد که مدل با قابلیت پیش‌بینی ۰/۹۴۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۳ زمین لغزش‌ها در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد دقت قابل قبولی در ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش دارد.

کلید واژه‌ها: حساسیت زمین‌لغزش، تئوری احتمالات شرطی، روش شی گراء، وزن شواهد.

مقدمه

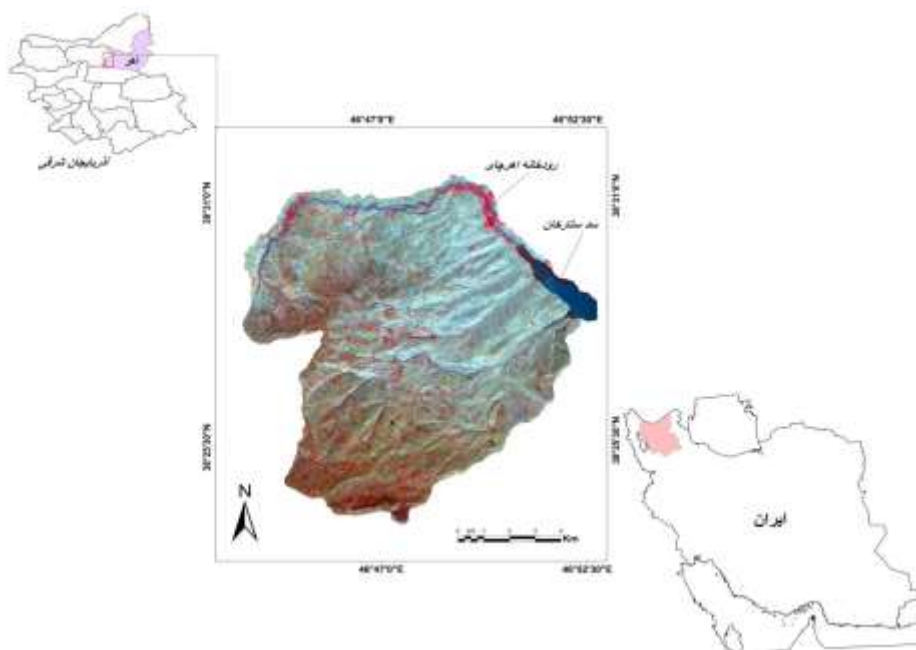
ناپایداری دامنه‌ها یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی-زمین شناسی است که در تغییر شکل زمین نقش موثری دارد (Vitória de Blanco, 2011: 5). حرکات توده‌ای، از جمله پدیده‌های مورفودینامیک هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندد و مهم‌ترین آن‌ها زمین لغزش در اشکال مختلف است (Abedini & Fathi, 2015: 72). بروز این پدیده، می‌تواند ناشی از عوامل متعدد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و انسانی باشد (Sidle & Ochiai, 2006: 18). زمانی که این فرآیند فعالیت‌های انسان را تحت تاثیر قرار دهد، به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شود (Fatemi Agda et al, 2010: 29; Pauliti et al, 2013: 147)؛ و باعث بروز خطرات جانی و مالی فزاینده‌ای می‌گردد؛ که جبران این خسارت‌ها ممکن نیست و یا به وقت و هزینه بسیار زیاد نیاز دارد (Ahmad Abadi and Rahmati, 2016: 198). حیطه مطالعه این نوع مخاطره، که از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات در مناطق کوهستانی است، مناطق کوهستانی عمدتاً به لحاظ تکنیکی فعال می‌باشند (Abedini & Fathi, 2016: 227) که این عامل فرآیند زمین لغزش را تشدید می‌نماید؛ از تپه‌های ملایم تا کوهستان‌های شیب‌دار را نشان می‌دهد (Gruber et al, 2009: 529). بر طبق گزارش‌ها جهانی مخاطرات طبیعی در سال (۲۰۱۲)، زمین لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهان قرار دارد (Fathi et al, 516: 2015). همچنین بر اساس برآوردهای اولیه در ایران سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق وقوع زمین لغزش وارد می‌شود (Hossein-Zadeh et al, 2009: 27). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی، از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل موثر در وقوع ناپایداری دامنه‌هاست (Pour Hashemi et al, 2015) تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش و سیلاب و ارزیابی شدت خطر آن می‌تواند کمک شایانی در زمینه مدیریت محیط و اتخاذ تصمیمات درست در مقابله با این مخاطره باشد (Dalal ughli, 2016). پژوهش کامل در زمینه بروز زمین لغزش و آگاهی از منشاء و علل وقوع آن، شناختن و روابط و اثرات تغییر یک یا چند عامل بر عوامل دیگر و فرآیند تغییرات در ناپایداری خطر دامنه‌ها، متضمن برنامه‌ریزی است (Abedini et al, 2016). بررسی پدیده زمین لغزش جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از یکسو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه

زیستگاه‌ها و سکونتگاه‌های جدید و سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده، مسیرهای انتقال نیرو، نیروگاه و غیره در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد. با توجه به این‌که از بین انواع مخاطرات طبیعی، پدیده زمین لغزش مدیریت پذیرتر می‌باشد، لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعی و منابع موجود در آن و همچنین برای استفاده از تاسیسات اقتصادی و زیربنایی، شناخت کامل از محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن نسبت به تشدید و تسهیل لغزش‌ها جلوگیری نمود. لذا با برنامه‌ریزی دقیق و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط به ساخت و ایجاد تاسیسات اقتصادی و زیربنایی، شناخت کامل از محیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن نسبت به تشدید و تسهیل لغزش‌ها جلوگیری نمود. لذا با برنامه‌ریزی دقیق و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط به ساخت و ایجاد تاسیسات زیر بنایی اقدام نمود (Amir Ahmadi, 2011: 183). بعلاوه تفکیک مناطق از لحاظ پایداری و ناپایداری و استعداد اراضی به زمین لغزش در اجرای پروژه‌های عمرانی به‌ویژه برای ساخت‌وسازهای شهری مهم است (Abedini, 2012: 69). هدف از پهنه‌بندی، تقسیم سطح زمین به نواحی همگن و درجه‌بندی آن‌ها بر حسب میزان واقعی یا پتانسیل خطر لغزش می‌باشد. پهنه‌بندی مناطق بر اساس عوامل مخرب محیطی، عبارت است تقسیم نواحی جغرافیایی مختلف، برحسب واکنش در مقابل بلایای طبیعی است. هدف این پژوهش شناسایی زمین لغزش‌های موجود با استفاده از روش شی‌گراء دانش پایه و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از تئوری احتمالات شرطی (بیز)، می‌باشد. تشخیص سریع زمین لغزه‌ها برای بررسی سریع آسیب‌ها ضروری هست و مدیریت فعالیت‌های فاجعه را پشتیبانی می‌کند. تحلیل شی‌گرا بر پایه بخش‌بندی جایگزینی برای تشخیص اتوماتیک زمین لغزه‌ها از تصاویر سنجنش از دور در مقایسه با روش‌های قدیمی پیکسل پایه است که عمدتاً از اطلاعات طیفی و ترکیبی استفاده می‌کند تحلیل شی‌گرا از فرآیند تفسیر شناختی انسان تقلید می‌کند و پتانسیل شناسایی فرآیندهای ژئومورفولوژی معنادار مانند زمین لغزه را دارد، معمولاً انتخاب مناسب‌ترین نگرش و مدل بر اساس نوع داده‌ها، مقیاس منطقه مورد مطالعه و مقیاس تحلیل‌ها صورت می‌گیرد و بستگی به دانش پژوهشگر دارد. از جمله کارهایی که در داخل و خارج کشور در زمینه مدل و موضوع پژوهش انجام شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (Sarolee (2001، با استفاده از روش رگرسیون خطی به پهنه‌بندی زمین لغزش در کشور کره پرداخته است؛ که نتایج نشان داد که این روش نتایج نسبتاً مناسبی دارد. (Chau et al (2003، به تحلیل خطر زمین‌لغزش در شهر هنگ‌کنگ با استفاده از GIS و زمین لغزش‌های صورت گرفته پرداختند نتایج نشان می‌داد تلفات و مضرراتی که زمین لغزش‌ها سبب شدند، با تجمع بارندگی در هنک‌کنگ افزایش یافته و همبستگی شدیدی مابین داده‌های بارندگی و نتایج زمین لغزش‌ها نشان داده شد و نهایتاً نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را برای شهر مذکور با استفاده از داده‌های تاریخی تهیه نمودند؛ و به‌طور بالقوه، GIS را برای خطر زمین لغزش و نقشه‌های خطر جهت انجام محاسبات رستری مورد استفاده قرار دادند. (Mathew et al (2007، با استفاده تئوری بیز پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را در بخشی از هند انجام دادند. در این پژوهش از ۱۵ فاکتور طبیعی و انسانی جهت پهنه‌بندی استفاده شد. ارزیابی نقشه نهایی نشان داد که دقت نقشه تهیه شده ۸۴/۶٪ و قابل قبول می‌باشد. (Piacentinia et al (2012، با استفاده از مدل تئوری بیزین پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه

