

پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از تئوری احتمالات شرطی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز محمود آباد)



پروفسور شهرام روستایی: استاد جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز
Email: Roostaei@tabrizu.ac.ir
محمدحسین فتحی^۱: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد تبریز، ایران.
Email: Geo.fathi@gmail.com

بشیر بشارتی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز
Email: B.Besharati@yahoo.com
ابراهیم بهشتی جاوید: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی
Email: eb.beheshti@yahoo.com



چکیده:

امروزه به کارگیری مدل‌های کمی همراه با معادلات پیچیده ریاضی و آماری در کلیه زمینه‌های علوم مشهود و غیر قابل اجتناب می‌باشد. استفاده از مدل‌های ریاضی در رشته‌های علوم زمین از جمله ژئومورفولوژی باعث افزایش دقت در حصول نتایج و صرفه جویی در وقت و زمان می‌گردد. یکی از پرکاربردترین این زمینه‌ها مدل‌سازی و بررسی احتمال وقوع انواع مخاطرات طبیعی از جمله سیل، زلزله، و زمین لغزش می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل آماری تئوری احتمالات شرطی اقدام به پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش برای حوضه رودخانه محمود آباد در شهرستان خلخال نمودیم. پارامترهای بکار رفته در پژوهش، ترکیبی از انواع فاکتورهای زمین‌شناسی، انسانی، ژئومورفولوژی و هیدرواقلیم می‌باشد که عبارتند از: سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، شیب زمین، جهت دامنه‌ها، فاصله از آبراهه، تراکم شبکه زهکشی، کاربری زمین، فاصله از جاده، تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و بارش. لایه زمین لغزش‌های ثبت شده در منطقه نیز از دیگر پارامترهای بکار رفته می‌باشد که ۲/۳ آن در امر پهنه‌بندی و ۱/۳ در ارزیابی دقت نقشه نهایی بکار رفته است. با اجرای مدل‌ها نقشه پهنه‌بندی در پنج کلاس حساسیت (حساسیت خیلی کم، حساسیت کم، حساسیت متوسط، حساسیت زیاد و حساسیت خیلی زیاد) بدست آمد. با توجه به اطلاعات نقشه حدود ۱۸ درصد منطقه از نظر حساسیت وقوع زمین لغزش در کلاس خیلی زیاد و ۲۵ درصد نیز در کلاس زیاد قرار گرفته است. این مناطق عمدتاً در نیمه غربی و جنوب غربی حوضه تمرکز دارند. در مرکز نیمه شرقی نیز مناطقی محدودی در این کلاس‌ها قرار گرفته‌اند. نیمه شرقی حوضه در بیشتر مناطق از نوع پهنه‌های با حساسیت خیلی کم، کم و متوسط می‌باشند. بر اساس ارزیابی نقشه نهایی حدود ۵۹ درصد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد اتفاق افتاده است که از این نظر مدل قابلیت مناسبی در پیش‌بینی وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها: زمین لغزش، پهنه‌بندی، تئوری احتمالات شرطی، حوضه آبریز محمود آباد.

Abstract:

Nowadays, employing quantitative models with complex equations in all fields of science, mathematics, and statistics is obvious and unavoidable. Using mathematical models in the earth sciences such as geomorphology increase accuracy and save time and time is outcomes. One of the most common ways for modeling and Evaluation of various natural hazards such as floods, earthquakes, and landslides are probability of occurrence. In this study, attempting to zoning for landslides susceptibility by using a statistical model theory of conditional probabilities Mahmoud Abad River Basin of Khalkhal. The parameters used in this study, the combination of all kinds of geology factors, human, geomorphology and Hydroclima which include lithology, distance to faults, land slope, aspect and distance from streams, drainage density, land use, distance roads, vegetation density (NDVI) and precipitation. Layer of landslides recorded in the area, as well as other parameters applied are the 2/3 in the Zoning and 1/3 are used in evaluating the accuracy of the final map. According to the map of the region around 18 percent sensitivity are in very high class and 25 percent of landslides in the class has a high class. These areas are mainly concentrated in the western half of the southwest basin. In the center of the eastern half of the restricted areas are located in these classes. In most areas of the eastern half of the basin area with very low sensitivity, low and medium. Based on the assessment of the final map, 59 percent of landslide occurred in an area of high risk and a lot has happened in class that this model potential in the prediction of landslides of the show.

Keywords: Landslide zoning, conditional probability theory, Mahmoud Abad basin.

^۱- نویسنده مسئول: عضو باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد تبریز، تلفن ۰۹۳۵۵۸۰۳۰۴۱



مقدمه :

