Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۲۵

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 رخ‌داده در گذشته که به‌وسیله 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 به‌دست آمد. با توجه به نقشه به‌دست 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 ۲۷۰-۱۲۵ متر از رودخانه بیش‌ترین وزن و

۱- گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران. E-mail: Geo.fathi@ tabrizu.ac.ir
*۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول). E-mail: musaabedini@yahoo.com
۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 ۰/۹٤٥ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۳ زمین لغزش‌ها در کلاس خطر زیاد و خیلی‌زیاد 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; Paulti 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 تکتونیکی 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 محدوه فعالیت‌های بشری حائز اهمیت بوده و از سویی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 شیءگراء 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 لغزه ها از تصاویر سنجش از دور در مقایسه با روش‌های قدیمی پیکسل پایه است که عمدتا از اطلاعات طیفی و ترکیبی استفاده می‌کند تحلیل شی گرا از فرآیند تفسیر شناختی انسان تقلید می‌کند و پتانسیل شناسایی فرآیندهای ژئومورفولوژی معنادار مانند زمین لغزه را دارد، معمولا 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 نسبتا، 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 هنک‌گنگ افزایش یافته و همبستگی شدیدی مابین داده‌های بارندگی و نتایج زمین لغزش‌ها نشان داده شد و نهایتا 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 ۸٤/٦٪ و قابل قبول می‌باشد. Piacentinia et al (2012)، با استفاده از مدل تئوری بیزین پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه

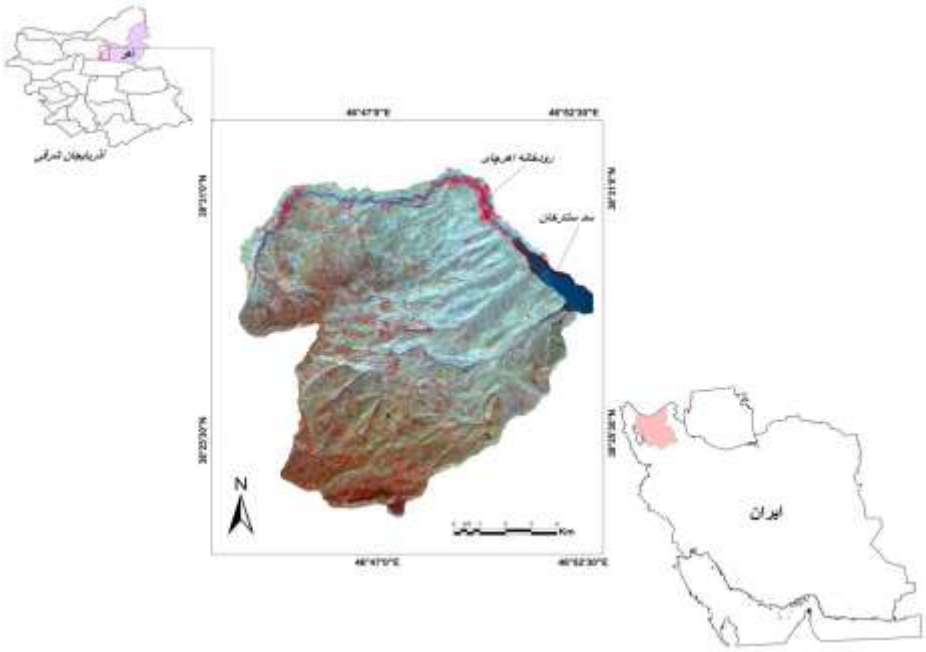
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 ROCاستفاده 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 به‌ترتیب 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 (Amir Ahmadi et al, (2011، Farahi et al (2012) 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 ٤٦ درجه و ٤٧ دقیقه تا ٤٦ درجه و ٥٢ 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 (۱۹۹٤-۲۰۱٤)، ایستگاه تازه‌کند اهر، استفاده شد. ضریب کشیدگی (گراولیوس) حوضه اهر چای در این ایستگاه برابر ۱/٤٤ و ضریب آبدهی ویژه برابر ($L.s^{-1}.km^{-2}$) ۲/۱ می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied area