تیرول در کشور ایتالیا انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه حساسیت زمین لغزش برای پیش‌بینی زمین لغزش‌ها با درصد بالایی (۷۵٪) قابل اطمینان است؛ بنابراین مدل فوق می‌تواند به خاطر ثمربخش و کم هزینه بودن برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران محیطی مدلی سودمند و قابل اطمینان باشد. (Mohammadi et al (2012). با استفاده از سه مدل بیز، دمپستر-شفر و نسبت تکرار در بخشی از استان گلستان حساسیت زمین لغزش را پهنه‌بندی کردند. در این پژوهش برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC استفاده شد و طبق این ارزیابی مدل نسبت تکرار بهترین نتیجه را (۷۵٪ دقت) در بین سه مدل فوق داشت. (Gokan Damir et al (2014)، با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک به ارزیابی و تهیه نقشه خطر زمین لغزش در حوضه توکات ترکیه پرداختند، اعتبار سنجی نشان داده که کیفیت مدل مورد استفاده ۰/۷۷۱ بوده و دقت مدل در تولید نقشه‌های زمین لغزشی در حد متوسط است. (Chong Xu et al (2016). به بررسی تاثیر زلزله در وقوع زمین لغزش در حوضه آبریز مینژان چین با استفاده از محاسبات نرم (شبکه عصبی و پشتیبان ماشین) پرداخته و نتایج مطلوب و مناسبی با استفاده از ۱۶۳۱ داده آموزشی به‌دست آورده‌اند. (Niazi et al (2011) حوضه سد ایلام را با استفاده از مدل آماری دو متغیره پهنه‌بندی کردند نتایج کار نشان داد که روش تراکم سطح، وزن متغیرها (تئوری بیز) و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیش‌ترین دقت را در تفکیک کلاس‌های خطر زمین لغزش داشته‌اند. (pour Ghasemi et al (2013). با استفاده از تئوری بیزین و ۱۴ فاکتور طبیعی و انسانی پهنه‌بندی زمین لغزش را برای بخشی از استان گلستان انجام دادند. ارزیابی مدل و نتایج تحقیق نشان داد که دقت مدل احتمالاتی تهیه شده با رویکرد دوم مدل‌سازی (حذف عامل جهت شیب از تحلیل‌ها) در منطقه مورد مطالعه ۷۱/۳۷ درصد و خوب برآورد شده است. از دیگر کارهای صورت گرفته در زمینه زمین لغزش می‌توان به پژوهش (Farahi et al, Amir Ahmadi et al, (2011) و (Yamani et al, 2012) اشاره کرد. مدیریت بلایای طبیعی نیازمند اطلاعات مکانی جهت آمادگی در برابر خطرات و کاهش روند آن‌ها می‌باشد (Roostaei et al, 2015). در این زمینه ارزیابی پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه‌ای که به دلیل وضعیت جغرافیایی و ساخت‌وسازهای انسانی مستعد لغزش می‌باشد ضروری می‌نماید.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از کناره‌های جنوبی رودخانه اهر چای از روستای نصیرآباد ورزقان تا سد ستارخان در موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد؛ و از لحاظ ارتفاعی بین ارتفاعات کوه کسبه به ارتفاع ۹۱۱۳ متر و محل ورود به رودخانه قره‌سو به ارتفاع ۸۱۱ متر قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه به دلیل داشتن وضعیت خاص لیتولوژیکی، اقلیمی و کاربری اراضی، ناهمواری‌های جوان و دامنه‌های پرشیب از حساسیت بالایی برخوردار است. از طرفی امروزه دخالت انسان در این حوضه افزایش یافته است، لذا مطالعات بیش‌تر در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در این مطالعه از داده‌های ۲۰ ساله (۱۹۹۴-۲۰۱۴)، ایستگاه تازه‌کند اهر، استفاده شد. ضریب کشیدگی (گراولیوس) حوضه اهر چای در این ایستگاه برابر ۱/۴۴ و ضریب آبدهی ویژه برابر $(L.s^{-1}.km^{-2})$ ۲/۱ می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied area

مواد و روش‌ها

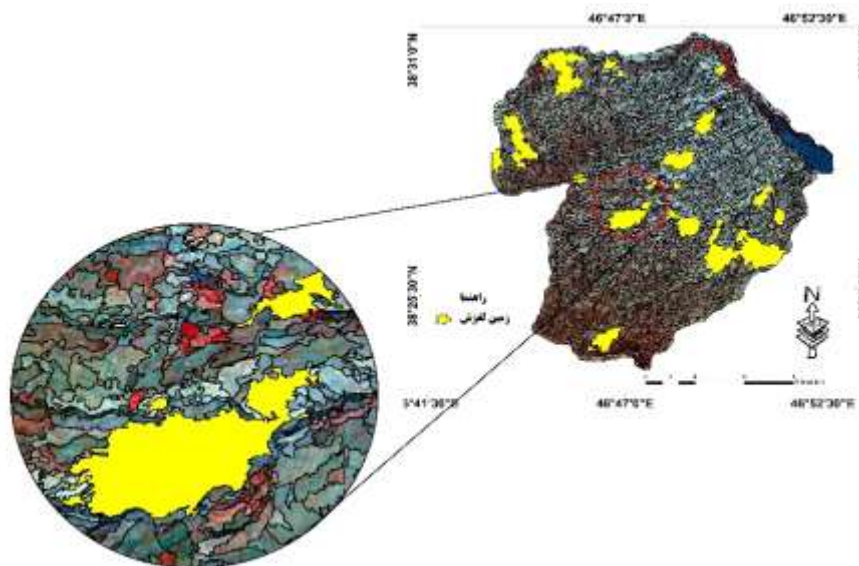
برای اجرای مدل و تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش، ابتدا اقدام به شناسایی و استخراج زمین لغزش‌های موجود با استفاده از روش دانش پایه شی گراء گردید. در روش پردازش شی گراء هر طبقه دارای توصیفات خاص خود است و توصیفات هر طبقه مشتمل بر مجموعه‌ای از شرایط است که بر اساس عملگرهای فازی تعیین می‌شود. این روش ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر طبقه تبدیل می‌کند (Gauyan, 2003: 54). این شرایط برای هر طبقه به صورت جداگانه تعریف می‌شود که در طبقه بندی شی گراء تصاویر در محیط نرم افزار eCognition از اهمیت بالایی برخوردار بوده و مبنای طبقه بندی فازی را تشکیل می‌دهد. در eCognition تعریف شرایط مناسب برای هر کلاس، مبنای طبقه بندی فازی را تشکیل می‌دهد (Belacka, 2009: 18). در ادامه روند پژوهش جهت پهنه بندی مناطق مستعد زمین لغزش، اقدام به جمع آوری و تهیه پایگاه داده از فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزش گردید. در این پژوهش با استفاده از ۱۱ پارامتر (سنگ شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، بارش، شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص حمل رسوب^۴ (STI)، شاخص توان آبراهه^۵ (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافیک^۶ (TWI)، (اشکال ۳ تا ۱۰)، با توجه به نظرات متخصصان خبره مرتبط با زمین لغزش و حرکات توده‌ای انتخاب و عمل پهنه بندی زمین لغزش انجام شده است. در اولین گام از این مرحله با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی منطقه لایه مدل ارتفاعی منطقه (DEM) با اندازه پیکسل ۱۰ متری تهیه شد. به همین

4- Sediment Transport Index

5- Stream Power Index

6- topographic wetness index

خاطر زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (IRS)، مربوط به سال (۲۰۰۷ و ۲۰۱۱) و گوگل ارث^۷ برای مدل‌سازی در محیط نرم‌افزاری eCognition با روش پردازش شیء‌گرا استخراج شدند (۳۵) زمین لغزش). مناطق مستعد وقوع زمین لغزش با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا به صورت (شکل ۲) به دست آمد.