بلایای طبیعی به عنوان بزرگترین دشمن انسان، سالانه باعث کشته و مجروح شدن صدها هزار نفر و بی خانمان شدن میلیون‌ها نفر در سراسر جهان می شود. از این میان زمین لغزش از جمله مهمترین مخاطرات محیطی به عنوان یکی از معضلات جهانی پیش روی انسان دارای اهمیت خاص می باشد (Sanwei He et all. 2012:30). برای واژه لغزش تعاریف گوناگونی در ادبیات جغرافیایی وجود دارد از جمله، لغزش، حرکت ثقلی رو به پایین و خارجی مواد دامنه‌ای مرکب از خاک، سنگ و یا هر دوی آنها می باشد (وارنز، ۱۹۸۴، ۵۴)، در تعریفی دیگر لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و نسبتاً سریع مواد در طول دامنه ها با حضور آب (محمودی، ۱۳۸۸، ۱۳۵). آنچه مسلم است، زمین لغزش در سراسر جهان موجب مرگ و میر سالانه هزاران نفر و خسارت های سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می شود، در مقایسه با انواع مخاطرات طبیعی همچون آتشفشان و سیل، زمین لغزش آسیب‌های قابل توجهی را به جهت مالی و جانی منجر می‌شود (Guzzetti, 2005:408). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختمانی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، شرایط طبیعی مناسبی برای وقوع طیف وسیعی از زمین لغزش ها را داراست. زمین لغزش در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می سازد (روستایی و همکاران، ۱۳۹۲، ۱۹۱). اگر برای بلایای طبیعی دیگر احتمال وقوع هر از چند گاهی در نظر گرفته شود، پتانسیل وقوع پدیده لغزش در کشور را باید هر لحظه در نظر گرفت. براساس گزارش نماینده وزیر جهادکشاورزی در سال ۱۳۸۷، خسارات ناشی از وقوع زمین لغزشها در ایران (سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵) با ثبت ۴۹۰۰ مورد در قالب پروژه بانک اطلاعات زمین لغزش های کشور که براساس تفسیر عکسهای هوایی مقیاس ۲۰۰۰:۱ صورت گرفته، بیش از ۱۲۷ هزار میلیارد ریال بوده است (Vazeh, 2008). همچنین خسارات مستقیم و غیر مستقیم سالیانه زمین لغزش بیش از ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (حسین زاده و دیگران، ۱۳۸۸: ۲۷). ارزیابی خطرهای این پدیده به علت دخالت عوامل موثر در رخداد آن مساله ای پیچیده است. (حسین زاده نفتی، ۱۳۷۹: ۹۸). نداشتن قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با مشخصه هایی مانند زمین شناسی، آب شناختی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسان دما و غیره در بروز ناپایداری دامنه‌ای می باشد لزوم بهره گیری از روش های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری های دامنه‌ای، منطقه‌ای می کند (کلارستاقی، ۱۳۸۱: ۵۷). دهال و همکاران (۲۰۰۸)، مهمترین عوامل تأثیر گذار در وقوع زمین لغزشها را شامل زمین شناسی سنگ بستر، توپوگرافی، ارتفاع، عمق و نوع خاک، کاربری زمین و ساختار هیدروگرافی معرفی کرده اند. همچنین کرمی و رجبی (۱۳۸۸)، بارش های شدید، زمینلرزه و فعالیت های آتشفشانی را از دسته متغیر های اتفاقی در وقوع زمین لغزشها در ایران برشمردند. از آنجا که پیش بینی زمان رخداد زمین لغزش ها از توان علم و دانش فعلی بشر خارج می باشد، لذا با شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و رتبه بندی آن می توان تا حدودی خطرات ناشی از وقوع زمین لغزش را جلوگیری نمود. به طور کلی می توان هدف نهایی بررسی و مطالعه زمین لغزش ها را یافتن راه های کاهش خسارات ناشی از آنها ذکر کرد. همین امر لزوم تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش را تأیید می کند. لذا تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش و ارزیابی شدت خطر آن می‌تواند کم شایانی در زمینه مدیریت محیط و اتخاذ تصمیمات درست در مقابله با این مخاطره باشد.

به طور کلی پژوهش‌های موجود در رابطه با ارزیابی خطر زمین لغزش را از لحاظ رویکرد روش‌شناسی می‌توان در سه گروه غالب کمی، کیفی و نگرش هوش مصنوعی (AI) دسته بندی کرد. بطور کلی نگرش-های کیفی بر مبنای داورهای ذهنی یک یا گروهی از متخصصین صورت می‌گیرد این در حالی است که نگرش‌های کمی بر مبنای قوانین سخت ریاضی صرف نظر از هرگونه سوگیری شخصی بنا شده‌اند. تکنیک-های هوش مصنوعی می‌توانند از دانش ذهنی یا تکنیک تطبیق الگو در مقابل حل مجموعه‌ای از معادلات ریاضی استفاده کنند. تکنیک‌های هوش مصنوعی بطور وسیعی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم خبره و دیگر تکنیک‌های دانش پایه و قانون پایه را پوشش می‌دهند. (Neaupane and Piantanakulchai, 2006:281) با توجه به مطالب فوق و پژوهش‌های صورت گرفته برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش می‌توان از مدل‌هایی مثل رگرسیون لجستیک، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فرایند تحلیل شبکه (ANP)، شبکه عصبی مصنوعی، انواع مدل‌های دو متغیره آماری، مدل LNR، مدل منطق فازی و غیره استفاده کرد. 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 کارهای انجام شده در داخل و خارج کشور در زمینه مدل و موضوع پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

آیالو و یاماگیشی (۲۰۰۵) با استفاده از روش رگرسیون لجستیک و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه حساسیت به زمینلغزش را در کوه های کاکودا - یاهیکو در مرکز ژاپن تهیه کردند و اظهار داشتند که شبکه های جاده، نقش اساسی در تعیین و توزیع زمین لغزشها ایفا می کنند.

کامک و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تجزیه آماری چندمتغیره در مرکز اسلوونی، نشان دادند که شیب، سنگ شناسی و نوع پوشش، نقش مهمی در حساسیت زمین لغزش ایفا می کنند. در ایران نیز مطالعات متنوعی صورت گرفته است که در ادامه به چند پژوهش انجام یافته در سالهای اخیر اشاره می شود.