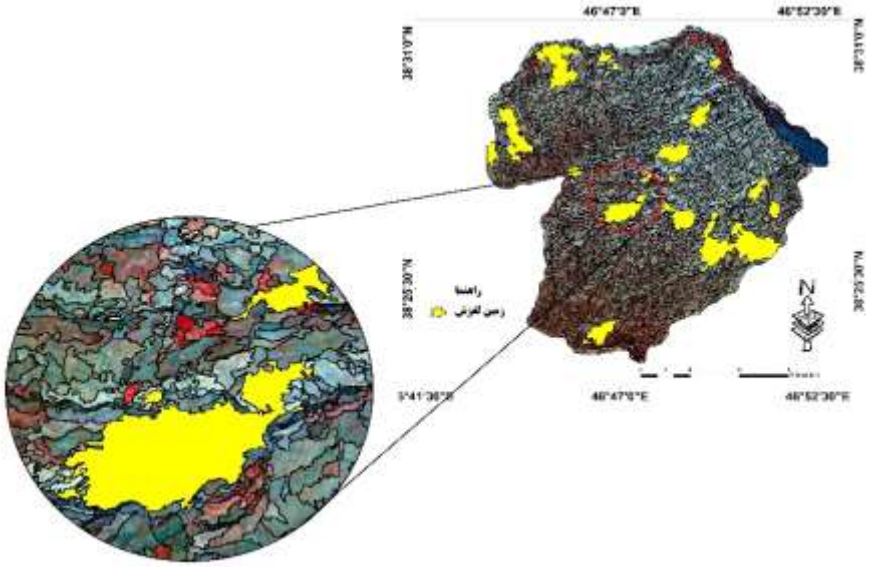
مواد و روش‌ها

برای اجرای مدل و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، ابتدا اقدام به شناسایی و استخراج زمین لغزش‌های موجود با استفاده از روش دانش پایه شی گراء گردید. در روش پردازش شیءگرا 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 به‌صورت جداگانه تعریف می‌شود که در طبقه‌بندی شیءگرای تصاویر در محیط نرم‌افزار eCognition از اهمیت بالایی برخوردار بوده و مبنای طبقه‌بندی فازی را تشکیل می‌دهد. در eCognition تعریف شرایط مناسب برای هر کلاس، مبنای طبقه‌بندی فازی را تشکیل می‌دهد (Belacka, 2009: 18). در ادامه روند پژوهش جهت پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین لغزش، اقدام به جمع‌آوری و تهیه پایگاه داده از فاکتورهای موثر در وقوع زمین لغزش گردید. در این پژوهش با استفاده از ۱۱ پارامتر (سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، بارش، شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص حمل رسوب[4] (STI)، شاخص توان آبراهه[5] (SPI) و شاخص رطوبت توپوگرافیک[6] (TWI)، (اشکال ۳ تا ۱۰)، با توجه به نظرات متخصصان خبره مرتبط با زمین لغزش و حرکات توده‌ای انتخاب و عمل پهنه‌بندی 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

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 پرداز شیءگرا استخراج شدند (۳۵ زمین لغزش). مناطق مستعد وقوع زمین لغزش با استفاده از طبقه‌بندی شیءگرا به‌صورت (شکل ۲) به‌دست آمد.



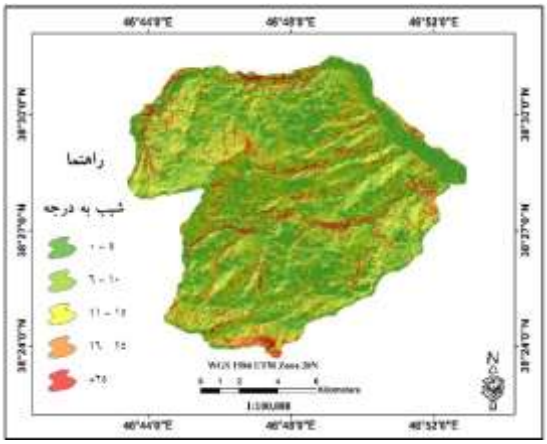
شکل ۲: مناطق مستعد زمین لغزش

Figure 2: Land susceptible lands

از بین این زمین لغزش‌ها شناسایی شده به‌وسیله روش شی گراء، که صحت آن‌ها از روی پیمایش زمینی و برداشت نقاط به‌وسیله GPS مورد تایید قرار گرفته است، ٦٦ درصد برای اجرای مدل و پیدا کردن وزن کلاس‌ها و ٣٤ درصد مابقی زمین لغزش برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (شکل ٦). همچنین با استفاده از باندهای ۳ و ٤ 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 تصویر رنگی کاذب (RGB)، ماهواره لندست استفاده شده است (شکل ۸) و لایه گسل به‌صورت فاصله از گسل‌ها (شکل ۹) همچنین با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جیرنده لایه جنس سازندها (شکل ۱۰) تهیه شد. در نهایت برای به‌دست آوردن لایه پهنه‌های بارشی حوضه از آمار ایستگاه هواشناسی تازه‌کند اهر در بازه زمانی (۱۹۹٤-۲۰۱٤)، استفاده شد و لایه بارش به‌صورت پهنه‌های بارشی به‌دست آمد (شکل ۱۱).

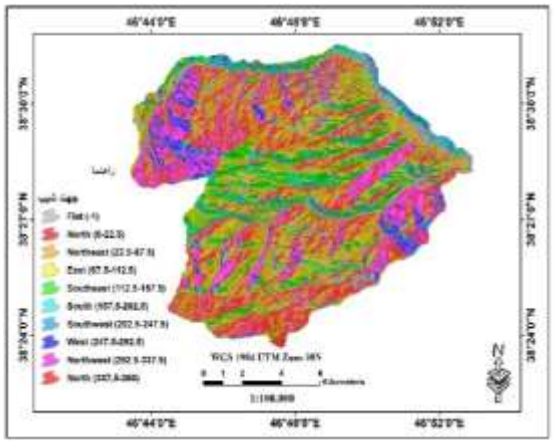
7- Google Earth
8- Maximum Likelihood Classifier