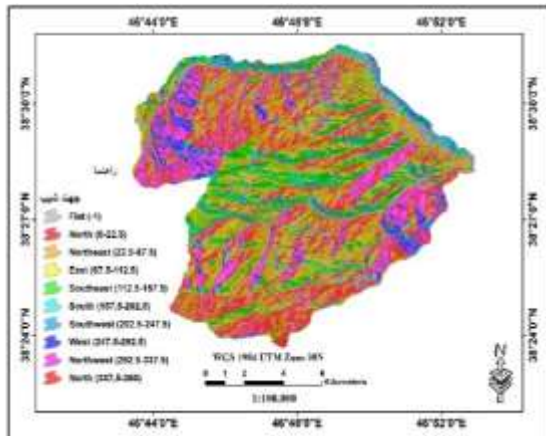
شکل ۲: مناطق مستعد زمین لغزش

Figure 2: Land susceptible lands

از بین این زمین لغزش‌ها شناسایی شده به وسیله روش شیء‌گرا، که صحت آن‌ها از روی پیمایش زمینی و برداشت نقاط به وسیله GPS مورد تایید قرار گرفته است، ۶۶ درصد برای اجرای مدل و پیدا کردن وزن کلاس‌ها و ۳۴ درصد مابقی زمین لغزش برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). همچنین با استفاده از باندهای ۳ و ۴ تصاویر ماهواره لندست شاخص پوشش گیاهی (NDVI) حوضه تهیه شد (شکل ۷). برای تهیه نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه از محیط نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI و روش طبقه‌بندی نظارت شده (الگوریتم حداکثر مشابهت^۸ (MLC) و نیز تصویررنگی کاذب (RGB)، ماهواره لندست استفاده شده است (شکل ۸) و لایه گسل به صورت فاصله از گسل‌ها (شکل ۹) همچنین با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جیرنده لایه جنس سازندها (شکل ۱۰) تهیه شد. در نهایت برای به دست آوردن لایه پهنه‌های بارشی حوضه از آمار ایستگاه هواشناسی تازه‌کند اهر در بازه زمانی (۱۹۹۴-۲۰۱۴)، استفاده شد و لایه بارش به صورت پهنه‌های بارشی به دست آمد (شکل ۱۱).

