

ارزیابی خطر و خسارت زمین لغزش در حوضه آبخیز بقیع به روش‌های

فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک

مهدی بروغنی^{۱*}، سیما پورهایمی^۲، محمدعلی زنگنه اسدی^۳

^۱استادیار آبخیزداری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۲دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

^۳دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۷

چکیده

زمین لغزش‌ها مخاطرات طبیعی مهمی برای فعالیت‌های انسانی هستند که اغلب سبب از دست رفتن منابع اقتصادی، خسارات به اموال و تأسیسات، خسارات جانی و تخریب مناظر طبیعی می‌شوند. تهیه نقشه حساسیت به زمین لغزش، گام بزرگی در مدیریت خطر است. مدل‌های مختلفی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه شده است که در این تحقیق کارآیی دو مدل، آماري رگرسیون چندمتغیره (رگرسیون لجستیک) و مدل احتمالاتی فاکتور قطعیت (CF) در حوضه آبخیز بقیع نیشابور مورد مقایسه قرار گرفت تا پس از تهیه نقشه خطرات زمین لغزش، مدل برتر جهت پهنه‌بندی انتخاب گردد. تعداد ۴۴ مورد لغزش دامنه‌ای، در منطقه با بررسی میدانی شناسایی و بعد از اصلاح و تأیید نهایی، نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی شدند. در ادامه، براساس ۱۰ معیار مؤثر بر زمین لغزش شامل ارتفاع، شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه و با تهیه نقشه هر یک از عوامل و تلفیق آن‌ها با نقشه زمین لغزش‌ها و با استفاده از امکانات نرم‌افزار Arc GIS 10.2 و SPSS و روش‌های مذکور، نقشه پهنه‌بندی وقوع زمین لغزش در ۵ رده خطر تهیه گردید. جهت ارزیابی کارایی و انتخاب مدل مناسب برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از روش شاخص زمین لغزش (Li) استفاده گردید. بر اساس این شاخص، در روش فاکتور قطعیت ۹۲/۳۲ درصد و در روش رگرسیون لجستیک ۶۰/۳۵ درصد زمین لغزش‌ها در طبقه‌های خطر زیاد و خطر خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند؛ بنابراین روش فاکتور قطعیت برای منطقه مورد مطالعه مطلوب تشخیص داده شد. نتایج نشان می‌دهد که عامل شیب، لیتولوژی و ارتفاع مهمترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند. نتایج این مطالعه می‌تواند در مدیریت خطر زمین لغزش و عوامل تشدید کننده مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مدل احتمالاتی فاکتور قطعیت، رگرسیون لجستیک، شاخص زمین لغزش، حوضه بقیع نیشابور.

مقدمه

ناپایداری دامنه‌هاست (سوری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۷۰). به همین لحاظ، ارزیابی و بررسی فرآیندهای حرکات دامنه‌ای و اثرات ناشی از آن برای بسیاری از فعالیت‌های بشری اهمیت بالایی دارد و به‌واسطه آن می‌توان خطرات و خسارات ناشی از اینگونه فرآیندهای فعال را به حداقل ممکن رساند. کشور ما ایران به علت کوهستانی بودن و به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی در معرض بسیاری از مخاطرات طبیعی قرار گرفته است و به علت واقع

زمین لغزش‌ها رخداد‌های طبیعی هستند که تحت تأثیر عوامل مختلف باعث ایجاد خسارت به مناظر طبیعی، انسان‌ها و تأسیسات می‌شود (زارع و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۵). ارزیابی ناپایداری دامنه‌ای مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی^۲ از پیچیده‌ترین مسائل است که به دلیل تنوع عوامل، مؤثر در وقوع

*نویسنده مسئول: mboroghani@yahoo.com

2. Geo environment

عوامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، ارتفاع و فاصله از گسل نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در آبخیز ژیاو جنگ چین را تهیه و تاکید بر کارایی مدل نموده‌اند. در پژوهش‌های زیادی از مدل رگرسیون لجستیک جهت پیش‌بینی احتمال وقوع زمین لغزش با تحلیل نمودن روابط عاملی بین عناصر مؤثر و زمین لغزش استفاده شده است که می‌توان به تحقیقات دومان^۴ و همکاران (۲۰۰۶)، لی^۵ و همکاران (۲۰۰۷)، چن و وانگ^۶ (۲۰۰۷)، لین^۷ و همکاران (۲۰۱۰)، داس^۸ و همکاران (۲۰۱۰)، پرادهان و لی^۹ (۲۰۱۰)، اتکینسون و ماساری^{۱۰} (۲۰۱۱) اشاره نمود. کاوازوغلو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۳) به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در استان ترابزون^{۱۲} در شمال شرقی ترکیه از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، ماشین‌های بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک استفاده کردند. با استفاده از عواملی چون سنگ‌شناسی، درجه شیب، پوشش گیاهی، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، تراکم زهکشی، طول شیب، ارتفاع و فاصله از جاده نقشه‌های حساسیت زمین لغزش برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. نتایج ارزیابی مدل‌ها نشان داد نقشه تهیه شده با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره دقتی بیشتر از ماشین‌های بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک داشته است. دوکوتا^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۳)، به منظور پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در کشور نپال از مدل‌های عامل اطمینان، شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک استفاده کردند. نتایج ارزیابی بیانگر دقت بالای مدل آنتروپی، رگرسیون لجستیک و عامل اطمینان (۰/۹۰، ۰/۸۶، ۰/۸۴) در منطقه مورد مطالعه بوده است. جعفری (۱۳۸۶) به پهنه‌بندی خطر زمین

شدن در کمربند زلزله و خط گسل‌های اصلی، بعضی از نقاط کشورمان به حرکات شدید زمین که تشدیدکننده خطر بروز لغزش زمین است، بسیار مستعد است (سرور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱). زمین لغزش پدیده‌ای طبیعی است که از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها رخ می‌دهد. زمین لغزش از جمله متداول‌ترین پدیده‌های طبیعی تغییر شکل‌دهنده سطح زمین است (ایزدی و انتظاری، ۱۳۹۲: ۳۲) و پس از زلزله و سیل بیشترین خسارت را به انسان وارد می‌کند (بهشتی‌راد و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۰). جهت جلوگیری از ایجاد این حوادث و کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر، اقداماتی همچون پهنه‌بندی خطر زمین لغزش متمرثر است. بررسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با هدف شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین لغزش، در محدوده فعالیت‌های بشری دارای اهمیت است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۰). در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با مدل‌های تجربی، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر، از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کنند (کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۷). این فرایند که بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایه داده‌های ناحیه مورد مطالعه صورت می‌گیرد، می‌تواند مبنایی برای اقدامات بعدی و برنامه‌ریزی‌های آتی توسعه و عمران در مقیاس منطقه‌ای، ناحیه‌ای و محلی محسوب گردد (سیارپور، ۱۳۷۸: ۳۲).