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025



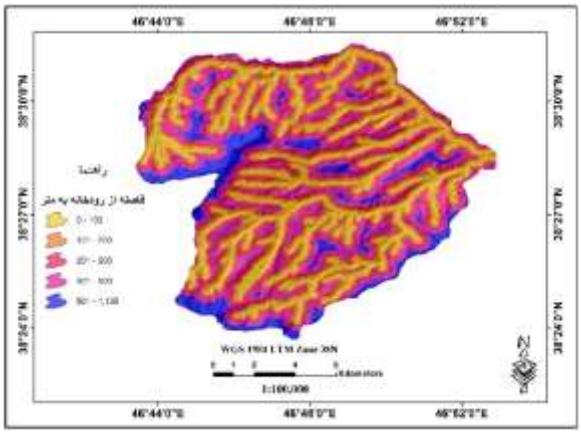
شکل ۳: نقشه شیب

Figure 3: Tilt map



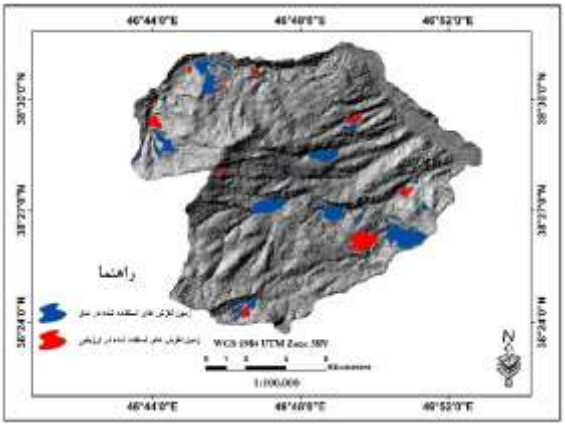
شکل :٤ نقشه جهت شیب

Figure 4: The direction of the gradient



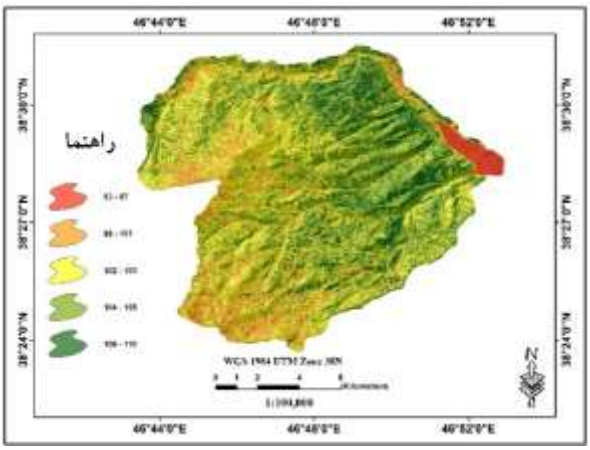
شکل ۵: نقشه فاصله از رودخانه

Figure 5: Distance map of the river



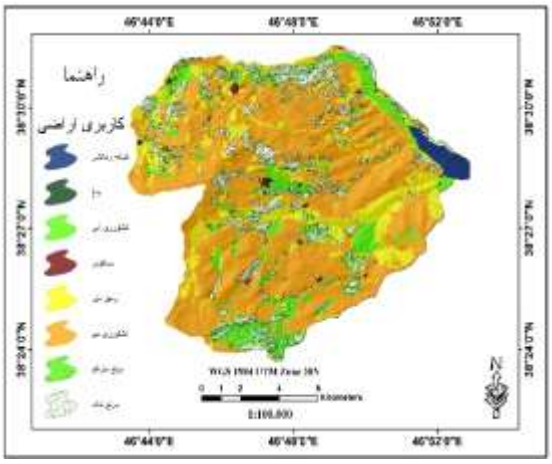
شکل ٦: نقشه زمین لغزه‌های منطقه

Figure 6: Map of the area's slopes



شکل ۷: نقشه تراکم پوشش گیاهی

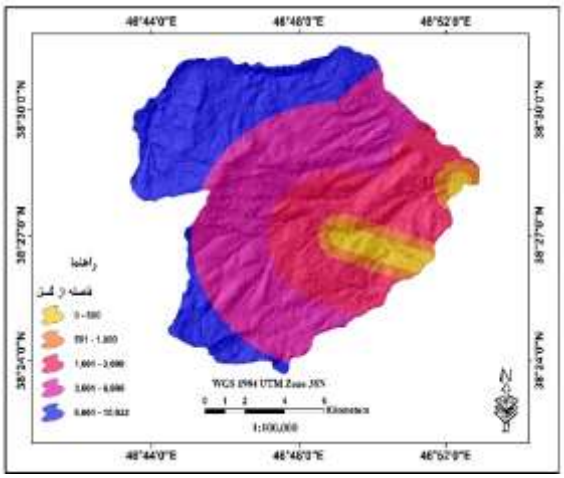
Figure 7: Vegetation density map



شکل ۸: نقشه کاربری زمین

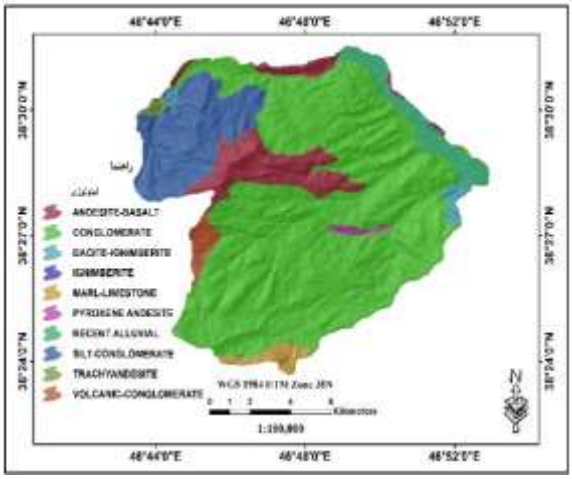
Figure 8: Land use Map

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025



شکل ۹: نقشه فاصله از گسل

Figure 9: Map distance from the fault



شکل ۱۰: نقشه جنس سازند

Figure 10: Map of the form of the formation

- 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 می‌گیرد. به‌طور کلی این شاخص در نواحی که نیمرخ و مماسی[9] محدب دارند (مناطق همگرا و تند)، فرسایش ویژه و در نواحی که نیمرخ مقعر دارند(مناطقی با کاهش ظرفیت جریان) رسوب ویژه را پیش‌بینی می‌کند.

$$SPI = A_s . \tan\beta$$ رابطه (۱)

- شاخص حمل رسوب STI

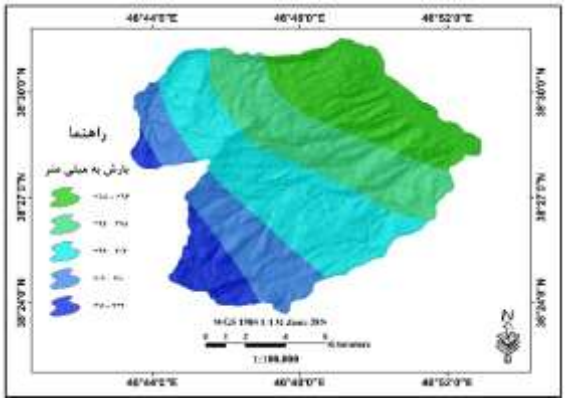