بیاتی خطیبی (۱۳۸۶) در پژوهشی به تعیین حساسیت بالقوه سطوح شیب دار به وقوع زمین لغزش در حوضه قرنقچای، واقع در دامنه شرقی کوهستان سهند با استفاده از روش تعیین عامل ویژه پرداخت. نتایج وی نشان داد که محدوده خاکسترهای آتشفشانی و مارن ها که لغزش های بزرگ قدیمی نیز در گذشته روی آنها رخ داده، مساعدترین بستر را برای وقوع لغزش ها فراهم می کنند. همچنین در بخش هایی از حوضه مطالعاتی، کشت آبی همراه با آشفستگی شدید دامنه ها، به عمده ترین عامل تحریک کننده دامنه ها نسبت به وقوع لغزش ها تبدیل شده است.

محمدی و همکاران (۱۳۸۸) به اولویت بندی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از حوضه آبخیز هراز پرداختند. نتایج نشان داد که سازند های شمشک و پادگانه های آبرفتی، فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ۴۰۰ متری از آبراهه، سویی شیب باختری، شیب ۱۵ تا ۵۰ درصد، ارتفاع ۱۰۵۵ تا ۲۱۰۰ متری و کاربری مسکونی و باغی، کشاورزی، بیشترین حساسیت را نسبت به زمین لغزش دارند.

موسوی ختیر و همکاران (۱۳۸۸)، نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز سجارود را با استفاده از رگرسیون لجستیک تهیه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که ۵۳ درصد از مساحت حوضه در منطقه با خطر بسیار کم، ۱۸/۳ درصد در منطقه کم خطر، ۲۱ درصد در منطقه با خطر متوسط و ۷/۷ درصد مساحت حوضه در منطقه پرخطر قرار گرفته است.

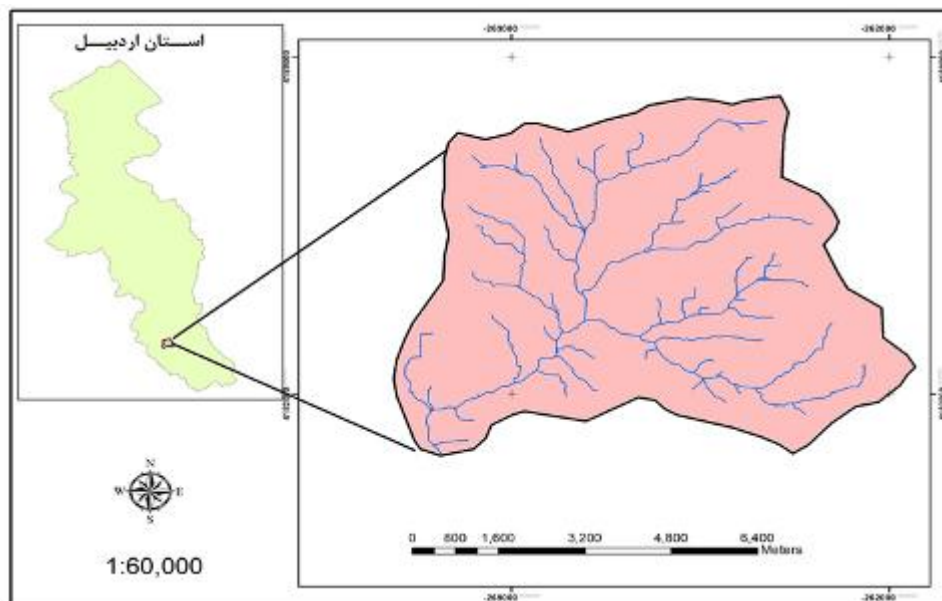
روستایی و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی تفاضلی به شناسایی ناپایداری دامنه ای حوزه آبخیز گرم چای و محاسبه میزان حرکات آن ها پرداخته اند، تایید این پژوهش به خوبی نشان می دهد که فعالیت در سطح تعدادی از زمین لغزش های تثبیت شده قدیمی همچنان وجود داشته و به دلیل مجاورت آن ها با شبکه هیدرولوژیکی منطقه می توانند به عنوان منبع مهم رسوب زایی در نظر گرفته شوند. در مدت یاد شده، بیشترین جابه جایی صورت گرفته ۵/۸ سانتی متر برآورد شده که مربوط به یک جریان واریزه ای شناسایی شده در مجاورت روستاهای آتاجان، بناوران و اوین است.