در خصوص پهنه‌بندی و شناسایی نواحی مستعد وقوع لغزش با استفاده از روش فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک تاکنون تحقیقات متعددی در داخل و خارج کشور انجام گرفته است که می‌توان مطالعات زیر را برشمرد. تنوری CF برای خطر زمین لغزش بوسیله لیچر^۱ (۱۹۹۴) و بینقی^۱ (۱۹۹۸) به کار گرفته شده است. لان^۳ و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از مدل فاکتور قطعیت و براساس ارزیابی

4. Duman
5. Lee
6. Chen&Wang
7. Lin
8. Das
9. Pradhan & Lee
10. Atkinson&Massari
11. Kavazuglu
12. Trabzon
13. Devkota

1. Lechere
2. Binaghi
3. Lan

لجستیک در حوزه آبخیز سیاه‌دره پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل شیب، ارتفاع، بارندگی، فاصله از آبراهه و فاصله از گسل به ترتیب مهم‌ترین عوامل وقوع لغزش در منطقه‌اند. شیرانی و عرب عامری (۱۳۹۴)، با به کارگیری روش رگرسیون لجستیک اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه دز علیا نمودند. با توجه به مقدار ضرایب به دست آمده، به این نتیجه دست یافتند که لایه طبقات ارتفاعی، مهم‌ترین عامل در وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بررسی پدیده زمین لغزش، به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی ریسک و خطر آن، هم به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و هم از جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد. هدف از این تحقیق، ارزیابی خطر و مقایسه کارایی دو روش فاکتور قطعیت (CF) و مدل رگرسیون لجستیک به منظور مدیریت خطر و خسارت در حوضه آبخیز بقیع نیشابور می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

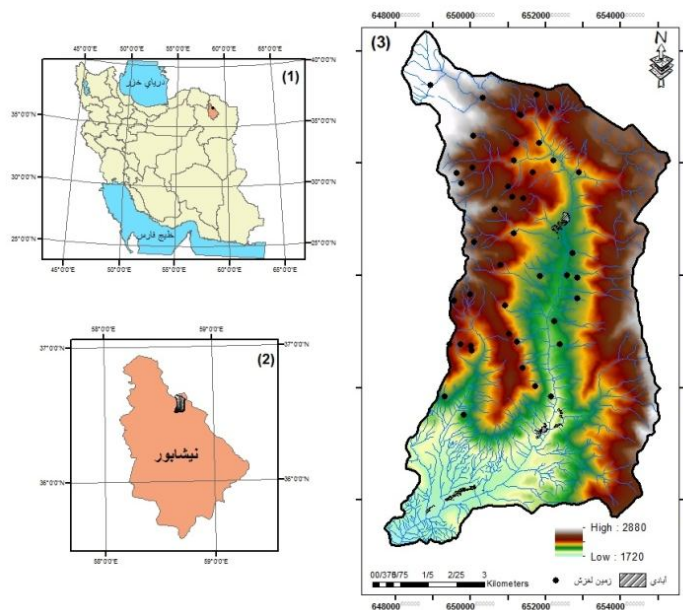
حوضه آبخیز بقیع نیشابور، در حوضه آبریز اصلی کویر مرکزی (از حوضه‌های شش‌گانه استان خراسان) واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبخیز بقیع در محدوده طول جغرافیایی $59^{\circ} 38'$ الی $58^{\circ} 13' 30''$ و عرض جغرافیایی $31^{\circ} 09'$ الی $36^{\circ} 38'$ شمالی و در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات بینالود واقع شده است (شکل ۱).

حوضه آبخیز بقیع در شمال شهرستان نیشابور و در بخش سروالایت واقع شده است. مساحت حوضه معادل ۶۳۶۷ هکتار و ارتفاع متوسط ۲۲۰۹ متر است که حداکثر ارتفاع آن ۲۸۸۰ متر از سطح دریا و حداقل نقطه ارتفاعی منطقه مطالعاتی نیز در خروجی حوضه به ارتفاع ۱۷۲۰ متر از سطح دریا گزارش شده است. رخداد زمین لغزش به عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی این منطقه می‌باشد.

لغزش در دامنه‌های شمالی آلاداغ با استفاده از روش شاخص زمین لغزش (LIM) پرداخت که وزن و میزان اثرگذاری هر یک از واحدها در متغیرهای مستقل (۱۸ مورد) تعیین شد. سپس با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره لجستیک مدل مربوط به هر یک از حرکات توده‌ای در حوضه، همراه با میزان اهمیت و جهت تأثیر هر یک از واحدهای متغیر مستقل در وقوع انواع حرکات توده‌ای به دست آمد. بهشتی راد و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از مدل فاکتور قطعیت (CF) اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز معلم کلایه نموده و نتیجه گرفته است که مدل فاکتور اطمینان کارایی مناسبی دارد. روشن ضمیر و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از روش CF به بررسی زمین لغزش‌های حوضه مراغه در غرب شهرستان ساوه پرداخته و به این نتیجه رسیدند که در حوضه مراغه بیشتر ناپایداری‌های دامنه‌ای در فرم زمین لغزش اتفاق می‌افتد و مدل CF کارایی خوبی برای بررسی داده‌ها و پهنه‌بندی زمین لغزش در نواحی خشک دارد.

موسوی خطیر و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی میزان تأثیر آبخیز سجارود در استان مازندران پرداختند و تأثیر هر متغیر مستقل بر وقوع و عدم وقوع زمین لغزش بر اساس ضرایبی که در معادله رگرسیون لجستیک ایجاد می‌شوند، مشخص شد. تفسیر ضرائب نشان داد که شبکه جاده مهم‌ترین نقش را در بروز زمین لغزش‌های منطقه بر عهده دارد.

عابدینی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌های شهرستان بیجار و ارزیابی مناطق دارای پتانسیل زمین لغزش جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک پرداختند. نتایج ارزیابی نشان داد که مدل آماری رگرسیون لجستیک و همچنین نقشه خطر پهنه‌بندی زمین لغزش بر اساس شاخص SCAI از صحت بالایی در منطقه برخوردار می‌باشد. مرادی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تحت عنوان تهیه نقشه حساسیت به خطر زمین لغزش و ارزیابی آن با استفاده از تحلیل آماری رگرسیون



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

موجود و نیز به منظور نمونه‌برداری از کاربری‌های اراضی برای تهیه لایه کاربری اراضی از روی تصویر ماهواره‌ای انجام گرفت.

برای تهیه لایه‌های ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و بارندگی، به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش بر اساس مطالعات مشابه، از نرم‌افزارهای Arc GIS و ENVI استفاده گردید.