از جمله شاخص‌های هیدرولوژیکی که در این مطالعه استفاده شده شاخص حمل رسوب است. این شاخص قدرت فرسایندگی جریان‌ها را در روی زمین نشان می‌دهد. رابطه تجربی رابطه (۲) که برای به‌دست آوردن این شاخص وجود دارد شبیه معادله جهانی فرسایش خاک است از این‌رو می‌تواند در نشان دادن موقعیت مناطق با خطر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد (Moor & Burch, 1986).

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

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

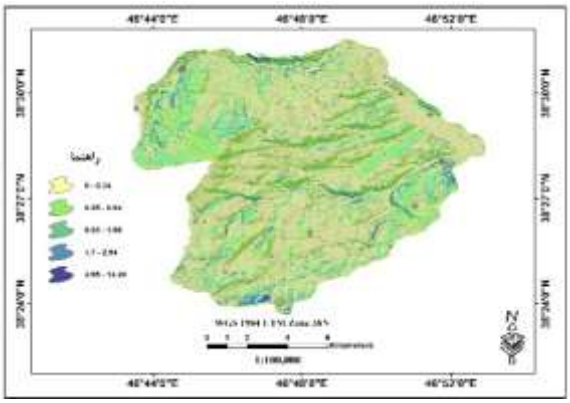
9- Tangential

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025



شکل ۱۱: نقشه بارش

Figure 11: Precipitation Map



شکل ۱۲: نقشه شاخص قدرت آبراهه (SPI)

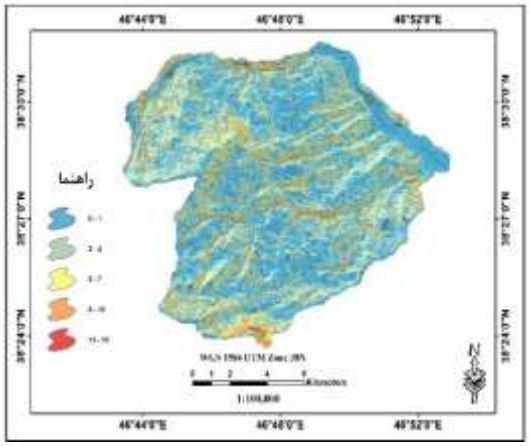
Figure 12: Stream Power Rating Map (SPI)

- شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)

شاخص رطوبت توپوگرافیک (شاخص ترکیب توپوگرافیک[10] (CTI) یا رطوبت خاک[11]) که برای توصیف الگوی فضایی رطوبت خاک استفاده می‌شود (Wilson & Gallant, 2000) به‌صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

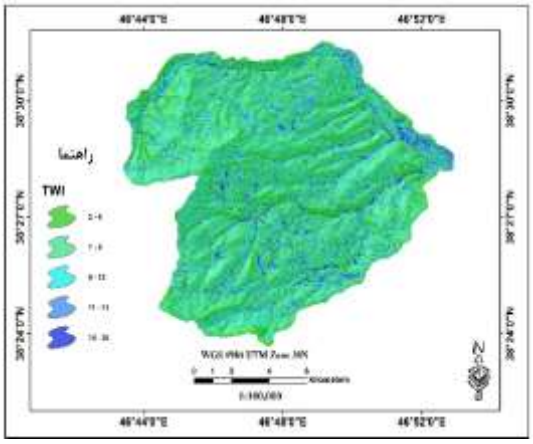
$$TWI = LN(\frac{A_s}{\tan\beta})$$ رابطه (۳)

این شاخص برای مطالعه حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌شود (Gorum et al, 2008). از شاخص رطوبت توپوگرافیک می‌توان 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 عموما برای تعیین کنترل توپوگرافیک بر روی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (Sorensen et al, 2006) و مقادیر بالای TWI معمولا در بدنه زمین لغزش‌ها پیدا می‌شود (شکل ١٤).