پیاستنییا و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل تئوری بیز پهنه بندی حساسیت زمین لغزش را برای جنوب منطقه تیرول در کشور ایتالیا انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد که نقشه حساسیت زمین لغزش برای پیش بینی زمین لغزش ها با درصد بالایی (۷۵٪) قابل اطمینان است. بنابراین مدل فوق می تواند به خاطر تمرینش و کم هزینه بودن برای برنامه ریزان و تصمیم گیران محیطی مدلی سودمند و قابل اطمینان باشد. متو و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از تئوری بیز پهنه بندی حساسیت زمین لغزش را در بخشی از هند انجام دادند. در این پژوهش از ۱۵ فاکتور طبیعی و انسانی جهت پهنه بندی استفاده شد. ارزیابی نقشه نهایی نشان داد که دقت نقشه تهیه شده ۸۴/۶٪ و قابل قبول می باشد. محمدی و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سه مدل بیز، دمپر-شفر و نسبت تکرار در بخشی از استان گلستان حساسیت زمین لغزش را پهنه بندی کردند. در این پژوهش برای ارزیابی مدل ها از منحنی ROC استفاده شد و طبق این ارزیابی مدل نسبت تکرار بهترین نتیجه را (۷۵٪ دقت) در بین سه مدل فوق داشت. نیازی و همکاران (۱۳۸۹) حوضه سد ایلام را با استفاده از مدل آماری دومتغیره پهنه بندی کردند نتایج کار نشان داد که روش تراکم سطح، وزن متغیرها (تئوری بیز) و ارزش اطلاعاتی به ترتیب بیشترین دقت را در تفکیک کلاس های خطر زمین لغزش داشته اند. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام را با چهار روش ارزش اطلاعاتی (WINF)، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی سیستم ها و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی (LNRF) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه کردند. نتایج نشان داد که روش ارزش اطلاعاتی نسبت به روش های دیگر، در تفکیک کلاس های خطر نتایج بهتری دارد. بنابراین آنها این روش را روش نهایی پهنه بندی خطر زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد کردند. پورفاسمی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تئوری بیز و ۱۴ فاکتور طبیعی و انسانی پهنه بندی 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 مدل سازی (حذف عامل جهت شیب از تحلیل ها) در منطقه مورد مطالعه ۷۱/۳۷ درصد و خوب برآورد شده است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز محمود آباد، از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال شهر هشتجین از توابع شهرستان خلخال در میان ارتفاعات جنوبی اردبیل در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. جهت اصلی جریان در این حوضه آبریز از سمت شرق به غرب بوده و با زهکشی نمودن مساحتی در حدود ۴۹ کیلومتر مربع به رودخانه محمود آباد از زیر شاخه های قزل اوزن ملحق می شود.

شکل شماره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان اردبیل نشان می دهد. در این منطقه با توجه به نوع سازندها، عمق زیاد رسوبات در دامنه ها و میانگین بارش بالا، زمین لغزش های زیادی اتفاق می افتد. در این پژوهش با استفاده از تئوری احتمالات بیز، نقشه حساسیت زمین لغزش حوضه فوق مطالعه و تهیه شده است.

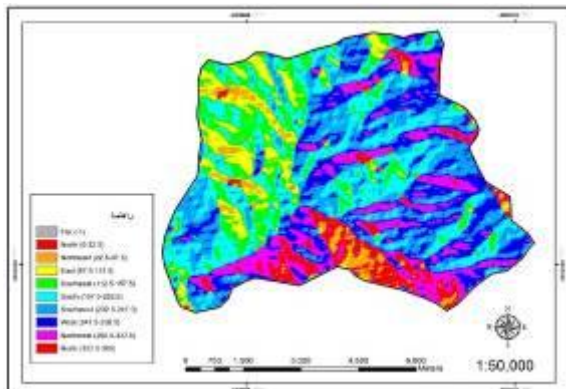


شکل ۱: موقعیت حوضه حوضه آبریز محمود آباد در استان اردبیل

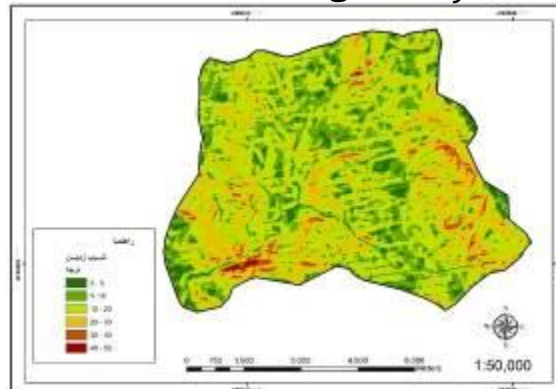


بحث :

برای اینکه بتوانیم حساسیت منطقه را از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش مورد ارزیابی و پهنه بندی قرار دهیم از دو سری اطلاعات استفاده شده است. دسته اول شامل لایه زمین لغزش های رخ داده در منطقه مورد مطالعه است که در مدل به عنوان شواهد وقوع زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته است. برای بدست آوردن این لایه از بانک اطلاعاتی سازمان جنگل ها و مراتع استفاده شده است. این لایه با روی هم گذاری با تصاویر ماهواره ای منطقه و نیز گوگل ارث مورد صحت سنجی قرار گرفت. از بین زمین لغزش های رخ داده دو سوم آنها برای اجرای مدل و یک سوم برای ارزیابی نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفته اند. دسته دوم اطلاعات مربوط به معیارهایی می شوند که مستعد کننده وقوع زمین لغزش در یک منطقه هستند. از بین فاکتورهای مختلفی که در مطالعات متعدد مورد استفاده قرار گرفته اند ۱۰ معیار مهم که در ادامه به آنها پرداخته شده است انتخاب شدند که عبارتند از: لایه سنگ شناسی، فاصله از گسل، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از رودخانه، میزان شیب و جهت دامنه، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی (شاخص NDVI)، فاصله از جاده، میزان بارش. برای بدست آوردن لایه های فوق از اطلاعات مختلفی همچون، تصاویر ماهواره لندست، نقشه های زمین شناسی خلخال، هشتجین، ماسوله و کیوی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی هشتجین با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است. پس از تهیه لایه های فوق با توجه به هدف مورد نظر لایه ها در کلاس های مختلف طبقه بندی شده و آماده برای استفاده در مدل شدند. اشکال شماره ۲ تا ۱۱ لایه های مورد استفاده را نشان می دهد.