در این پژوهش، برای تهیه نقشه پوشش گیاهی منطقه، از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) استفاده گردید. بدین منظور از تصاویر ETM^+ ماهواره لندست استفاده شد. جهت تهیه لایه کاربری اراضی، پس از تهیه تصاویر رنگی کاذب (باندهای ۲، ۳، ۴) از داده‌های رقومی ماهواره لندست 7 (ETM^+) مربوط و با کمک نمونه‌های تعلیمی و استفاده از روش طبقه‌بندی، بیشینه احتمال کاربری اراضی حوضه بقیع تهیه شد؛ همچنین برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، ابتدا مختصات زمین‌لغزش‌ها ثبت و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (تعداد ۴۴ زمین‌لغزش) توسط نرم‌افزار Arc GIS رقومی و وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی شد تا در

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز از نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ اخلمد، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ نیشابور و ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد، تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ ۲۰۱۰، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای تهیه گردید. الگوی پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه کمک زیادی در انتخاب متغیرها می‌نماید. اختلافاتی که در انواع زمین‌لغزش‌ها وجود دارد مهم است؛ زیرا حاکی از شرایطی است که منجر به وقوع آنها می‌شود؛ بنابراین تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در شناخت عوامل مؤثر در وقوع آنها و در نتیجه، پهنه‌بندی خطر ضروری می‌باشد. پس مهم‌ترین بخش کار، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه می‌باشد. برای تهیه اطلاعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها از پرسشنامه‌هایی که توسط دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها معاونت آبخیزداری، گروه بررسی زمین‌لغزش‌ها تهیه شده بود استفاده گردید. این پرسشنامه‌ها شامل اطلاعاتی از قبیل موقعیت جغرافیایی لغزش، تغییرات کاربری، نوع سازندگی، شیب، ارتفاع و مقدار بارندگی می‌باشد. مطالعات میدانی به منظور شناسایی و ثبت زمین‌لغزش‌های

دامنه فاکتور قطعیت بین -۱ و +۱ می‌باشد، مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش قطعیت و مقادیر منفی نشان‌دهنده کاهش قطعیت است. مقادیر نزدیک به صفر نشان می‌دهد که احتمال اولیه، بسیار مشابه احتمال شرطی می‌باشد و هیچ اطلاعاتی درباره قطعیت وقوع رخداد بدست نمی‌دهد.

هر لایه موضوعی براساس مقادیر فاکتور قطعیت محاسبه شده، طبقه‌بندی مجدد می‌شود و به صورت جفتی برای ایجاد نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از قوانین انتگرال‌گیری ترکیب می‌شوند. ترکیب ارزش‌های CF دو لایه موضوعی (Z) توسط رابطه (۲) محاسبه می‌گردد (Sujatha et al., 2012: 1337-1350).

رابطه (۲)

$$z = \begin{cases} x + y - xy, & x, y \geq 0 \\ \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)}, & x, y \text{ opposite sign} \\ x + y + xy, & x, y < 0 \end{cases}$$

- روش رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک که یکی از مدل‌های تحلیل چندمتغیره می‌باشد، ایجاد یک رابطه رگرسیون چندمتغیره بین یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل را امکان‌پذیر می‌سازد. برای پیش‌بینی وجود یا عدم وجود یک صفت اختصاصی (مشخصه) یا پی‌آمد بر اساس مقادیر یک مجموعه از متغیرهای پیش‌گو مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lee, 2007:33). تجزیه و تحلیل لجستیک برای پیامدهای دودویی^۵ تلاش می‌کند تا شانس وقوع یک رخداد را مدل‌سازی کند و اثرات متغیرهای مستقل بر روی این شانس را برآورد نماید. شانس برای یک رخداد، نسبتی^۶ است که احتمال وقوع یک رخداد (موفقیت) را نسبت به عدم وقوع آن رخداد (شکست) به‌راحتی مورد مقایسه قرار می‌دهد (Oconnell, 2006: 11). در یک مدل رگرسیون لجستیک، احتمال به شانس و

تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها برای تلفیق با نقشه‌های دیگر استفاده شود.

برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش از روش‌های کمی آماری چند متغیره (رگرسیون لجستیک) و احتمالاتی (فاکتور قطعیت) استفاده شد.

- روش فاکتور قطعیت (CF)

روش فاکتور قطعیت به‌عنوان یک تابع احتمالاتی (مدل احتمالاتی دو متغیره)، ابتدا بوسیله شورتلِف^۱ و بیوکنن^۲ (۱۹۷۵) پیشنهاد شد و توسط لانگمن^۳ (۱۹۸۶) اصلاح گردید (Lan et al., 2004; Sujatha et al., 2012: 1343; Binaghi et al., 1998: 77-111; Komac and Matija Zorn, 2008:5). تحلیل احتمالاتی با استفاده از یک روش شناسایی انتگرال‌گیری (یکپارچه کردن) نتایج در درون یک پایگاه داده‌های فضایی^۴ با استفاده از GIS انجام می‌شود. این مدل جزء جدیدترین مدل‌های پهنه‌بندی بوده و تفاوت اصلی این مدل با دیگر مدل‌های دو متغیره نحوه تلفیق نقشه‌ها در آن است. فاکتور قطعیت برای هر لایه از داده‌ها براساس فراوانی وقوع زمین لغزش در هر کلاس از هر لایه موضوعی مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Sujatha et al., 2012: 1343):

رابطه (۱)

$$\begin{cases} cf = \frac{pp_a - pp_s}{pp_a(1 - pp_s)} & \text{if } pp_a > pp_s \\ cf = \frac{pp_a - pp_s}{pp_s(1 - pp_a)} & \text{if } pp_a < pp_s \end{cases}$$

که در آن:

CF: فاکتور قطعیت

PPa: احتمال شرطی وجود تعدادی از زمین لغزش‌ها

در یک کلاس

PPs: احتمال اولیه یا پیشین وجود کل زمین لغزش‌ها

در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

1. Shortliffe
2. Buchanan
3. Longerman
4. Spatial database

5. Binary
6. Quotient

$$Li = ((Si/Ai)/(\sum 1n (Si/Ai))) * 100$$

که در این رابطه، شاخص زمین لغزش عبارت است از درصد نسبت سطح لغزش در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها. در این رابطه:

Li: عبارت است از شاخص خطر وقوع لغزش در هر پهنه خطر به درصد، Si: مساحت لغزش در هر پهنه خطر، Ai: مساحت هر پهنه خطر و N: تعداد رده‌های خطر است.

یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید، ابتدا عوامل مؤثر در ایجاد زمین لغزش به صورت لایه‌های مختلف اطلاعاتی در محیط GIS تهیه شدند. لایه‌های مؤثر در وقوع لغزش‌های منطقه مورد مطالعه عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت دامنه، لیتولوژی، فاصله از گسل، شاخص پوشش گیاهی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه.

ارتفاع: این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک و شیب دامنه‌ها تأثیر بسزایی دارد. نقشه ارتفاعی براساس مدل ارتفاعی رقومی در ۵ طبقه آماده گردید که در شکل (۳) آورده شده است. انطباق نقشه توزیع زمین لغزش‌ها و نقشه ناهمواری‌ها نشان می‌دهد که آستانه ارتفاع وقوع زمین لغزش‌ها از ۱۹۰۰ تا ۲۴۰۰ متر می‌باشد. در این منطقه، سطح ارتفاعی ۲۴۱۶-۲۱۸۴ متر با میزان ۴۳/۱۸ درصد تراکم زمین لغزش، بالاترین میزان لغزش را داراست. این در حالی است که دو طبقه ۱۹۵۲-۱۷۲ و ۲۶۴۸-۲۸۸۰ به یک میزان یعنی ۲/۲۷ درصد تراکم زمین لغزش، پایین‌ترین میزان زمین لغزش را در منطقه دارا هستند. شیب: شیب و مورفولوژی دامنه‌ها تأثیر بسیار زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد. وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر را در حرکات توده‌های تشدید می‌نماید. نقشه شیب حوضه پس از ساختن مدل ارتفاعی رقومی در ۴ طبقه تهیه

شانس بوسیله گرفتن Log طبیعی به Logits تبدیل می‌شود (Oconnell, 2006:19).

مدل لجستیک در ساده‌ترین شکل می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن P احتمال وقوع یک رخداد (زمین لغزش)، که مقدار آن از ۰ تا ۱ در یک منحنی S شکل در نوسان می‌باشد؛ Z به صورت معادله‌ای (مدل لجستیک خطی) تعریف می‌شود که مقدار (ارزش) آن از $-\infty$ تا $+\infty$ در نوسان می‌باشد (Bai et al., 2011: 139-149; Schicker&Moon, 2012:40-57).

در مورد مطالعه حساسیت زمین لغزش، هدف رگرسیون لجستیک یافتن بهترین مدل برازش برای بیان رابطه بین وجود یا عدم وجود لغزش (متغیر وابسته) و مجموعه‌ای از پارامترهای مستقل مانند شیب، جهت شیب و سنگ شناسی می‌باشد و بر اساس رابطه زیر بیان می‌شود (Ayalew and Yamagishi, 2005: 15-31).

رابطه (۴)

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/(1-p)) \\ = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

که در آن:

P: احتمال این است که متغیر وابسته (Y) باشد، P/(1-P): اصطلاحاً شانس یا نسبت درست نمایی است، C0: عرض از مبدا، و C1, C2, ... Cn، ضرایبی هستند که میزان مشارکت فاکتورهای مستقل (X1, X2, ... Xn) در تغییرات (تغییرپذیری) Y را نشان می‌دهد.

- شاخص زمین لغزش

شاخص زمین لغزش جهت ارزیابی کارایی دو روش پهنه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به صورت رابطه (۵) تعریف شده است (Van Westen & Soeters, 1996:45).

رابطه (۵)

گسل‌ها: جهت بررسی ارتباط زمین لغزش با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌های ۵ طبقه‌ای جای گرفت. همانگونه که غالباً مشخص است آستانه تأثیر گسل‌ها تا شعاع ۲ کیلومتر می‌باشد. کمترین میزان لغزش‌ها تا ۱۰۰ متری اطراف گسل وجود داشته است. این امر نشان می‌دهد که گسل‌های حوضه تأثیری در وقوع لغزش‌ها نداشته و غیرفعالند. شکل (۸) نقشه فاصله از گسل را نشان می‌دهد.

فاصله از جاده: جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویداد زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه نقشه فاصله از جاده ایجاد گردید (شکل ۹). ۴۹/۷۹ درصد از کل منطقه تا فاصله ۵۰۰ متری از جاده واقع شده است که میزان زمین لغزش رخ داده در این فواصل برابر ۳۴/۰۸ درصد کل لغزش‌های رخ داده شده است. بیشتر میزان لغزش‌ها تا فاصله ۱۰۰۰ متری از جاده به میزان ۵۹/۰۸ درصد اتفاق افتاده است. کمترین میزان لغزش‌ها در فاصله ۱۰۰-۰ و ۱۵۰۰-۱۰۰۰ به میزان ۱۱/۳۶ درصد به چشم می‌خورد (شکل ۱۳).

پوشش گیاهی: منطقه از نظر شاخص NDVI به ۵ طبقه تقسیم شد. تنها ۲/۴۹ درصد منطقه دارای مقدار شاخص بیش از ۰/۱ می‌باشد و اغلب شامل باغات یا درختانی است که به صورت پراکنده در اطراف آبراه‌های اصلی و چشمه‌های پرآب منطقه رویده‌اند. برای اغلب قسمت‌های منطقه، مقدار این شاخص مقادیری منفی را نشان می‌دهند که بیانگر ضعف بودن منطقه از نظر پوشش گیاهی می‌باشد. به طوریکه طبقه اول نشان‌دهنده قسمت‌های تقریباً عاری از پوشش گیاهی مانند اراضی صخره‌ای، مسکونی و شامل اراضی دیم و مراتع ضعیف تا متوسط می‌باشند (۹۷/۴۹ درصد). تمام توده‌های لغزشی در طبقه اول با میزان (۰-۰/۶-) واقع شده‌اند که هیچ پوشش گیاهی در این مناطق موجود نیست یا بسیار اندک و تنک است (شکل ۱۳).

میزان بارندگی: وجود شرایط ذاتی مستعد برای وقوع زمین لغزش‌ها، مانند جنس مصالح، باعث می‌گردد تا با افزایش میزان بارندگی و رطوبت امکان وقوع زمین