شکل ۱۳: شاخص قدرت آبراهه (STI)

Figure 13: Stream Power Index (STI)



شکل ١٤: شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)

Figure 14: Topographic Humidity Index (TWI)

10- Compound Topographic Index
11- Soil Wetness

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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). متعاقبا 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، 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:

$$P\,(s|B_i) = \frac{P\,(B_i|s) \times P\,(s)}{P\,(B_i)}$$ رابطه (٤)

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:

$$P\,(s|\hat{B_i}) = \frac{P(\hat{B_i}|s) \times P(s)}{P\,(\hat{B_i})}$$ رابطه (٥)

در معادله فوق $P\,(s)$ احتمال اولیه وقوع پیشامد S در محدوده مورد مطالعه (AS)،$P\,(\hat{B_i}|s)$ احتمال شرطی نبود کلاسB_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 (٦ تا ١٢) محاسبه کرد (Piacentinia et al, 2012: 199).

$$P\,(S) = \frac{\text{area S}}{\text{area AS}}$$ رابطه (٦)

$$P\,(B_i) = \frac{\text{area } B_i}{\text{area AS}}$$ رابطه (٧)

12- weight of evidence (WofE)

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

رابطه (۸)
$$P\left(\hat{B_i}\right) = \frac{\text{area } \hat{B_i}}{\text{area AS}}$$

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

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

رابطه (۱۱)
$$P\left(s|\hat{B_i}\right) = \frac{(\text{area S AND area } \hat{B_i} \text{ /area } \hat{B_i})}{P(\hat{B_i})}$$

رابطه (۱۲)
$$P\left(\hat{B_i}|s\right) = \frac{(\text{area S AND area } \hat{B_i} \text{ /area } \hat{B_i})}{P(S)}$$

در روش وزن شواهد، وزن کلاس‌های هر پارامتر به‌وسیله 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 (۱٦) وزن نهایی کلاس‌ها حاصل می‌شود.

رابطه (۱۳)
$$W^+ = LN\left(P(B_i|s)/P(B_i)\right)$$

رابطه (۱٤)
$$W^- = LN\left(P\left(\hat{B_i}|s\right)/P(\hat{B_i})\right)$$

رابطه (۱۵)
$$C = W^+ - W^-$$

رابطه (۱٦)
$$W_{final} = C/S_c$$

در روابط فوق LN لگاریتم بر مبنی عدد نپر، C تفاضل وزن‌های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استانداردشده 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 به‌دست آمده برای هر یک از کلاس‌های پارامترهای مورد نظر به همراه سایر اطلاعات مربوط به آن آمده است.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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