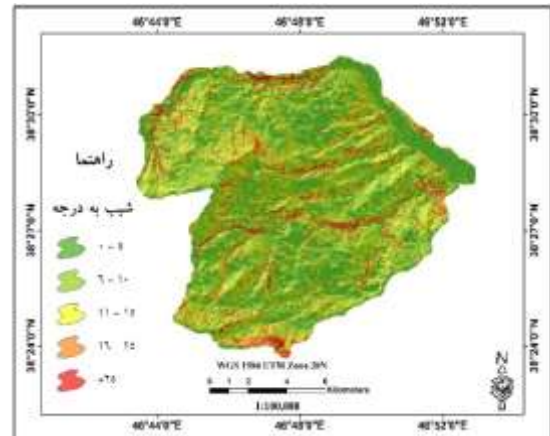
7- Google Earth

8- Maximum Likelihood Classifier



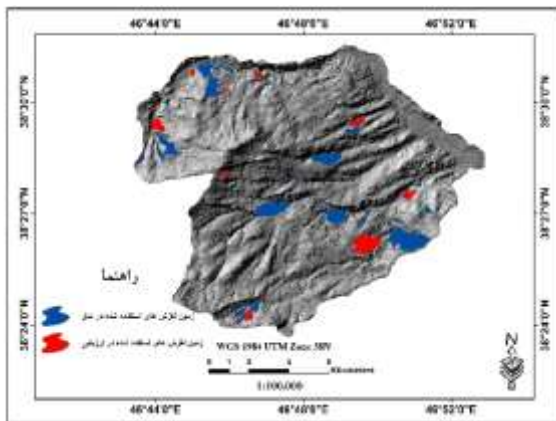
شکل ۴: نقشه جهت شیب

Figure 4: The direction of the gradient



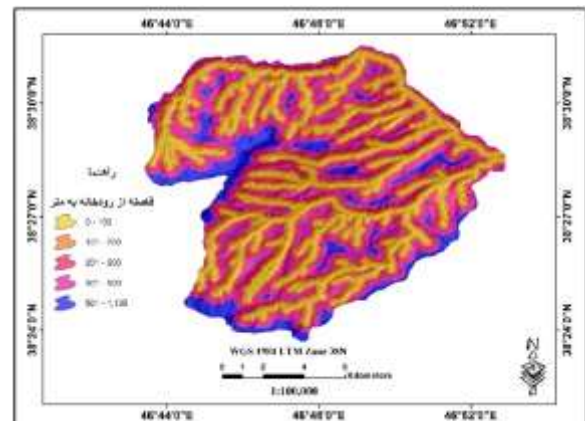
شکل ۳: نقشه شیب

Figure 3: Tilt map



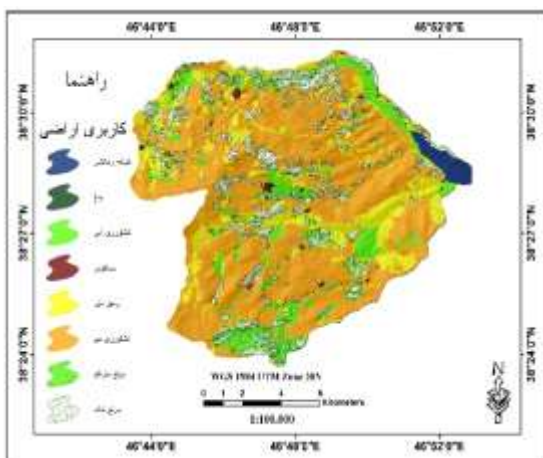
شکل ۶: نقشه زمین لغزه‌های منطقه

Figure 6: Map of the area's slopes



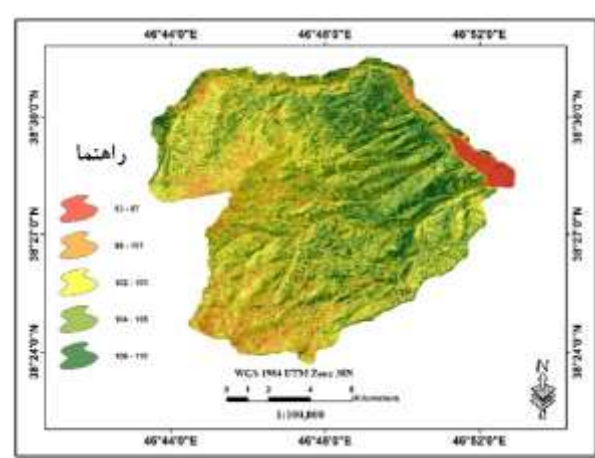
شکل ۵: نقشه فاصله از رودخانه

Figure 5: Distance map of the river



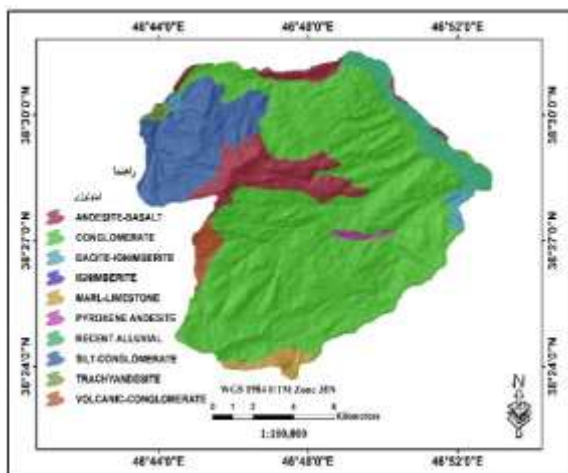
شکل ۸: نقشه کاربری زمین

Figure 8: Land use Map



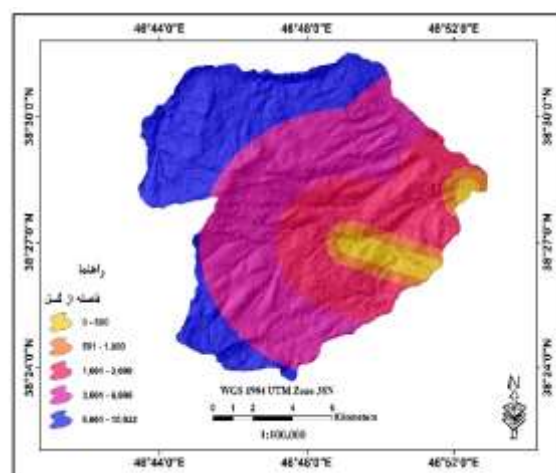
شکل ۷: نقشه تراکم پوشش گیاهی

Figure 7: Vegetation density map



شکل ۱۰: نقشه جنس سازند

Figure 10: Map of the form of the formation



شکل ۹: نقشه فاصله از گسل

Figure 9: Map distance from the fault

- شاخص قدرت آبراهه SPI

(Moor et al (1986)، معادله (۱) را برای محاسبه شاخص قدرت رودخانه (SPI) پیشنهاد نمودند که در این معادله اندازه قدرت فرسایش جریان آب بر این فرض استوار است که عمل تخلیه متناسب با وسعت حوضه صورت می گیرد. به طور کلی این شاخص در نواحی که نیمرخ و مماسی^۹ محذب دارند (مناطق همگرا و تند)، فرسایش ویژه و در نواحی که نیمرخ مقعر دارند (مناطق با کاهش ظرفیت جریان) رسوب ویژه را پیش بینی می کند.

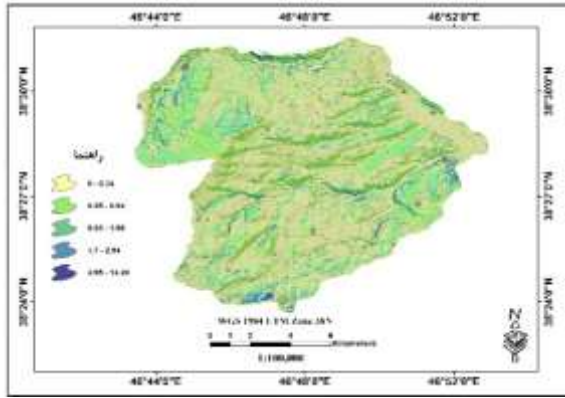
$$SPI = A_s \cdot \tan\beta \quad \text{رابطه (۱)}$$

- شاخص حمل رسوب STI

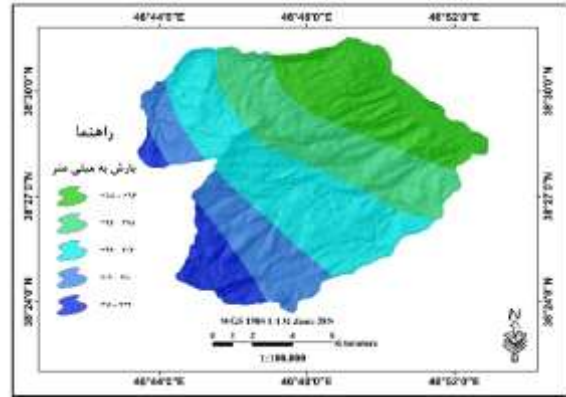
از جمله شاخص های هیدرولوژیکی که در این مطالعه استفاده شده شاخص حمل رسوب است. این شاخص قدرت فرسایشی جریان ها را در روی زمین نشان می دهد. رابطه تجربی رابطه (۲) که برای به دست آوردن این شاخص وجود دارد شبیه معادله جهانی فرسایش خاک است از این رو می تواند در نشان دادن موقعیت مناطق با خطر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد (Moor & Burch, 1986).

$$STI = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{0.62} \left(\frac{\sin\beta}{0.0896}\right)^{1.3} \quad \text{رابطه (۲)}$$

این پارامتر بر اساس مساحت حوضه (A_s) و سینوس گرادیان شیب ($\sin\beta$) قابلیت حمل رسوب در حوضه را کنترل می کند. بر همین اساس ممکن است سیستم زهکشی را آشفته کند و دامنه هایی با گرادیان شیب کم به ایجاد زمین لغزش تمایل پیدا کنند (Nefeslioglu et al, 2008). (شکل ۱۲) نقشه مربوط به این لایه را نشان می دهد.



شکل ۱۲: نقشه شاخص قدرت آبراهه (SPI)
Figure 12: Stream Power Rating Map (SPI)



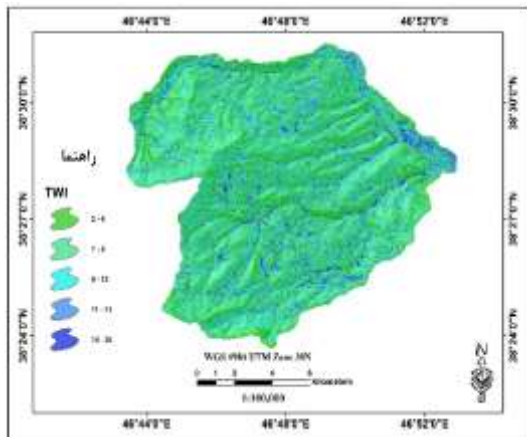
شکل ۱۱: نقشه بارش
Figure 11: Precipitation Map

- شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)

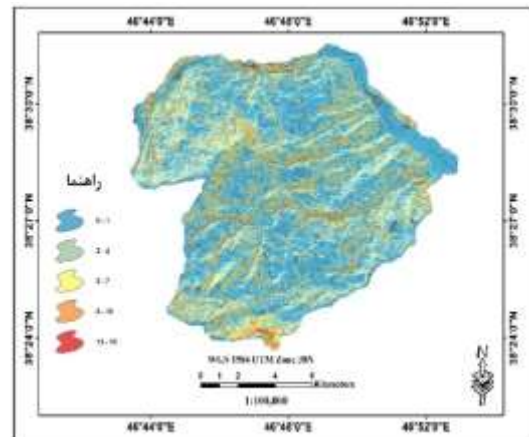
شاخص رطوبت توپوگرافیک (شاخص ترکیب توپوگرافیک^{۱۰} (CTI) یا رطوبت خاک^{۱۱}) که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می شود (Wilson & Gallant, 2000) به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$TWI = LN\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

این شاخص برای مطالعه حساسیت زمین لغزش استفاده می شود (Gorum et al, 2008). از شاخص رطوبت توپوگرافیک می توان برای ارزیابی الگوی فضایی رطوبت خاک و تغییراتی که به دلیل فرسایش در بافت خاک رخ داده استفاده کرد (Schmidt & Persson, 2003; Grabs et al, 2007). این شاخص عموماً برای تعیین کنترل توپوگرافیک بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می شود (Sorensen et al, 2006) و مقادیر بالای TWI معمولاً در بدنه زمین لغزش ها پیدا می شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)
Figure 14: Topographic Humidity Index (TWI)



شکل ۱۳: شاخص قدرت آبراهه (STI)
Figure 13: Stream Power Index (STI)

10- Compound Topographic Index
11- Soil Wetness

یافته‌ها و بحث

برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه از روش وزن شواهد^{۱۲} (Carter et al, 1989) استفاده شد. این مدل به‌عنوان مدلی سودمند و آزمایش شده در زمینه‌های مختلف، همچون مطالعه حرکات توده‌ای، تحقیقات معدنی و نقشه‌کشی چشمه‌های آب زیرزمینی است (Poli & Sterlacchini, 2007; Barbieri & Cambuli: 2009). مدل وزن شواهد (WofE) یک روش آماری مبتنی بر تئوری احتمالات بیز است (Denison et al, 2002)، این مدل وابستگی موجود بین یک واقعه (زمین لغزش‌های رخ داده) و عامل‌های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را تخمین می‌زند. مدل فوق در سال (۱۹۸۸) برای اکتشافات معدنی مورد استفاده قرار گرفت (Carter et al, 1988). متعاقباً در سال (2002) Van Westen آن را برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار داد. اگر ما عامل‌های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را B_i ، کلاس‌های هر پارامتر را B_i و زمین لغزش رخ داده را S در نظر بگیریم، در این صورت تئوری بیز را برای محاسبه احتمال شرطی وقوع زمین لغزش (S) در کلاس معین (B_i)، می‌توان به‌صورت رابطه زیر به‌کار برد:

$$P(s|B_i) = \frac{P(B_i|s) \times P(s)}{P(B_i)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه فوق $P(s)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد s در محدوده مورد مطالعه (AS)، $P(B_i)$: احتمال وقوع کلاس B_i در محدوده مورد مطالعه (AS)، $P(B_i|s)$ احتمال وقوع پیشامد B_i به شرطی که پیشامد S اتفاق افتاده باشد $P(s|B_i)$: احتمال وقوع پیشامد S به شرطی که پیشامد B_i اتفاق افتاده باشد (Piacentinia et al, 2012:199). احتمال شرطی وقوع زمین لغزش زمانی که کلاس B_i اتفاق نیفتاده باشد نیز به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$P(s|B_i^{\wedge}) = \frac{P(B_i^{\wedge}|s) \times P(s)}{P(B_i^{\wedge})} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در معادله فوق $P(s)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده مورد مطالعه (AS)، $P(B_i^{\wedge}|s)$ احتمال شرطی نبود کلاس B_i به شرطی که S اتفاق افتاده باشد، احتمال اولیه نبود کلاس B_i در محدوده مورد مطالعه (AS). بخش‌های مختلف معادلات فوق را می‌توان به‌صورت روابط (۶ تا ۱۲) محاسبه کرد (Piacentinia et al, 2012: 199).

$$P(S) = \frac{\text{area } S}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$P(B_i) = \frac{\text{area } B_i}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$P(B_i^{\wedge}) = \frac{\text{area } B_i^{\wedge}}{\text{area } AS} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$P(S|B_i) = \frac{(\text{area } S \text{ AND area } B_i / \text{area } B_i)}{P(B_i)} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$P(B_i|s) = \frac{(\text{area } S \text{ AND area } B_i / \text{area } B_i)}{P(S)} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$P(s|B_i^{\wedge}) = \frac{(\text{area } S \text{ AND area } B_i^{\wedge} / \text{area } B_i^{\wedge})}{P(B_i^{\wedge})} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$P(B_i^{\wedge}|s) = \frac{(\text{area } S \text{ AND area } B_i^{\wedge} / \text{area } B_i^{\wedge})}{P(S)} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در روش وزن شواهد، وزن کلاس‌های هر پارامتر به وسیله ترکیبی از ارزش‌های مثبت و منفی (W^+ و W^-) از طریق تئوری بیز و نیز اختلاف تفاضل بین آن‌ها محاسبه می‌شود و در نهایت با استفاده از رابطه (۱۶) وزن نهایی کلاس‌ها حاصل می‌شود.

$$W^+ = \text{LN}(P(B_i|s)/P(B_i)) \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$W^- = \text{LN}(P(B_i^{\wedge}|s)/P(B_i^{\wedge})) \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$C = W^+ - W^- \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

$$W_{\text{final}} = C/S_c \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

در روابط فوق LN لگاریتم بر مبنی عدد نپر، C تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استاندارد شده و S_c انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن‌های مثبت و منفی است (Pour ghasemi et al, 2013: 117).

در (جدول ۱) اوزان به دست آمده برای هر یک از کلاس‌های پارامترهای مورد نظر به همراه سایر اطلاعات مربوط به آن آمده است.

جدول ۱- جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاسها بر اساس روابط تئوری بیز

Table 1- Table of Parameters and Weight of each class based on Bias Theory

وزن	Sc	(w-) s2	(w+) s2	C	w-	w+	کلاس	پارامترها
۱۰/۲۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۰۴۴	۰/۲۳۷۶	-۰/۰۴۸	۰/۱۸۹	۱/۷-۵	شاخص TWI
۱/۳۵	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰۰۹۹	۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۲۶۴	-۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۱۷	۵-۸	
۲۷/۴	۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۲	۰/۴۸۹	-۰/۱۹۲	۰/۲۹۸	۸-۱۱	
۳۴/۳	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۰۴۲	۰/۷۷۳	-۰/۱۳۸	۰/۶۳۶	۱۱-۱۶	
۱۲/۳	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۵۴۳	-۰/۰۲۰۴	۰/۵۲۳	۱۶>	شاخص STI
۴۵/۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۲۱	۰/۸۱۲	-۰/۲۸۹	۰/۵۲۳	۰-۲	
۳۰/۷	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۵۶۲	-۰/۱۹۹	۰/۳۶۳	۲-۴	
۱/۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۰۳۸۹	۰/۰۳۳	-۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۵	۴-۷	
-۷/۵	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۰۰۶۸	-۰/۲۰۸	۰/۰۲۹	-۰/۱۷۸	۷-۱۱	
-۱۰/۲	۰/۰۴۹	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۰۲۳۵	-۰/۵۰۲	۰/۰۲۳۷	-۰/۴۷۸	<۱۱	شاخص SPI
۱۰/۲۱	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۰۴۴	۰/۲۳۶	۰/۰۴۷۸	۰/۱۸۸	-۰/۳۳۷ ۰/۰۰۰۰۰۶	
۲۰/۹۴	۰/۰۱۹۸	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۴۱۵	-۰/۱۲۰۶	۰/۲۹۴	-۰/۹۱۵۸ ۰/۳۳۷۴	
۲۰/۰۶	۰/۰۱۷۶	۰/۰۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۱۸	۰/۳۵۲	-۰/۱۵۳	۰/۱۹۹	۰/۹۱۵-۱/۶۸۷	
۱۲/۵۷	۰/۰۲۵۴	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۰۵۶	۰/۳۹۶	-۰/۰۶۲	۰/۳۳۴	۱/۶۸۷-۲/۹۴	
۱۴/۵۹	۰/۰۳۵۱	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۰۱۱۵	۰/۵۱۲	-۰/۰۲۹۷	۰/۴۸۲	۲/۹۴>	تراکم پوشش گیاهی
۴/۸۴۳	۰/۰۲۱۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳۶	۰/۱۰۵۶	-۰/۰۳۲	۰/۰۷۴	۹۳-۹۷	
۳۶/۴۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۲۴۷	۰/۷۰۵۹	-۰/۲۵	۰/۴۵۴	۹۷-۱۰۱	
۲۳/۸۷	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۵	۰/۵۸۵۵	-۰/۱۰۸	۰/۴۷۷	۱۰۱-۱۰۳	
۲/۷۳	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۵۶۹	-۰/۰۱۶۶	۰/۰۴	۱۰۳-۱۰۵	
۲/۶۴	۰/۲۳۵۹	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۰۰۰۰۵۵	۰/۶۲۲۵	-۰/۰۰۰۶	۰/۶۲۲	۱۰۵-۱۱۰	فاصله از گسل
-۷/۷۷	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۲۶	-۰/۱۴۹	۰/۰۴۸۸	-۰/۱	۰-۲۰۰۰	
۱۳/۴۵	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۲۹۸	-۰/۰۷۴۲	۰/۲۱۷	۲۰۰۰-۳۸۰۰	
۲۸/۴۸	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۰۰۰۴۴	۰/۶۵۷	-۰/۱۲۸۱	۰/۵۲۹	۳۸۰۰-۵۶۰۰	
۲۸/۹۸	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۰۰۰۰۶۵	۰/۸۱	-۰/۰۹۷	۰/۷۱۵	۵۶۰۰-۷۴۰۰	
۳۰/۱۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۵۹۸	-۰/۱۵۱	۰/۴۴۷	۷۴۰۰>	جهت شیب
-۲۴/۳۲	۰/۰۲۲۹	۰/۰۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۰۵	-۰/۵۵۷	۰/۰۲۹۵	-۰/۵۲۷	مسطح	
۴۱/۴۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۰۲۷۹	۷/۳۱۵	۰/۴۱۶۶	-۰/۰۹۸۸	۰/۳۱۷	شمال	
۲۳/۱۱	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۰۰۲۶۷	۸/۲۵۴	۰/۲۴۱۶	-۰/۰۵۳۹	۰/۱۸۷	شمال شرقی	
-۳۰/۳۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰۰۲۲۴	۰/۰۰۰۰۲	-۰/۴۵۶۹	۰/۰۵۵۶	-۰/۴۰۱	شرق	

ادامه جدول ۱- جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاسها بر اساس روابط تئوری بیز

Continued Table 1- Table of parameters and weights of each class based on the relationship of the theory of bay