شکل ۳: نقشه جهت شیب



شکل ۲: نقشه شیب

روش کار

برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه از تئوری احتمالات شرطی یا روش وزن شواهد^۲ (Bonham-Carter et al, 1989) استفاده شده است. این مدل به عنوان مدلی سودمند و آزمایش شده در زمینه های مختلف، همچون مطالعه حرکات توده های، تحقیقات معدنی و نقشه کشی چشمه های آب زیرزمینی است (Poli and Sterlacchini, 2007; Barbieri and 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 لغزش های رخ داده) و عامل های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را تخمین می زند. مدل فوق در سال ۱۹۸۸ برای اکتشافات معدنی مورد استفاده قرار گرفت (Bonham-Carter et al, 1988) متعاقباً در سال ۲۰۰۲ ون وسترن^۳ آن را برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش مورد استفاده قرار داد.

اگر ما عامل های سببی (فاکتورهای مستعد کننده زمین لغزش) را B_i ، کلاس های 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)، می توان به صورت رابطه زیر بکار 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 (Piacentini et al, 2002:199). احتمال شرطی وقوع زمین لغزش زمانی که کلاس B_i اتفاق نیفتاده باشد نیز به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

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

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). بخش های مختلف معادلات فوق را می توان به صورت روابط ۶ تا ۱۲ محاسبه کرد (Piacentini et al, 2012:199):

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

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

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

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

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

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

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

در روش وزن شواهد، وزن کلاس های هر پارامتر به وسیله ترکیبی از ارزش های مثبت و منفی (W^+ و W^-) از طریق تئوری بیز و نیز اختلاف تفاضل بین آنها محاسبه می شود و در نهایت با استفاده از رابطه ۱۶ وزن نهایی کلاس ها حاصل می شود.

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

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

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

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

در روابط فوق $\ln$ لگاریتم بر مبنی عدد نپر، C تفاضل وزن های مثبت و منفی، W_{final} وزن نهایی استاندارد شده و S_c انحراف استاندارد است که برابر با جذر واریانس هر یک از وزن های مثبت و منفی است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱):

^۲ - weight of evidence (WofE)

^۳ - Van Western

۱۱۷). در جدول شماره ۱ اوزان بدست آمد برای هر یک از کلاس‌های پارامترها مورد نظر به همراه سایر اطلاعات مربوط به آن آمده است.

جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها

پارامترها	class	w+	w-	C	s2(w+)	s2(w-)	Sc	Weight
کاربری زمین	کشت آبی	۰,۵۷۴-	۰,۰۰۴۵	۰,۵۷۸-	۰,۰۵۵	۰,۰۰۰۰۷۴	۰,۲۳۵۸	۲,۴۵-
	مرتج با کاربری مخلوط	۲,۷۱۸	۰,۰۴۲۹-	۲,۷۶	۰,۰۰۱۷	۰,۰۰۰۰۷۷	۰,۰۴	۶۶,۱۸
	مرتج متوسط	۰,۴۶۲	۰,۳۶۷-	۰,۸۳	۰,۰۰۰۱۸	۰,۰۰۰۱۲	۰,۰۱۷۴	۴۷,۵۲
نوع سازند	Basic tuff	2.031	-1.113	3.144	0.00012	0.00018	0.0175	179.87
	Pumice	1.471	-0.08	1.551	0.00075	0.00008	0.0288	53.87
	Trachy Basalt	-0.795	0.0247	-0.82	0.0094	0.000074	0.097	-8.4
	Rhyolit	1.341	-0.0666	1.407	0.00086	0.00008	0.0307	45.8
	Sill & Lacolit	-1.074	0.04478	-1.118	0.0072	0.00007	0.0855	-13.07
	Dacitice	-0.867	0.053	-0.92	0.0024	0.000076	0.0498	-18.5
	Siliston	2.439	-0.0437	2.483	0.0017	0.000077	0.0423	58.7
	Caltivated Area	-1.098	0.3475	-1.446	0.0008	0.00008	0.0302	-47.94