پارامترها	کلاس	w+	w-	C	(w+) s2	(w-) s2	Sc	وزن
شاخص TWI	۵–۱/۷	۰/۱۸۹	–۰/۰۴۸	۰/۲۳۷۶	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۲۳	۱۰/۲۷
	۸–۵	۰/۰۰۱۷	–۰/۰۰۸۷	۰/۰۲۶۴	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۰۹۹	۰/۰۱۹۵	۱/۳۵
	۱۱–۸	۰/۲۹۸	–۰/۱۹۲	۰/۴۸۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۱۷۸	۲۷/۴
	۱۶–۱۱	۰/۶۳۶	–۰/۱۳۸	۰/۷۷۳	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۲۶	۳۴/۳
	۱۶>	۰/۵۲۳	–/۰۲۰۴	۰/۵۴۳	۰/۰۰۱۸۸	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۴۴	۱۲/۳
شاخص STI	۲–۰	۰/۵۲۳	–۰/۲۸۹	۰/۸۱۲	۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۱۸	۴۵/۰۲
	۴–۲	۰/۳۶۳	–۰/۱۹۹	۰/۵۶۲	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۰۰۱۱	۰/۰۱۸	۳۰/۷
	۷–۴	۰/۰۲۵	–۰/۰۰۷۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰۳۸۹	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۲۲	۱/۵
	۱۱–۷	–۰/۱۷۸	۰/۰۲۹	–۰/۲۰۸	۰/۰۰۰۶۸	۰/۰۰۰۰۸۲	۰/۰۰۲۷	–۷/۵
	<۱۱	–۰/۴۷۸	۰/۰۲۳۷	–۰/۵۰۲	۰/۰۰۲۳۵	۰/۰۰۰۰۷۶	۰/۰۴۹	–۱۰/۲
شاخص SPI	–۰/۳۳۷ ۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۱۸۸	۰/۰۴۷۸	۰/۲۳۶	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۲۳	۱۰/۲۱
	–۰/۹۱۵۸ ۰/۳۳۷۴	۰/۲۹۴	–۰/۱۲۰۶	۰/۴۱۵	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۱۹۸	۲۰/۹۴
	۰/۹۱۵–۱/۶۸۷	۰/۱۹۹	–۰/۱۵۳	۰/۳۵۲	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۱۷۶	۲۰/۰۶
	۱/۶۸۷–۲/۹۴	۰/۳۳۴	–۰/۰۶۲	۰/۳۹۶	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۰۲۵۴	۱۲/۵۷
	۲/۹۴>	۰/۴۸۲	–۰/۰۲۹۷	۰/۵۱۲	۰/۰۰۱۱۵	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۳۵۱	۱۴/۵۹
تراکم پوشش گیاهی	۹۷–۹۳	۰/۰۷۴	–۰/۰۳۲	۰/۱۰۵۶	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۱۸	۴/۸۴۳
	۱۰۱–۹۷	۰/۴۵۴	–۰/۲۵	۰/۷۰۵۹	۰/۰۰۰۲۴۷	۰/۰۰۰۰۱۳	۰/۰۱۹	۳۶/۴۸
	۱۰۳–۱۰۱	۰/۴۷۷	–۰/۱۰۸	۰/۵۸۵۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۲۴	۲۳/۸۷
	۱۰۵–۱۰۳	۰/۰۴	–۰/۰۱۶۶	۰/۰۵۶۹	۰/۰۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۲۰۸	۲/۷۳
	۱۱۰–۱۰۵	۰/۶۲۲	–۰/۰۰۰۶	۰/۶۲۲۵	۰/۰۵۵۵۵	۰/۰۰۰۰۸۴	۰/۲۳۵۹	۲/۶۴
فاصله از گسل	۲۰۰۰–۰	–۰/۱	۰/۰۴۸۸	–۰/۱۴۹	۰/۰۰۰۲۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۹	–۷/۷۷
	۳۸۰۰–۲۰۰۰	۰/۲۱۷	–۰/۰۷۴۲	۰/۲۹۸	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۹۱	۰/۰۲۲	۱۳/۴۵
	۵۶۰۰–۳۸۰۰	۰/۵۲۹	–۰/۱۲۸۱	۰/۶۵۷	۰/۰۰۰۴۴	۰/۰۰۰۰۸۸	۰/۰۲۳	۲۸/۴۸
	۷۴۰۰–۵۶۰۰	۰/۷۱۵	–۰/۰۹۷	۰/۸۱	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۰۲۷	۲۸/۹۸
	۷۴۰۰>	۰/۴۴۷	–۰/۱۵۱	۰/۵۹۸	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۹۸	۰/۰۱۹	۳۰/۱۳
جهت شیب	مسطح	–۰/۵۲۷	۰/۰۲۹۵	–۰/۵۵۷	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۲۱	۰/۰۲۲۹	–۲۴/۳۲
	شمال	۰/۳۱۷	–۰/۰۹۸۸	۰/۴۱۶۶	۷/۳۱۵	۰/۰۰۰۰۲۷۹	۰/۰۱	۴۱/۴۴
	شمال شرقی	۰/۱۸۷	–۰/۰۵۳۹	۰/۲۴۱۶	۸/۲۵۴	۰/۰۰۰۰۲۶۷	۰/۰۱۰۴	۲۳/۱۱
	شرق	–۰/۴۰۱	۰/۰۵۵۶	–۰/۴۵۶۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۲۲۴	۰/۰۱۵	–۳۰/۳۳

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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