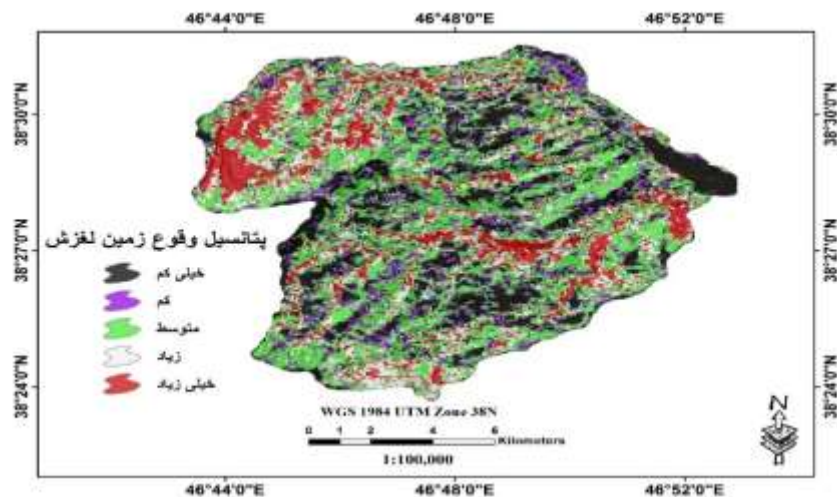
وزن	Sc	(w-) s2	(w+) s2	C	w-	w+	کلاس	پارامترها
-۴۹/۵۸	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۰۲۱۲	۰/۰۰۰۰۴۲	-۱/۰۴۴	۰/۰۸۴۴	-۰/۹۵۹	جنوب شرقی	میزان بارش
-۲۷/۶۴	۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۰۰۲۰۶	۰/۰۰۰۰۹۹	-۰/۸۸۱۷	۰/۰۲۸۲	-۰/۸۵۳	جنوب	
-۹/۰۹۹	۰/۰۲۸۶	۰/۰۰۰۰۲۰۷	۰/۰۰۰۰۸۰۱	-۰/۲۶۰۸	۰/۰۰۷۴۹	-۰/۲۵۳	جنوب غربی	
۴۴/۶۷	۰/۰۱۶۲	۰/۰۰۰۰۲۲۰	۰/۰۰۰۰۲۴۳	۰/۷۲۷۶	-۰/۰۴۳۹	۰/۶۸۳	غرب	
۱۹/۷۰۸	۰/۰۱۲۱	۰/۰۰۰۰۲۴۱	۰/۰۰۰۰۱۲۳	۰/۲۳۹۷	-۰/۰۳۵۴	۰/۲۰۴	شمال غرب	
۵۵/۵۶۲۵	۰/۰۲۳۵	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۴۶۶	۱/۳۰۴	-۰/۱۷۳	۱/۱۳۱	۳۸۷/۷۶-۳۹۰	
۳/۹۳۵	۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۸۰۴	-۰/۰۲۸	۰/۰۵۲	۳۹۰-۳۹۸	
۱۲/۶۱۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۷	۰/۲۱۹	-۰/۰۹۶	۰/۱۲۳	۳۹۸-۴۰۵	
۲۴/۸۱	۰/۰۲۴۲	۰/۰۰۰۰۸۶	۰/۰۰۰۰۵	۰/۶۰۰۹	-۰/۰۸۷	۰/۵۱۴	۴۰۵-۴۱۰	
۲/۰۲۲	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۰۷۷	۰/۰۰۱	۰/۰۸۲۹	-۰/۰۰۵۷	۰/۰۷۷	<۴۱۰	
۵۵/۵۶۲۵	۰/۰۲۳۵	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۴۶۶	۱/۳۰۴	-۰/۱۷۳	۱/۱۳۱	۳۸۷/۷۶-۳۹۰	کاربری زمین
-	-	۰/۰۰۰۰۵۵۳	-	-	۰/۰۱۸۳۵	-	آب	
-۱/۵۷۰۸	۱/۰۰۰۰۲۷	۰/۰۰۰۰۵۵	۱	-۱/۵۷۱	۰/۰۰۲۱	-۱/۵۶۹	باغ	
۳۰/۹۳۳	۰/۰۴۷۱	۰/۰۰۰۰۱۰۳	۰/۰۰۰۱۱	۱/۴۵۸	-۰/۴۴۳	۱/۰۱۵۴	بایر	
-۳/۵۶۷۴	۰/۱۲۸۲	۰/۰۰۰۰۵۷۳	۰/۰۰۱۵۸۷	-۰/۴۵۷۴	۰/۰۲۰۰۲	-۰/۴۳۷	کشاورزی آبی	
-	۰	-	-	۰/۰۰۰۰۵۵	-	-	مسکونی	
۱۹/۴۳۴	۰/۰۶۳۵۶	۰/۰۰۰۰۶۶۱۸	۰/۰۰۰۰۳۳۷	۱/۲۳۵۳	-۰/۱۲۳۵	۱/۱۱۱۸	کشاورزی دیم	
-	۰/۰۵۷۲۸۹	۰/۰۰۰۰۷۰۴	۰/۰۰۰۰۲۵۷۷	-	-۰/۲۴۴۶۷	-	مرتع تنک	
-۲۹/۷۶۲۲	۰/۱۱۴۳۶	۰/۰۰۰۰۵۷۹	۰/۰۰۱۲۵	-۳/۴۰۳۷۱	۰/۸۲۷۳	-۲/۵۷۶۳	مرتع متراکم	درجه شیب
۱۵/۷۸	۰/۰۳۷۲	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۵۸۶	-۰/۰۳۷	۰/۵۴۹	۰-۵	
۳۸/۵۸	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۰۰۰۳۴	۰/۸۰۵	-۰/۱۸۰۷	۰/۶۲۴	۵-۱۵	
۳۹/۳۳	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۵۷۵	-۰/۲۷۵۹	۰/۲۹۹	۱۵-۲۵	
-۴/۰۷۶۶	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۰۰۰۳۵	-۰/۰۸۶	۰/۰۲۲۳	-۰/۰۶۴	۲۵-۴۰	
-۱/۰۶۲	۰/۰۳۶۵	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۰۰۰۱۲	-۰/۳۸۷۵	۰/۰۳۱۹	-۰/۳۵۵	۴۰<	
۸۹/۴۵۲	۲۳/۸۲۱	۰/۶۲۱	۰/۰۰۰۸۶۵	۰/۰۴۳۵	۰/۹۸۸۶	۰/۲۶۷	کنگلومرا- آبرفت	
۷۵/۱۶۴۷	۱۲/۱۶۴۸	۰/۰۰۵۶۶۱	۰/۰۰۰۰۷۱۱	۰/۰۰۰۲۴۹	۰/۶۸۸۶	-۰/۱۱۷	سیلت-ایگنمبرت	
-	-	-	۰/۰۰۰۰۵۵۳	-	-	۰/۰۰۰۰۳۳۲۲	ایگنمبرت	
-	-	-	۰/۰۰۰۰۵۵۳	-	-	۰/۰۱۶۰۹	کنگلومرا- آتشفشانی	

ادامه جدول ۱- جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها بر اساس روابط تئوری بیز

Continued Table 1- Table of parameters and weights of each class based on the relationship of the theory of bay

-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	۰/۰۱۱۰۴	داسیت-ایگنمیرت		
۶۵/۹۹۷۰۹	۰/۹۹۷۰۹	۰/۲۸۹۶۳	۰/۰۰۰۵۵۷	۰/۰۸۳۳۳	۰/۲۸۸۷۹	-۰/۰۰۱۶۶	پیروکسین-آندزیت		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳	-	-	۰/۰۱۸۲۱۵	مارن-سنگ آهک		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	*	l		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	*	m		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	*	n		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	*	o		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	*	p		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	-	q		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	-	r		
-	-	-	۰/۰۰۰۵۵۳۴	-	-	-	s		
۳۶/۴۵	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۳	۰/۶۷۳	-۰/۲۰۱	۰/۴۷۲	۰-۱۲۵		فاصله از رودخانه
۳۷/۰۹۵	۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۷	-۰/۲۰۲	۰/۴۹۸	۱۲۵-۲۷۰		
۲۰/۶۵	۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۴۲	۰/۴۷	-۰/۰۹۵	۰/۳۷۳	۲۷۰-۴۲۰		
۴/۵۲	۰/۰۲۲۴	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۰۴۱	۰/۱۰۱	-۰/۰۲۵	۰/۰۷۶	۴۲۰-۶۳۰		
-۱۷/۵	۰/۰۴۲۱	۰/۰۰۰۰۷۷	۰/۰۰۱۷	-۰/۷۳۶	۰/۰۷۵	-۰/۶۶۲	۶۳۰<		

پس از این که وزن هر یک از کلاس‌های پارامترهای در نظر گرفته شده به دست آمد، در محیط نرم‌افزار Arc map وزن مربوط به هر کلاس اعمال شد و با روی هم‌گذاری پارامترها نقشه نهایی برای حساسیت زمین لغزش به دست آمد. با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی^{۱۳} نقشه به دست آمده در ۵ کلاس حساسیت وقوع زمین لغزش دسته‌بندی شد (شکل ۱۵).