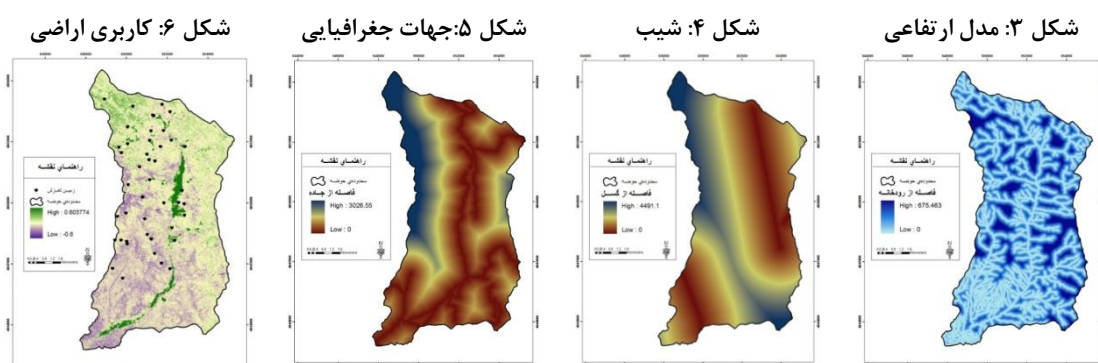
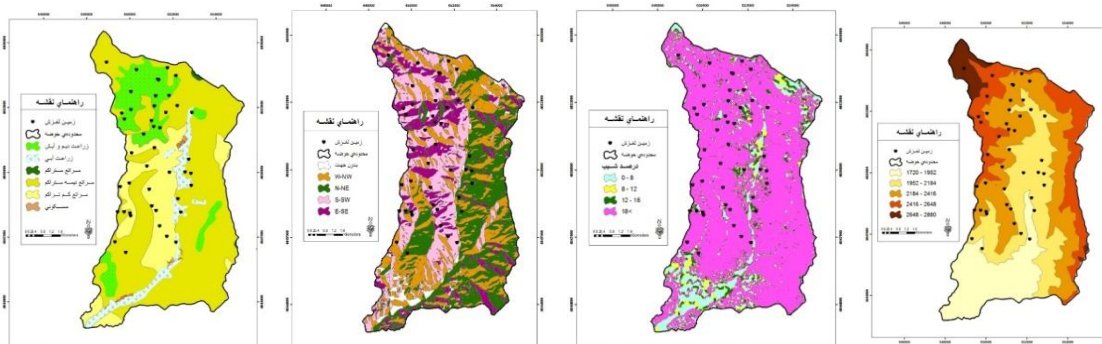
شد (شکل ۴). انطباق طبقات شیب با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که وقوع زمین لغزش‌ها در تمام شیب‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد و بیشتر زمین لغزش‌ها (۸۶/۳۶ درصد) در محدوده شیب بالاتر از ۱۸ درصد رخ داده‌اند و در شیب‌های کمتر از ۱۲ درصد هیچ زمین لغزشی رخ نداده است.

جهت شیب: جهت شیب یکی از عوامل تعیین‌کننده در حرکت‌های توده‌ای سازندهای مارنی به شمار می‌رود. در حوضه بقیع پس از تلفیق نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه جهت شیب این نتیجه حاصل شد که در حالت کلی، دامنه‌های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای ایفا می‌کنند. برای این منظور، نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۵) **کاربری اراضی:** چگونگی کاربری اراضی در وقوع پدیده زمین لغزش مؤثر است. شکل (۶) توزیع انواع مختلف کاربری و ارتباط آن‌ها را با زمین لغزش نشان می‌دهد. در حوزه مورد مطالعه، بیش‌ترین کاربری را مراتع دارد و میزان لغزش‌های رخ داده در زمین‌های مرتعی، بیش‌ترین میزان و برابر با ۶۱/۳۶ درصد از کل لغزش‌ها است. پس از زمین‌های مرتعی، زمین‌های دیم‌کاری ۳۱/۸۸ درصد از لغزش‌های رخ داده در منطقه را در خود جای داده است. در کاربری‌های کشاورزی آبی و باغی میزان لغزش‌ها ۶/۸۱ درصد و در مناطق مسکونی صفر درصد است (شکل ۱۳).

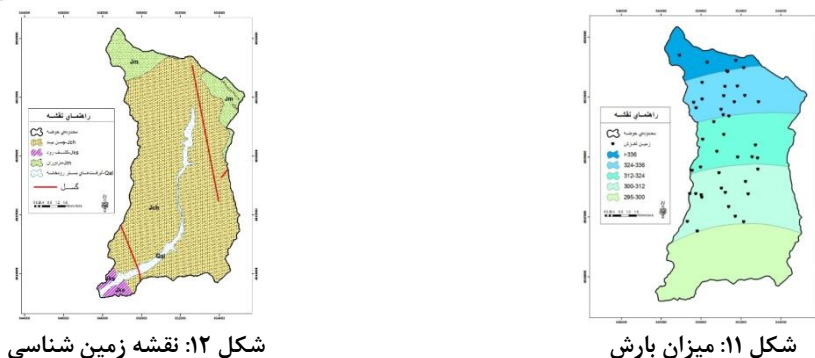
فاصله از رودخانه: عامل بسیاری از پدیده‌های لغزشی، فرسایش و زیرشویی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به وسیله جریان‌های پرسرعت سیلابی یا رواناب‌های سطحی و جریان‌های رودخانه‌ای است. بر این اساس نقشه فاصله از شبکه آبراهه‌ها تهیه و ملاحظه شد که در حوضه بقیع بیش از ۵۰ درصد از لغزش‌ها دقیقاً در دامنه‌های منتهی به رودخانه یا مسیل‌ها یا آبراهه‌ها به وقوع پیوسته است. به عبارت بهتر ۹۳/۱۷ درصد از زمین لغزش‌ها تا فاصله ۲۰۰ متری از آبراهه‌ها رخ داده‌اند (شکل ۷)