پارامترها	کلاس	w+	w-	C	(w+) s2	(w-) s2	Sc	وزن
میزان بارش	جنوب شرقی	-۰/۹۵۹	۰/۰۸٤٤	-۱/۰٤٤	۰/۰۰۰٤۲	۰/۰۰۰۰۲۱۲	۰/۰۲۱	-٤۹/۵۸
	جنوب	-۰/۸۵۳	۰/۰۲۸۲	-۰/۸۸۱۷	۰/۰۰۰۹۹	۰/۰۰۰۰۲۰٦	۰/۰۳۱۹	-۲۷/٦٤
	جنوب غربی	-۰/۲۵۳	۰/۰۰۷٤۹	-۰/۲٦۰۸	۰/۰۰۰۸۰۱	۰/۰۰۰۰۲۰۷	۰/۰۲۸٦	-۹/۰۹۹
	غرب	۰/٦۸۳	-۰/۰٤۳۹	۰/۷۲۷٦	۰/۰۰۰۲٤۳	۰/۰۰۰۰۲۲۰	۰/۰۱٦۲	٤٤/٦۷
	شمال غرب	۰/۲۰٤	-۰/۰۳۵٤	۰/۲۳۹۷	۰/۰۰۰۱۲۳	۰/۰۰۰۰۲٤۱	۰/۰۱۲۱	۱۹/۷۰۸
	۳۸۷/۷٦-۳۹۰	۱/۱۳۱	-۰/۱۷۳	۱/۳۰۴	۰/۰۰۰۴۶۶	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۲۳۵	۵۵/۵۶۲۵
	۳۹۰-۳۹۸	۰/۰۵۲	-۰/۰۲۸	۰/۰۸۰۴	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۰۹۵	۰/۰۲۰۴	۳/۹۳۵
	۳۹۸-٤۰۵	۰/۱۲۳	-۰/۰۹۶	۰/۲۱۹	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۱۷۴	۱۲/۶۱۵
	٤۰۵-٤۱۰	۰/۵۱۴	-۰/۰۸۷	۰/۶۰۰۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸۶	۰/۰۲۴۲	۲۴/۸۱
	<٤۱۰	۰/۰۷۷	-۰/۰۰۵۷	۰/۰۸۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۷۷	۰/۰۴۱	۲/۰۲۲
	۳۸۷/۷٦-۳۹۰	۱/۱۳۱	-۰/۱۷۳	۱/۳۰۴	۰/۰۰۰۴۶۶	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۲۳۵	۵۵/۵۶۲۵
کاربری زمین	آب	_	۰/۰۱۸۳۵	_	_	۰/۰۰۰۵۵۳	_	_
	باغ	-۱/۵۶۹	۰/۰۰۲۱	-۱/۵۷۱	۱	۰/۰۰۰۵۵	۱/۰۰۰۲۷	-۱/۵۷۰۸
	بایر	۱/۰۱۵۴	-۰/۴۴۳	۱/۴۵۸	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۰۳	۰/۰۴۷۱	۳۰/۹۳۳
	کشاورزی آبی	-۰/۴۳۷	۰/۰۲۰۰۲	-۰/۴۵۷۴	۰/۰۱۵۸۷	۰/۰۰۰۵۷۳	۰/۱۲۸۲	-۳/۵۶۷۴
	مسکونی	_	_	۰/۰۰۰۵۵	-	-	۰	_
	کشاورزی دیم	۱/۱۱۱۸	-۰/۱۲۳۵	۱/۲۳۵۳	۰/۰۰۳۳۷	۰/۰۰۰۶۶۱۸	۰/۰۶۳۵۶	۱۹/۴۳۴
	مرتع تنک	-	-۰/۲۴۴۶۷	_	۰/۰۰۲۵۷۷	۰/۰۰۰۷۰۴	۰/۰۵۷۲۸۹	_
	مرتع متراکم	-۲/۵۷۶۳	۰/۸۲۷۳	-۳/۴۰۳۷۱	۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۰۵۷۹	۰/۱۱۴۳۶	-۲۹/۷۶۲۲
درجه شیب	۰-۵	۰/۵۴۹	-۰/۰۳۷	۰/۵۸۶	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۳۷۲	۱۵/۷۸
	۵-۱۵	۰/۶۲۴	-۰/۱۸۰۷	۰/۸۰۵	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۹۴	۰/۰۲۰۸	۳۸/۵۸
	۱۵-۲۵	۰/۲۹۹	-۰/۲۷۵۹	۰/۵۷۵	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۱۷	۳۹/۳۳
	۲۵-٤۰	-۰/۰۶۴	۰/۰۲۲۳	-۰/۰۸۶	۰/۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۰۹۳	۰/۰۲۱۱	-۴/۰۷۶۶
	۴۰<	-۰/۳۵۵	۰/۰۳۱۹	-۰/۳۸۷۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰۳۶۵	-۱۰/۶۲
نوع سازند	کنگلومرا- آبرفت	۰/۲٦۷	۰/۹۸۸٦	۰/۰٤۳۵	۰/۰۰۸٦۵	۰/٦۲۱	۲۳/۸۲۱	۸۹/٤۵۲
	سیلت-ایگنمبرت	-۰/۱۱۷	۰/٦۸۸٦	۰/۰۰۲٤۹	۰/۰۰۰۷۱۱	۰/۰۵٦٦۱	۱۲/۱٦٤۸	۷۵/۱٦٤۷
	ایگنمبرت	۰/۰۰۰۳۳۲۲	_	_	۰/۰۰۰۵۵۳	_	_	_
	کنگلومرا- آتشفشانی	۰/۰۱٦۰۹	_	_	۰/۰۰۰۵۵۳	-	_	_

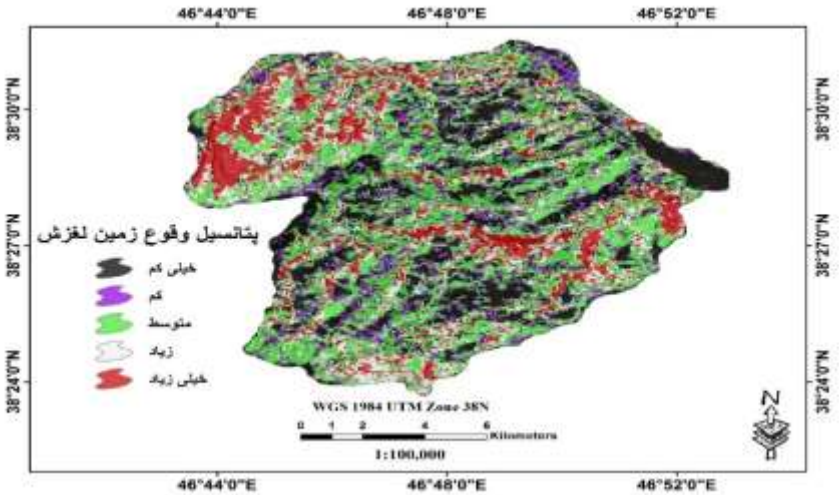
Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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