شکل ۱۵: نقشه پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش در کناره جنوبی اهرچای تا سد ستارخان
Figure 15: Landslide Sensitivity Map on the South Aharcheh Side to Sattarkhan Dam

نتیجه گیری

در این پژوهش جهت استخراج زمین لغزش‌ها ابتدا ترکیب باندی مناسب (۲ و ۳ و ۴)، ایجاد شدند. سپس عملیات سگمنت سازی با اعمال الگوریتم *Multiresolution segmentation* انجام گرفت. از میان مقیاس‌های مختلف، مقیاس ۳۵ به‌عنوان مقیاس مناسب انتخاب شد و ضریب شکل و ضریب فشردگی هر کدام به ترتیب ۰/۲ و ۰/۵ انتخاب شدند و در پایان با تعریف شرایط مختص هر کلاس، طبقه‌بندی انجام گرفت در مرحله آخر برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی انجام شده اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی کرده و در طی عملیات میدانی به‌طور تصادفی نقاط کنترل با GPS از سطح منطقه برداشت شده و پارامترهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی شامل ضرایب آماری کاپا و همچنین دقت کلی طبقه‌بندی استخراج شد. با توجه به نقشه تهیه شده و اطلاعات (جدول ۱) در لایه نوع سازند، تراس‌های آبرفتی قدیمی و سازند کنگلومرای، بیش‌ترین تاثیر و وزن را به خود اختصاص داده است. تناوب توف سیلت-ایگنیمبرت با میان لایه‌ای از ماسه سنگ و کنگلومرا در رده بعدی قرار دارد. همچنین سازندهای پیروکسین و آندزیت در بین سایر لایه‌های سنگ‌شناسی کم‌ترین وزن و اثر را در ایجاد زمین لغزش‌های منطقه داشته‌اند. در بین کلاس‌های مختلف کاربری زمین، مرتع متوسط با بیش‌ترین وزن بیش‌ترین تاثیر را در رخ داد زمین لغزش‌های منطقه داشته است که می‌تواند در رابطه با تمرکز فعالیت‌های انسانی و مراکز جمعیتی در این مناطق باشد. در بین جهت‌های مختلف شیب، جهات شمالی و شمال‌غربی بیش‌ترین و جهات جنوبی و جنوب‌شرقی کم‌ترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند. همچنین شیب‌های ۵-۱۵ و ۲۵-۱۵ به ترتیب بیش‌ترین تاثیر و وزن را در وقوع زمین لغزش دارا می‌باشند. در لایه فاصله از رودخانه نیز کلاس ۱۲۵-۲۷۰ متر بیش‌ترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند. پراکنش فضایی لغزش‌ها در کلاس‌های پنجگانه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد ارزیابی آماری قرار گرفت که نتایج آن در (جدول ۲) ارائه شده است.

جدول ۲- مساحت کلاس‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزه‌های رخ داده

Table 2- Area of zoning classes Landslide susceptibility and percentage of land occurring Slippery

کلاس حساسیت	مساحت هر کلاس به درصد	مساحت زمین لغزش‌های رخ داده به درصد
حساسیت خیلی کم	۱۸/۶۴	۶/۷۱
حساسیت کم	۱۱/۶۱	۴/۶۴
حساسیت متوسط	۳۴/۲۸	۲۰/۲۹
حساسیت زیاد	۲۰/۰۸	۳۱/۵۰
حساسیت خیلی زیاد	۱۵/۳۶	۳۶/۸۴

با توجه به نتایج ارزیابی بیشترین مقدار زمین لغزش‌ها در کلاس چهار و پنج رخ داده است. طبق اطلاعات جدول با افزایش کلاس خطر تراکم زمین لغزش‌ها در آن کلاس افزایش می‌یابد به طوری که کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد حدود ۶۸/۳۴ درصد زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. این در حالی است که مساحت این کلاس‌ها نسبت به کل منطقه مورد مطالعه تنها ۳۵/۴۴ درصد است. کلاس‌های با حساسیت خیلی کم، کم و حساسیت متوسط با این که حدود ۶۴/۵۳ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند اما تنها بخش ناچیزی از زمین لغزش‌های رخ داده (۳۱/۶۴ درصد) در این کلاس‌ها واقع شده‌اند این در حالی است که مابقی لغزش‌های رخ داده در منطقه یعنی ۵۸/۳۴ درصد آن‌ها در کلاس‌های چهارم و پنجم نقشه پهنه‌بندی (پهنه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد) واقع شده‌اند.

حرکات توده‌ای از نوع زمین لغزش‌ها بر روی دامنه‌ها شکلی از فرآیندهای دامنه‌ای و نوعی از مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله در نقاط مختلف جهان خسارات مالی، جانی و زیست‌محیطی زیادی به بار می‌آورند. شناسایی و پهنه‌بندی نواحی مستعد زمین لغزش گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به شمار می‌رود و در مدیریت حوضه‌ی آبخیز نقش انکار نشدنی دارد. در این پژوهش به جهت شناسایی زمین لغزش‌های موجود از روش دانش پایه شی گراء در محیط نرم‌افزاری eCognition استفاده گردید. دقت کلی طبقه‌بندی معادل ۰/۹۴۵ و ضریب کاپای طبقه‌بندی نیز معادل ۰/۹۳ درصد برآورد شد. این دقت بالا بیش‌تر به این دلیل است که در این روش، علاوه بر استفاده از اطلاعات طیفی، از اطلاعات مربوط به محتوا، شکل، بافت و تن نیز برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود؛ بنابراین با بهره‌گیری از اطلاعاتی غیر از ارزش‌های عددی در طبقه‌بندی تصاویر، موجبات افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود. در ادامه با استفاده از تئوری بیز و ۱۱ پارامتر در نظر گرفته شده عمل پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه انجام شد و نتیجه کار به صورت یک نقشه پهنه‌بندی شده در پنج کلاس حساسیت ارائه گردید. طبق نقشه پهنه‌بندی ۱۵/۳۶ درصد منطقه در کلاس با پهنه حساسیت خیلی زیاد، ۲۰/۰۸ درصد در کلاس با حساسیت زیاد، ۳۴/۲۸ درصد در کلاس با حساسیت متوسط، ۱۱/۶۱ درصد در کلاس با حساسیت کم و ۱۸/۶۴ درصد نیز در کلاس با حساسیت خیلی کم قرار گرفته‌اند. مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد به‌طور عمده در قسمت ورودی حوضه (غرب حوضه)، بخش مرکزی و جنوب آن واقع شده‌اند. بخش جنوب‌غربی حوضه بیش‌تر به‌صورت پهنه‌های با حساسیت کم و متوسط پهنه‌بندی شده است و تنها در مناطق حاشیه‌ای رودخانه‌ها می‌توان مناطقی با حساسیت زیاد مشاهده کرد. برای تعیین صحت نقشه‌های به دست آمده اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی گردید؛ و با برداشت نقاط کنترل زمینی دقت نتایج حاصله مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل مورد استفاده در پژوهش با قابلیت پیش‌بینی ۹۳/۳ درصد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در کلاس‌های چهارم و پنجم نقشه پهنه‌بندی توانایی مناسبی را برای انجام پهنه‌بندی زمین لغزش و پیش‌بینی آن دارد. وقوع زمین لغزش‌ها همه ساله خسارت‌ها و مشکلات جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد از جمله تخریب و پر شدن مخازن سدها، از بین رفتن مناطق مسکونی، تخریب و بستن راه‌های ارتباطی...، به همین منظور شناخت و آگاهی در مورد مناطق مستعد وقوع زمین لغزش ضروری و باید مدیریت و برنامه‌ریزی‌های کاربردی جهت کنترل و کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش ارائه گردد. منطقه‌ی مورد مطالعه هم دارای سازندهای

حساس به زمین لغزش و توپوگرافی ناهمگون می باشد و دائما در معرض حرکات توده ای (به ویژه زمین لغزش) قرار دارد.