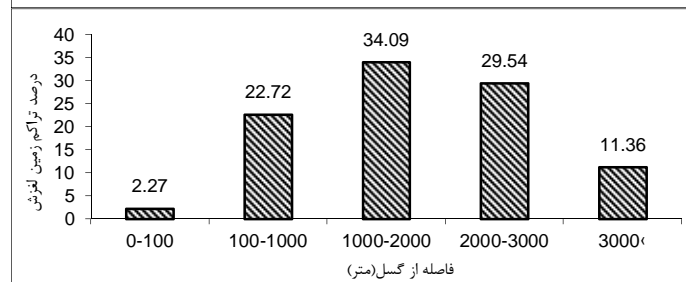
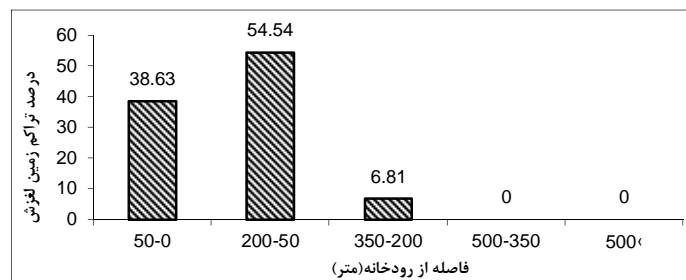
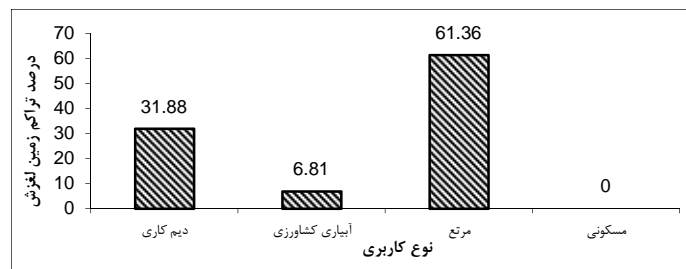
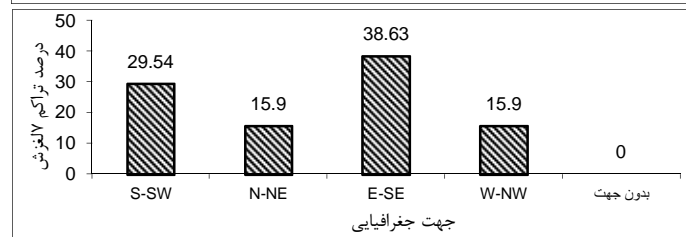
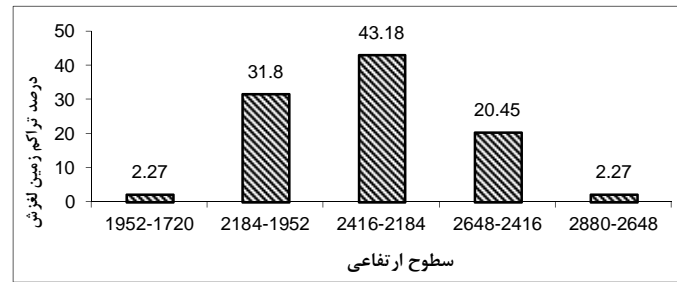
لیتولوژی (سنگ‌شناسی): نوع سازند زمین شناسی هر ناحیه نقش مهمی در گسترش پهنه‌های لغزشی دارد. گستره واحدهای زمین شناسی محدوده مطالعاتی در شکل (۱۲) نشان داده شده است. سازند چمن بید با ۹۰/۹ درصد تراکم زمین‌لغزش، بیشترین میزان زمین‌لغزش را به دلیل وجود شیل و مارن فراوان دارد.

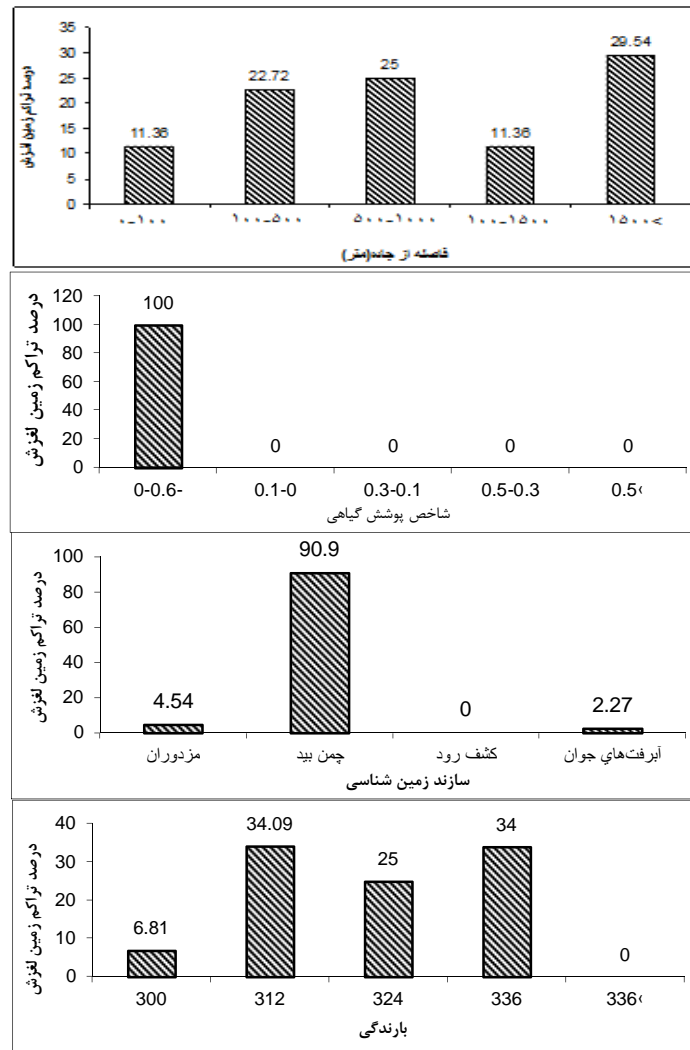
لغزش‌ها افزایش یابد. بیشترین سطح لغزیده در طبقات بارش ۳۰۰-۳۳۶ میلی‌متر دیده می‌شود که ۹۳/۰۹ درصد از زمین‌لغزش‌ها در این رنج قرار دارند که بیشترین مقدار آن در دو طبقه ۳۰۰-۳۱۲ و ۳۱۲-۳۳۶ با میزان ۳۴/۰۹ و ۳۴ درصد به ترتیب به چشم می‌خورد (شکل ۱۳).



شکل ۱۲: نقشه زمین شناسی







شکل ۱۳: میزان تراکم زمین لغزش در متغیرهای مؤثر در وقوع زمین لغزش در حوضه بقیع را نشان می‌دهد.

لغزش تلفیق گردید و از این طریق تراکم زمین لغزش در هر کلاس لایه موضوعی (PPa) و همچنین تراکم زمین لغزش در کل منطقه (PPs) بدست آمد. سپس طبق رابطه (۱) مقدار فاکتور قطعیت برای هر یک از کلاس‌های لایه‌های موضوعی محاسبه گردید. مقادیر فاکتور قطعیت وارد جداول توصیفی لایه‌های موضوعی شده و براساس آن، لایه‌ها طبقه‌بندی مجدد شدند. سپس از طریق روش همپوشانی وزن دار، نقشه پهنه‌بندی به روش فاکتور قطعیت در محیط GIS در ۵ طبقه تهیه گردید.