	داسیت-ایگنمبرت	۰/۰۱۱۰٤	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	-	–	–
	پیروکسین-آندزیت	-۰/۰۰۱٦٦	۰/۲۸۸۷۹	۰/۰۸۳۳۳	۰/۰۰۰۵۵۷	۰/۲۸۹٦۳	۰/۹۹۷۰۹	٦۵/۹۹۷۰۹
	مارن-سنگ آهک	۰/۰۱۸۲۱۵	-	–	۰/۰۰۰۵۵۳	–	–	–
	l	۰	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	m	۰	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	n	۰	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	o	۰	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	p	۰	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	q	–	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	r	–	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
	s	–	–	–	۰/۰۰۰۵۵۳٤	–	–	–
فاصله از رودخانه	۰-۱۲۵	۰/٤۷۲	-۰/۲۰۱	۰/٦۷۳	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۸	۳٦/٤۵
	۱۲۵-۲۷۰	۰/٤۹۸	-۰/۲۰۲	۰/۷	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۸۹	۳۷/۰۹۵
	۲۷۰-٤۲۰	۰/۳۷۳	-۰/۰۹۵	۰/٤۷	۰/۰۰۰٤۲	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۲۲٦	۲۰/٦۵
	٤۲۰-٦۳۰	۰/۰۷٦	-۰/۰۲۵	۰/۱۰۱	۰/۰۰۰۰٤۱	۰/۰۰۰۰۸۹	۰/۰۲۲٤	٤/۵۲
	٦۳۰<	-۰/٦٦۲	۰/۰۷۵	-۰/۷۳٦	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۷۷	۰/۰٤۲۱	-۱۷/۵

پس از این‌که وزن هر یک از کلاس‌های پارامترهای در نظر گرفته شده به‌دست آمد، در محیط نرم‌افزار Arc map وزن مربوط به هر کلاس اعمال شد و با روی هم‌گذاری پارامترها نقشه نهایی برای حساسیت زمین لغزش به‌دست آمد. با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی[13] نقشه به‌دست 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

13- Natural breaks

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت استخراج زمین لغزش‌ها ابتدا ترکیب باندی مناسب (۲و ۳و ٤)، 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 به‌ترتیب 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 کنگلومرایی، 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 ۱۵-۵ و ۲۵-۱۵ به ترتیب بیش‌ترین تاثیر و وزن را در وقوع زمین لغزش دارا می‌باشند. در لایه فاصله از رودخانه نیز کلاس ۲۷۰-۱۲۵ 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	۱۸/٦٤	٦/۷۱
حساسیت کم	۱۱/٦۱	٤/٦٤
حساسیت متوسط	۳٤/۲۸	۲۰/۲۹
حساسیت زیاد	۲۰/۰۸	۳۱/۵۰
حساسیت خیلی زیاد	۱۵/۳٦	۳٦/۸٤

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

با توجه به نتایج ارزیابی بیش‌ترین مقدار زمین‌لغزش‌ها در کلاس چهار و پنج رخ داده است. طبق اطلاعات جدول با افزایش کلاس خطر تراکم زمین لغزش‌ها در آن کلاس افزایش می‌یابد به‌طوری که کلاس با حساسیت زیاد و خیلی‌زیاد حدود ٦٨/٣٤ درصد زمین لغزش‌ها را در خود جای داده است. این در حالی است که مساحت این کلاس‌ها نسبت به کل منطقه مورد مطالعه تنها ٣٥/٤٤ درصد است. کلاس‌های با حساسیت خیلی‌کم، کم و حساسیت متوسط با این‌که حدود ٦٤/٥٣ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شوند اما تنها بخش ناچیزی از زمین لغزش‌های رخ داده (٣١/٦٤ درصد) در این کلاس‌ها واقع شده‌اند این در حالی است که مابقی لغزش‌های رخ داده در منطقه یعنی ٥٨/٣٤ 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 ٠/٩٤٥ و ضریب کاپای طبقه‌بندی نیز معادل ٠/٩٣ 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 ١١ 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 ١٥/٣٦ درصد منطقه در کلاس با پهنه حساسیت خیلی‌زیاد، ٢٠/٠٨ درصد در کلاس با حساست زیاد، ٣٤/٢٨ درصد در کلاس با حساسیت متوسط، ١١/٦١ درصد در کلاس با حساسیت کم و ١٨/٦٤ درصد نیز در کلاس با حساسیت خیلی‌کم 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 ٩٣/٣ درصد زمین لغزش‌های رخداده در منطقه در کلاس‌های چهارم و پنجم نقشه پهنه‌بندی توانایی مناسبی را برای انجام پهنه‌بندی زمین‌لغزش و پیش‌بینی آن دارد. وقوع زمین لغزش‌ها همه ساله خسارت‌ها و مشکلات جانی و مالی زیادی را به بار می‌آورد ازجمله 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 می‌باشد و دائما در معرض حرکات توده‌ای (به‌ویژه زمین لغزش) قرار دارد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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.,

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

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 NewZealand 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., Aytekin, 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 icunitsin 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.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 13:05 IRST on Friday November 28th 2025

- 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 seismicinduced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy", ***Physics and Chemistry of the Earth***, 63: 147-159.
- Piacentinia, 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 wetnessindex: 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, NewYork.