ادامه جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها

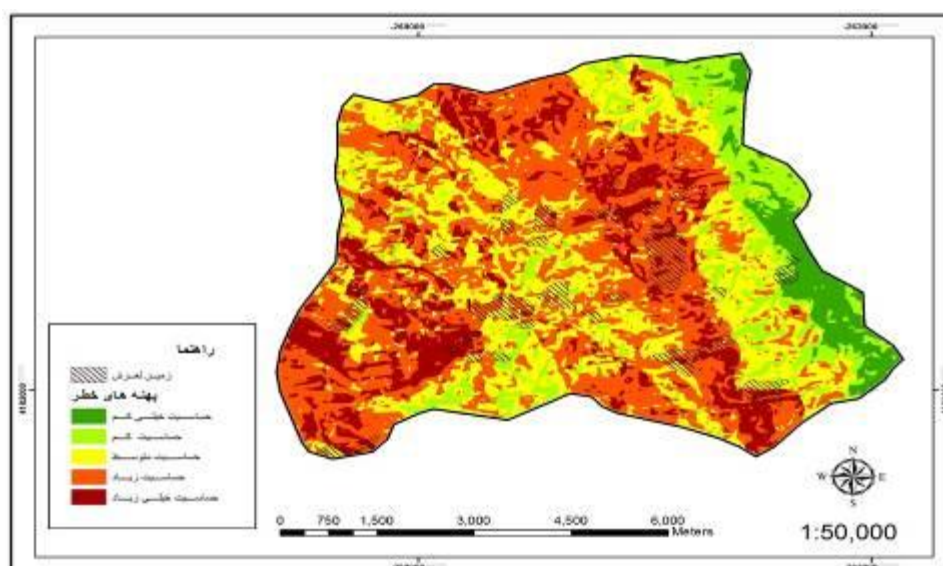
پارامترها	class	w+	w-	C	s2(w+)	s2(w-)	Sc	Weight
فاصله از جاده	0-200	0/714	-0/265	0/979	0-200	0.000088	0.020	49/026
	200-400	0/578	-0/142	0/719	200-400	0.000098	0.022	32/586
	400-600	0/108	-0/018	0/125	400-600	0.00012	0.027	4/597
	600-1000	-0/457	0/088	-0/545	600-1000	0.000084	0.029	-18/807
	1000<	-1/275	0/315	-1/590	1000<	0.000078	0.033	-48/255
تراکم پوشش گیاهی	۲-10۹8	0/226	-0/206	0/431	0/021	20/293	0.0218	4.843
	۱۰۷-۲10	-0/297	0/154	-0/450	0/023	-19/296	0.019	36.48
	۱۱۷-۱۰۷	0.477	-0.108	0.5855	0.0005	0.0001	0.024	23.87
	۱۳۳-۱۱۷	0.04	-0.0166	0.0569	0.00032	0.00011	0.0208	2.73
	۱۶۴-۱۲۳	-0/101	0/001	-0/102	0/125	-0/815	-0/101	0/001
فاصله از گسل	0-200	0/050	-0/010	0/060	0.026	2/329	0.019	-7.77
	200-400	0/320	-0/058	0/379	0.025	15/053	0.022	13.45
	400-700	0/338	-0/069	0/407	0.024	16/828	0.023	28.48
	700-1000	0/344	-0/049	0/393	0.027	14/391	0.027	29.98
	1000<	-0/417	0/256	-0/673	0.021	-32/066	0.019	30.13
فاصله از رودخانه	1-100	0/276	-0/126	0/401	0/020	19/930	0.018	36.45
	100-200	0/024	-0/007	0/031	0/023	1/377	0.0189	37.095
	200-400	-0/062	0/028	-0/090	0/021	-4/242	0.0226	20.65
	400-600	0.076	-0.025	0.101	0.00041	0.000089	0.0224	4.52
	600<	-0.662	0.075	-0.736	0.0017	0.000077	0.0421	-17.5
تراکم شبکه زهکشی	0-1	-0/013	0/009	-0/021	0.000389	0.000091	0.020	-1/086
	1-2	0/249	-0/142	0/391	0.00068	0.000082	0.020	19/937
	2-3	0/023	-0/004	0/027	0.00235	0.000076	0.027	1/000
	3-5/5	-1/300	0/075	-1/375	0.00044	0.000088	0.060	-22/738
	5/5<	-1/342	0/019	-1/361	0.00029	0.000098	0.119	-11/430
جهت شیب	مسطح	0.26	-0.00007	0.2604	0.333	0.000073	0.577	0.45
	شمال	0.641	-0.1881	0.8296	0.00029	0.000099	0.019	42.215
	شمال شرقی	0.14	-0.0232	0.164	0.0006	0.000083	0.026	6.156

5.96	0.0315	0.000079	0.0009	0.188	-0.0162	0.171	شرق
-12.42	0.053	0.000075	0.0027	-0.6636	0.0373	-0.626	جنوب شرقی
-10.14	0.036	0.000078	0.0012	-0.3645	0.038	-0.326	جنوب
7.608	0.0256	0.000084	0.00057	0.195	-0.0303	0.165	جنوب غربی
27.69	0.0238	0.000087	0.000478	0.658	-0.1248	0.533	غرب
31.049	0.0225	0.000089	0.000418	0.6991	-0.136	0.563	شمال غرب

ادامه جدول ۱: جدول پارامترها و وزن هر یک از کلاس‌ها

Weight	Sc	s2(w-)	s2(w+)	C	w-	w+	class	پارامترها
15.78	0.0372	0.000078	0.0013	0.586	-0.037	0.549	0-5	درجه شیب
38.58	0.0208	0.000094	0.00034	0.805	-0.1807	0.624	5-10	
33.39	0.017	0.00013	0.00016	0.575	-0.2759	0.299	10-20	
-4.0766	0.0211	0.000093	0.00035	-0.086	0.0223	-0.064	20-30	
-10.62	0.0365	0.000078	0.0012	-0.3875	0.0319	-0.355	30-40	
-5.667	0.0885	0.000074	0.0077	-0.5013	0.00709	-0.494	40<	
82/696	0.020	0.000087	0.000466	1/619	-0/409	1/209	297-340	میزان بارش
-12/812	0.022	0.000095	0.00032	-0/283	0/081	-0/203	340-380	
-4/515	0.021	0.00013	0.00017	-0/097	0/028	-0/068	380-420	
-35/561	0.048	0.000086	0.0005	-1/707	0/174	-1/533	420-460	

پس از اینکه وزن هر یک از کلاس‌های پارامترهای در نظر گرفته شده بدست آمد، در محیط نرم‌افزار Arc map مربوط به هر کلاس اعمال شد و با روی هم‌گذاری پارامترها نقشه نهایی برای حساسیت زمین لغزش بدست آمد. با استفاده از روش شکستگی‌های طبیعی^۲ نقشه به دست آمده در ۵ کلاس حساسیت زمین لغزش دسته‌بندی شد (شکل ۱۲). با توجه به نقشه تهیه شده و اطلاعات جدول یک در لایه نوع سازند، کلاس B (تراسهای آبرفتی قدیمی و مخروط‌افکنه‌های مرتفع) بیشترین تاثیر و وزن را به خود اختصاص داده است. 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 شمال غربی بیشترین و جهات جنوبی و جنوب شرقی کمترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند. همچنین شیب‌های ۵-۱۰ و ۲۰-۱۰۰ به ترتیب بیشترین تاثیر و وزن را در وقوع زمین لغزش دارا می‌باشند. در لایه فاصله از رودخانه نیز کلاس ۰-۱۰۰ متر بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش دارند.



شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در زیر حوضه رودخانه محمود آباد



نتیجه گیری :

شناخت عوامل مختلف موثر در وقوع زمین لغزشها به منظور برنامه ریزی و انجام کارهای اصولی در مناطق حساس به زمین لغزش و تهیه نقشه حساسیت و احتمال وقوع زمین لغزش جهت اتخاذ تدابیر پیشگیری از ضروریات این پژوهش می باشد. زمین لغزش را می توان نمود تغییر تعادلی سطوح شیب دار، به دنبال اغتشاشات محیطی وارد بر ژئوسیستم تلقی کرد. پایداری و حفظ شرایط تعادلی در برابر این نیروی وارده، به اکولوژی و ساختار هیدروژئومورفولوژیکی سطوح بر می گردد. از اهداف این پژوهش شناسایی مناطق با خطر زیاد و خطر کم از نظر وقوع زمین لغزش می باشد تا بتوان با شناسایی مناطق با خطر زیاد، شدت عمل زمین لغزش را در این مناطق کم کرده و از آثار زیانبار زمین لغزشها تا حد زیادی کاست. در این پژوهش با استفاده از تئوری احتمالات شرطی و ۱۰ پارامتر طبیعی و انسانی در نظر گرفته شده عمل پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در حوضه آبریز محمود آباد انجام شد و نتیجه کار به صورت یک نقشه پهنه بندی شده در پنج کلاس حساسیت ارائه گردید. برای اینکه بتوانیم مدل اجرا شده در منطقه را مورد ارزیابی قرار دهیم با استفاده از یک سوم زمین لغزشهای رخ داده در منطقه (۱۲ زمین لغزش از مجموع ۳۶ زمین لغزش) که در اجرای مدل استفاده نشده بودند، پراکنش فضایی شان در کلاسهای پنجگانه نقشه حساسیت زمین لغزش مورد ارزیابی آماری قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲: مساحت کلاسهای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش و درصد زمین لغزه های رخ داده

کلاس حساسیت	مساحت هر کلاس به درصد	مساحت زمین لغزشهای رخ داده به درصد
حساسیت خیلی کم	۱۴%	۵%
حساسیت کم	۲۳%	۱۳%
حساسیت متوسط	۲۵%	۲۷%
حساسیت زیاد	۱۸%	۳۳%
حساسیت خیلی زیاد	۲۰%	۲۵%

با استفاده از مدل وزن شواهد وزن کلاسه ها و معیارها بدست آمد و با اعمال این وزن ها و روی هم گذاری لایه ها، نقشه پهنه بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش در پنج کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بدست آمد. بعد از طبقه بندی نقشه نهایی با استفاده از یک سوم لغزش های رخ داده نقشه طبقه بندی قطع داده شد تا درصد زمین لغزش های رخ داده در هر کلاس خطر مشخص شود. نتایج کار نشان داد که حدود ۵۹ درصد لغزش های رخ داده در منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد رخ داده است که از این نظر نتایج مدل قابل قبول است. باید اشاره شود که هر چه دقت لغزشهای ثبت شده و موقعیت آنها دقیق تر باشد نتیجه کار بهتر خواهد بود چرا که این لایه به عنوان یک پدیده حاصل از عملکرد فاکتورهای مختلف بوده و وزنی که در مدل وزن شواهد برای کلاسه های هر فاکتور بدست می آید وابسته به صحت و دقت آن است. با توجه به اطلاعات نقشه حدود ۱۸ درصد منطقه از نظر حساسیت وقوع زمین لغزش در کلاس خیلی زیاد و ۲۵ درصد نیز در کلاس زیاد قرار گرفته است. این مناطق عمدتاً در نیمه غربی و جنوب غربی حوضه تمرکز دارند. در مرکز نیمه شرقی نیز مناطقی محدودی در این کلاس ها قرار گرفته اند. نیمه شرقی حوضه در بیشتر مناطق از نوع پهنه های با حساسیت خیلی کم و متوسط می باشند. نتایج این پژوهش و روش پیشنهادی استفاده شده، می تواند در مطالعات بعدی راه گشا و نیز، مورد ارزیابی و مقایسه با سایر روشهای برآورد حساسیت زمین لغزش قرار گیرد.