References

- Ahmadi, A., Kamrani Delir, H., Sadeghi, M., (2010), "Landslide hazard zonation using analytical hierarchy process (AHP), Case study of Chalav Amol watershed", *Journal of Geographic Society of Iran*, 27: 203-181. [In Persian].
- Mir Ahmadabadi, A., Rahmati, M., (2015), "Application of quantitative Geomorphometric indicators for identification of landslide susceptible zones using the SVM model", *Quantitative Geomorphology Researches*, 4 (3): 213-197. [In Persian].
- Pourghasemi, H., Moradi, H., Mohammadi, M., Mostafa Zadeh R., Goli, J., (2012), "Landslide hazard zonation using Bashin theory", *Journal of Agricultural Science and Technology*, Water and Soil Science, 60: 121-109. [In Persian].
- Pour Hashemi, S., Amirahmadi, Abou-yaghasem, Akbari, E., (2015), "Selection of a suitable model among two-way statistical methods. Case study: Baghei watershed", *Geographical studies of arid regions, for landslide hazard zonation in GIS environment*, 15: 89-71. [In Persian].
- Dalal Oghli, A., Fathi, M. H., Khoshdel, K., (2015), "Application of new multi-attribute decision making methods for estimating the flood potential with emphasis on geomorphic factors (Case study: River basin of Le Chay river)", *Journal of Space Science and Research Geographical*, 17 (59): 82-67. [In Persian].
- Hosseinzadeh, M. M., Soroti, M. R., Mansouri, A., Mirbagheri, B., Khazari, S., (2009), "Risk assessment of mass movements using logistic regression model", *Iranian Geological Quarterly*, 3: 27-37. [In Persian].
- Roostaei, S., Mokhtari, D., Hosseini, Z., Hosseini, M., Atmani, H., (2015), "Investigating the potential of landslide occurrence in the valley of the Meymeh river in Ilam province, by ANP network analysis", *Hydrogeomorphology*, 4: 123-101. [In Persian].
- Abedini, M., Fathi, M. H., (2014), "Zoning of Landslide risk sensitivity in Khalkhal Chay watershed using multi-criterion models", *Quantitative Geomorphology Researches*, 2 (4): 85-71. [In Persian].
- Abedini, M., Fathi, M. H., Beheshti Javid, I., (2015), "Neotectonic activity analysis of Gechi Valley river basin using geomorphic indicators", *Geographical Space Scientific-Research Quarterly*, 52: 249-223. [In Persian].
- Fatemi Aghda, M., Ghomiyan, J., Akhil Ashgholi, F., (2003), "Evaluation of the efficiency of statistical methods in determination of landslide risk potential", *Journal of Geosciences*, 48-47: 11-25 [In Persian].
- Gharei, H. R., Bahman Bahloli, A. Shariat Jafari, M., (2011), "Preparation of landslide sensitivity map using hierarchical analysis and two-turnaround statistical model in Alborz dam reservoir", *Journal of Earth Sciences*, 21 (81): 93-100. [In Persian].
- Niazi, Y., Exclusive, M. R., Talebi, A., Arkhi, S., Mokhtari, M. H., (2010), "Estimation of the performance of a bifurcate statistical model in predicting landslide hazard in the Sedilam basin", *Iranian Journal of Watershed Engineering Sciences*, 4 (10): 20-9. [In Persian].
- Yamani, M., Ahmad Abadi, A., Zare, G. R., (2012), "Evaluation of the efficiency of artificial intelligence techniques in landslide studies with emphasis on SVM algorithm (Case study: Darakeh basin)", *Journal of Geography and Environmental Risks*, 1 (3): 102-119. [In Persian].
- Barbieri, G., Cambuli, P., (2009), "The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy), In: Anderssen", R. S.,

- Braddock, R. D., Newham, L.T. H., (Eds.), 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, July 2009, pp 2658-2664.
- Blaschke, T., (2009), "Object based image analysis for remote sensing", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34: 10-21. [on line]: www.Elsevier.com/locate/isprsjprs .
- Carter Bonham, G. F., Agterberg, F. P., Wright, D. F., (1988), "Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia", *Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 1585-1592.
- Carter Bonham, G. F., Agterberg, F. P., Wright, D. F., (1989), "Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In: Agterberg, F. P., Bonham-Carter, G. F., (Eds.)", *Statistical applications in the Earth Sciences: Geological Survey of Canada*, 89 (9): 171-183.
- Chong, X., Lingling, S., Genlong, W., (2016), "Soft computing in assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility", *Environ Earth Sci*, 75: 767-781.
- Chau, K.T., Sze, Y. L., Fung, W.Y., Wong, E. L., Fong, L. C. P., (2003), "Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS K.T.", *Computers & Geosciences*, 30: 429-443.
- Demir, G., Aytakin, M., Akgum, A., (2014), "Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar- Resadiye (Tokat, Turkey)". *Arab. J. Geosci.* [on line]: <http://dx.doi.org/10>.
- Denison, D. G.T., Holmes, C. C., Mallick, B. K., Smith, A. F. M., (2002), "Bayesian methods for nonlinear classification and regression. John Wiley & Sons: Chichester.
- Fathi, M. H., Khohdel, K., Shoreh kandi, A., Ashrafi, feini, Z., Khaliji, M. A., (2015) "The combination of spectral and spatial data in zoning of landslide susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir)", *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*. 6 (2): 515-527.
- Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A., (2008), "Implementation of reconstructed geomorpholog icunits in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NWTurkey)", *Natural Hazards*, (46): 323-351.
- Grabs, T., Seibert, J., Laudon, H., (2007), "Modelling spatial patterns of saturated areas: a comparison of the topographic wetness index and a distributed model", *Journal of Hydrology*, 373 (1): 15-23.
- Gruber, S., Huggel, C., Pike, R., (2009), "Modeling mass movements and landslide susceptibility", *Developments in Soil Science*, 33: 527-550
- Mathew, J., Jha, V. K., Rawat, G. S., (2007), "Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand: *Current Sci*, 92 (5): 628-638.
- Abedini, M., Fathi, M. H., (2016), "Javid; Neotectonical Activity Analysis of Gachi Daraci Valley River Basin Using Geomorphic Indicators; Quarterly", *Journal of Geographical Space*, 52; 223-249.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., (2012), "Landslide susceptibility mapping at Golestan province, Iran: Acomparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models", *Journal of Asian Earth Sciences*, 61: 221-236.
- Moore, I. D., Burch, G. J., (1986), "Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory", *Water Resource*, 22: 1350-1360.

- Nefeslioglu, H. A., Duman, T.Y., Duemaz, S., (2008), "Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit valley (Eastern Black Sea region of Turkey)", *Geomorphology*, (94): 401-418.
- Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013), "Level-2 susceptibility zoning on seismic-induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy", *Physics and Chemistry of the Earth*, 63: 147-159.
- Piacentini, D., Troiani, F., Soldati, M., Notarnicola, C., Savelli, D., Schneiderbauer, S., Strada, C., (2012), "Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy)", *Geomorphology*, 151: 196-206.
- Poli, S., Sterlacchini, S., (2007), "Landslide representation strategies in susceptibility Studies using weights-of-evidence modeling technique", *Natural Resources Research*, 16: 121-134.
- Sarolee, K. M., (2001), "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Korea", *Environmental Geology*, 40: 1095-1113
- Schmidt, F., Persson, A., (2003), "Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices", *Precision Agriculture*, 4: 179-192.
- Sidle, R. C., Ochiai, H., (2006), "Landslides: processes, prediction, and land use", *Water Resource Monograph*, 18: 170-187.
- Sorensen, R., Zinko, U., Seibert, J., (2006), "On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2: 1807-1834.
- Vittorio De Blasio, F., (2011), *"Introduction to the physics of landslides"*, Springer: "Berline..
- Wilson, J. P., Gallant, J. C., (2000), "Digital terrain analysis. In: Wilson", J. P., Gallant, J. C., (Eds.), *Terrain Analysis*, John Wiley & Sons, New York.