منابع فارسی :

۱. پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، مصطفی-زاده، رئوف، گلی جیرنده، عباس(۱۳۹۱)، پهنه-بندی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری بیزین، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال شانزدهم، شماره شصت و دوم، زمستان ۱۳۹۱، صص ۱۰۹-۱۲۱.
۲. حسن زاده نفوتی، محمد، (۱۳۷۹). پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز شلمانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد، آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۳. حسین زاده، محمدمهدی. محمدرضا ثروتی، عادل منصوری، بابک میرباقری، سعید خضری (۱۳۸۸). پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره پازدهم، پاییز ۱۳۸۸، صفحات ۲۷-۳۷.
۴. کلارستاقی، عطا الله، (۱۳۸۱). بررسی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزشها و پهنه بندی خطر زمین لغزش مطالعه موردی حوزه آبخیز شیرین رود ساری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
۵. روستایی، شهرام، روستایی، مهاسا، شریفی کیا، محمد، یاراحمدی، جمشید (۱۳۹۲)، کاربرد تداخل سنجی تفاضلی راداری در شناسایی و پایش زمین لغزش ها، مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرم چای میانه، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، سال پنجم، شماره ۳، صص ۱۹۰-۱۹۸.
۶. نیازی، یعقوب، محمدرضا اختصاصی، علی طالبی، صالح آرخی، محمدحسین مختاری، (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل آماری دومتغیره در پیش بینی خطر زمین لغزش در حوضه سد ایلام، مجله علوم مهندسی آبخیزداری ایران، سال چهارم، شماره ۱۰، بهار ۱۳۸۹، ۲۰-۹.
۷. محمودی، فرج (۱۳۸۸) تألیف روزه کک، ژئومورفولوژی دینامیک - دینامیک درونی و دینامیک بیرونی، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۳۵.

۸. کریمی، ف.؛ رجبی، م. (۱۳۸۸). بررسی خطر زمین لغزش و تحلیل ریسک پذیری آن در نواحی روستایی، مطالعه موردی: دامنه شمالی توده کوهستانی سهند، جغرافیا (نشریه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال ششم، شماره ۱۸ و ۱۹، صص. ۱۵۴ - ۱۳۹.
۹. کریمی، ح.؛ نادری، ف.؛ مرشدی، الف.؛ نیک سرشت، م. (۱۳۹۰). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال هفتم، شماره ۴، صص. ۳۱۹-۳۳۳.
۱۰. محمدی، م.؛ مرادی، ح. ر.؛ فیض نیا، س.؛ پورقاسمی، ح. ر. (۱۳۸۸). اولویتبندی عوامل مؤثر بر زمین لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، مجله علوم زمین، سال نوزدهم، شماره ۷۴، صص. ۳۲-۲۷.
۱۱. موسوی خطیر، س. ز.؛ کاویان، ع. الف.؛ سلیمانی، ک. (۱۳۸۹). تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز سجارود با استفاده از رگرسیون لجستیک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳، صص. ۱۱۱-۹۹.



References:

1. Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kano, T., 2005, Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-Based Susceptibility Mapping with Comparisons of Results from Two Methods and Verifications, Engineering Geology, Vol. 81, No.4, PP. 432-445 .
2. 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.
3. Bonham-Carter, 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, Paper, 89 (9), pp.171-183.
4. Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F., 1988. Integration of Geological Datasets for Gold Exploration in Nova Scotia. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 0099-1112. 88/5411-1585 \$ 02. 25/0.
5. Dahal, R. K., Hasegawa, Sh., Nonoura, A., Yamanka, M., Dhakal, S., Pauudyal, P., 2008, Predictive Modeling of Rainfall-Induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights of Evidence, Geomorphology, Vol. 102, No. 3-4, PP. 496-510.
6. 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.
7. Gorum, T., Gonencgil, B., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A., 2008. Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). Natural Hazards 46, 323-351.
8. Grabs, T., Seibert, J., Laudon, H., 2007. Modelling spatial patterns of saturated areas: a comparison of the topographic wetness index and a distributed model. Geophysical Research Abstracts 9 SRef-ID: 1607-7962 /gra/ EGU 2007-A-00894.
9. Guzzetti, Fausto, 2005. Landslide hazard and risk assessment. Dissertation. Kanungo, D.P., Arora, M.K., Gupta, R.P., Sarkar, S., 2008. Landslide risk assessment Using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas. Landslides 5, 407-416.
10. Komac, M., 2006, A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine, Slovenia, Geomorphology, Vol. 74, No. 1-4, PP. 17-28 .
11. Mathew, J., V.K. Jha and G.S. Rawat. 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. Current Sci. 92(5), 628-638.
12. Mohammady, M., Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., (2012), Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison Between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models, Journal of Asian Earth Sciences 61 (2012) 221-236.
13. 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.
14. Neaupane K.M., M. Piantanakulchai., (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation, Engineering Geology 85 (2006) 281-294.
15. 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.

16. -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* 151–152 (2012) 196–206.
17. Poli, S., Sterlacchini, S., 2007. Landslide representation strategies in susceptibility Studies using weights-of-evidence modeling technique. *Natural Resources Research*,16,121–134.
18. Sanwei He, Peng Pan, LanDai, Haijun Wang, Jiping Liu.,(2012)., Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide Susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China, *Geomorphology* 171–172(2012)30–41
19. Schmidt, F., Persson, A., 2003. Comparison of DEM data capture and topographic wetness indices. *Precision Agriculture* 4,179–192.
20. 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.
21. Van Western, C.J. 2002. Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping, 21 pp.
22. Wilson, J.P., Gallant, J.C., 2000. Digital terrain analysis. In:Wilson, J.P., Gallant, J.C.(Eds.), *Terrain Analysis*. John Wiley & Sons, NewYork, pp.1–27.
23. Varnes,D.J.,"Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice", Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO,Natural Hazards, 3, 1984.
24. Vazheh. 2008. <http://vazeh.com/n-2904658.html>.