بعد از تهیه عوامل مختلف مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های حوضه آبخیز بقیع، این لایه‌ها بر مبنای ۵ دسته طبقه‌بندی گردیدند (جدول ۱). سپس با روش ذکر شده نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شد. **پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه به روش فاکتور قطعیت (CF):** بعد از تهیه عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش منطقه و قطع دادن هر کدام از عوامل ذکر شده با نقشه پراکنش زمین لغزش، برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل فاکتور قطعیت، ابتدا هر لایه موضوعی با لایه پراکندگی

جدول ۱: کد طبقه‌های عوامل مختلف و مؤثر در زمین لغزش حوضه آبخیز بقیع (منبع: نگارندگان)

ردیف	زمین شناسی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت شیب	پوشش گیاهی	فاصله از رودخانه
۱	مزدوران	۰-۸	۰-۱۰۰	دیم‌کاری	۲۸۸-۳۰۰	۰-۱۰۰	۱۷۲۰-۱۹۵۲	S-SW	۰-۰,۶۰	۰-۵۰
۲	چمن بید	۸-۱۲	۱۰۰-۵۰۰	آبیاری کشاورزی	۳۰۰-۳۱۲	۱۰۰-۱۰۰۰	۱۶۵۲-۲۱۸۴	N-NE	۰-۰,۱	۵۰-۲۰۰
۳	کشف‌رود	۱۲-۱۸	۱۰۰۰-۵۰۰	مرتع	۳۱۲-۳۲۴	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۱۸۴-۲۴۱۶	E-SE	۰,۱-۰,۳	۲۰۰-۳۵۰
۴	آبرفت‌های جوان	۱۸<	۱۵۰۰-۱۰۰	مسکونی	۳۲۴-۳۳۶	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۲۴۱۶-۲۶۴۸	W-NW	۰,۳-۰,۵	۳۵۰-۵۰۰
۵	-	-	۱۵۰۰<	-	۳۳۶<	۳۰۰۰<	۲۶۴۸-۲۸۸۰	بدون جهت	۰,۵<	۵۰۰<

جدول ۲: نرخ طبقه‌های عوامل وقوع زمین لغزش حوضه آبخیز بقیع به روش فاکتور قطعیت (منبع: نگارندگان)

ردیف	لینتولوژی	شیب (درصد)	فاصله از جاده	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از گسل	ارتفاع	جهت دامنه	شاخص پوشش گیاهی	فاصله از رودخانه
۱	-۰,۴۵۹	-۰,۸۰۲	۰,۳۰۸	۰,۶۲۳	۰,۶۶۱	-۰,۸۳۶	-۰,۶۸۰	-۰,۳۸۴	۰,۰۳۱	-۰,۵۳۶
۲	۰,۰۵۳	۰,۰۴۰	-۰,۳۸۱	۰,۹۲۵	۰,۱۴۶	۰,۶۲۱	۰,۳۲۵	۰,۲۱۴	-۱	۰,۱۵۹
۳	-۱	۰,۰۴۶	-۰,۲۵۸	-۰,۴۴۴	۰,۴۷۶	-۰,۶۹۳	۰,۱۶۷	۰,۴۳۱	-۱	۰,۳۲۶
۴	۰,۴۶۶	۰,۱۸۹	۰,۳۹۱	-۱	-۰,۷۳۱	۰,۱۴۹	-۰,۳۸۸	-۰,۲۷۳	-۱	۰,۰۷۹
۵	-	-	۰,۶۴۹	-	-۰,۷۰۱	۰,۳۲۲	۰,۵۱۷	-	-۱	-۰,۹۶۵

است که در لغزش تاثیر گذار است در محاسبات انجام گرفته در فاصله ۱۰۰-۱۰۰۰ متری از گسل بزرگترین CF به دست آمده است. در ارتفاعات مختلف احتمال لغزش متفاوت است در منطقه بقیع در ارتفاع ۲۸۸۰-۲۶۴۸ متری احتمال لغزش بیشتر است. در بررسی شاخص پوشش گیاهی NDVI در تراکم ۰,۶-۰ عدد فاکتور اطمینان بزرگتر است. در لایه فاصله از رودخانه، فاصله ۲۰۰-۳۵۰ بروز لغزش با احتمال بیشتری مورد انتظار است. جدول (۳) وزن کلی عوامل در روش پهنه‌بندی فاکتور قطعیت را بیان می‌کند.

با توجه به محاسبات انجام شده، مشخص گردید که در لایه لیتولوژی، طبقه ۴ که مربوط به آبرفت‌های جوان است، نرخ CF بالاتر است که نشان‌دهنده وقوع لغزش بیشتر در این طبقه می‌باشد. در بررسی در صد شیب، CF مناطقی که دارای شیب ۸-۱۲ درصد هستند بیشترین احتمال خطر را دارد. قسمت‌هایی که در فاصله بیشتر از ۱۵۰۰ متری از جاده هستند نرخ فاکتور اطمینان بزرگتر می‌باشد. بخش‌هایی از منطقه که در آنها کشاورزی آبی انجام می‌شود فاکتور قطعیت بزرگتری دارند. در کلاس‌های بارندگی مختلف، سهم کلاس ۲۸۸-۳۰۰ از فاکتور اطمینان بیشتر است و احتمال لغزش بیشتر می‌باشد. گسل پدیده تکتونیکی

جدول ۳: نرخ عوامل در روش فاکتور قطعیت

عامل	ارتفاع	شیب	جهت دامنه	لینتولوژی	فاصله از گسل	شاخص پوشش گیاهی	کاربری اراضی	بارندگی	فاصله از جاده	فاصله از رودخانه	نرخ سازگاری
وزن کلی عوامل در روش CF	۰,۱۲۱	۰,۱۹۶	۰,۰۹۱	۰,۱۳	۰,۰۸	۰,۰۷۳	۰,۰۹	۰,۰۷۸	۰,۰۹۴	۰,۰۷۵	۰,۰۲

با ضریب ۱،۰۱ در درجه‌های بعدی اهمیت قرار دارند. عامل فاصله از گسل و پوشش گیاهی به عنوان کم‌اثرترین متغیر مستقل در رویداد زمین‌لغزش حوضه بقیع مطرح است.

به‌طور کلی شرایط طبیعی حوضه مورد مطالعه مانند شیب و لیتولوژی بستر مناسبی برای وقوع زمین‌لغزش بوجود آورده است و بیشترین نرخ‌های حاصل از دو روش پهنه‌بندی به ترتیب به طبقات شیب و لیتولوژی و کم‌ترین نرخ به پوشش گیاهی تعلق دارد. براساس بررسی‌های به عمل آمده بیشتر زمین‌لغزش‌ها (۸۶/۳۶ درصد) در محدوده شیب بالاتر از ۱۸ درصد رخ داده‌اند و در شیب‌های کمتر از ۱۲ درصد هیچ زمین‌لغزشی رخ نداده است. این در حالی است که حدود ۷۹ درصد از حوضه (۵۰۴۹ هکتار) شیب بالای ۱۸ درصد دارد. با توجه به تنوع سنگ شناسی منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به زمین‌لغزش، جنس سنگ نقش مؤثری در وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد نظر دارد. اکثر لغزش‌های فعال حوضه بر روی سازند چمن‌بید با ۹۰/۹ درصد کل لغزش‌ها اتفاق افتاده است. با انطباق نقشه پوشش گیاهی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، این نتیجه حاصل شد که ۱۰۰ درصد از لغزش‌ها در طبقه ۰-۰،۶ رخ داده است که این خود مبین تأثیر عامل پوشش گیاهی بر وقوع پدیده لغزش است. چرا که عدم وجود پوشش گیاهی موجب وقوع لغزش بیشتر در منطقه است و نرخ این طبقه نیز مؤید واقعیت است. شکل (۱۳) میزان تراکم زمین‌لغزش را در متغیرهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه بقیع نشان می‌دهد.

ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش: با استفاده از نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش گردید. جهت انجام این امر، نقشه پراکنش با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در سیستم اطلاعات جغرافیایی، قطع داده شدند. به منظور ارزیابی رده‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی از شاخص زمین‌لغزش استفاده گردید.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش رگرسیون لجستیک: مدل رگرسیون لجستیک با ۱۰ متغیر مستقل برای ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش (متغیر وابسته) حوضه آبخیز بقیع بکار گرفته شد و براساس ضرایب به دست آمده برای متغیرهای مستقل از طریق اجرای مدل، پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد در محدوده مطالعاتی انجام گرفت. برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون چند متغیره لجستیک، درصد تراکم زمین‌لغزش در هر منطقه از عوامل ۱۰ گانه زمین‌لغزش محاسبه گردید. از تلفیق نقشه‌های عوامل، نقشه واحدهای همگن تهیه گردید. بعد از قطع نقشه واحدهای همگن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش، واحدهای دارای لغزش مشخص گردید و به تمام واحدهای همگن دارای لغزش کد ۱ و به واحدهای همگن بدون لغزش کد صفر داده شد. وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش در واحدهای همگن به عنوان متغیر وابسته و درصد تراکم زمین‌لغزش در هر طبقه از عوامل ده‌گانه به عنوان عوامل مستقل وارد رگرسیون لجستیک در نرم‌افزار آماری شدند.

نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون لجستیک جهت ارزیابی مهم‌ترین عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش حوضه آبخیز بقیع در جدول (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج، ضرایب لایه‌های ارتفاع، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و گسل منفی به دست آمده است که بیانگر رابطه معکوس متغیر وابسته (زمین‌لغزش) با این متغیرهای مستقل است، به عبارتی با افزایش فاصله از گسل و رودخانه و جاده و افزایش ارتفاع، احتمال رویداد لغزش کاهش می‌یابد. در واقع ضرایب منفی نشان‌دهنده عدم همبستگی نمی‌باشد، بلکه به معنای همبستگی ضعیف‌تر نسبت به عوامل دیگر است. ارتباط زمین‌لغزش با لایه‌های لیتولوژی، شیب، جهت شیب و کاربری اراضی مثبت است. در مجموع بر اساس نتایج حاصل از مدل رگرسیون لجستیک، مؤثرترین عامل در رویداد زمین‌لغزش حوضه آبخیز بقیع، لایه لیتولوژی با ضریب ۱،۰۸۸ است. ارتفاع با ضریب ۰،۲۲- و شیب

جدول ۴: ضرایب حاصل از رابطه رگرسیون لجستیک

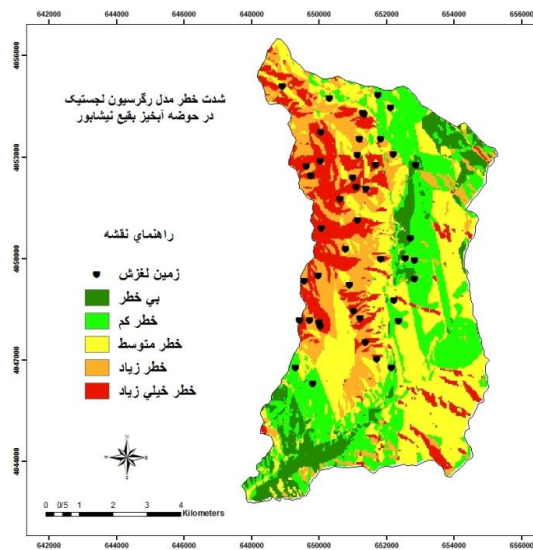
متغیر مستقل	ضریب β	سطح معناداری
ارتفاع	-۱,۰۳۲	۰,۰۴۸
شیب	۱,۰۱	۰,۰۰۰
جهت دامنه	۰,۰۸۶	۰,۰۰۰
لیتولوژی	۱,۰۸۸	۰,۰۳۵
فاصله از غسل	۰,۰۳۲	۰,۰۳۲
شاخص پوشش گیاهی	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰
کاربری اراضی	-۰,۵۳	۰,۰۰۰
بارندگی	-۱,۰۰۰	۰,۰۰۰
فاصله از جاده	-۰,۰۷۲	۰,۰۰۰
فاصله از رودخانه	-۰,۰۳۷	۰,۰۰۰
عدد ثابت	۸	۰,۰۱۰

قطعیت به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، کارایی بهتری نسبت به روش رگرسیون لجستیک در حوضه بقیع دارد. از طرفی براساس این شاخص، نقشه‌های حاصل از دو مدل ارائه شده دارای دقت مناسب می‌باشند؛ زیرا شاخص زمین لغزش نشان می‌دهد که در هر دو مدل بیشتر زمین لغزش‌ها در محدوده دو طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد رخ داده‌اند. همچنین در هر دو روش بدلیل اینکه مساحت زمین لغزش‌های حوضه مبنای کار قرار می‌گیرند، در نتیجه امکان بررسی بهتری از وضعیت پهنه بندی را در حوضه نشان می‌دهند و نقشه‌های تهیه شده با شرایط محلی مطابقت بیشتری خواهد داشت.

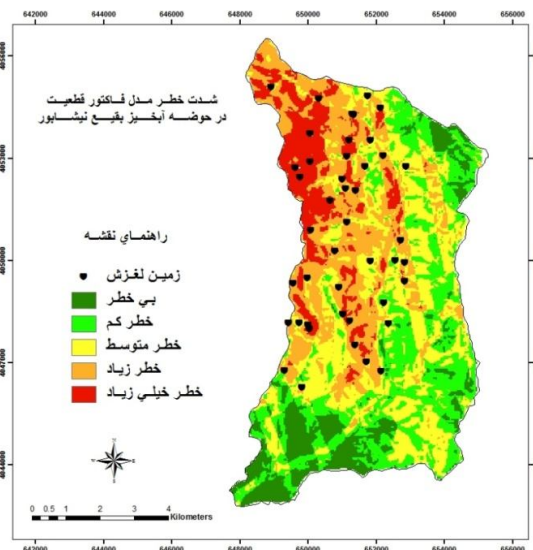
در این شاخص، فاکتورهای مساحت زمین لغزش‌ها و مساحت پهنه‌های خطر توسط نرم افزار Arc GIS به دست آمده است. همان طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود مقدار شاخص زمین لغزش در روش فاکتور قطعیت در رده خطر خیلی زیاد ۷۹/۶۳ در روش رگرسیون لجستیک ۳۶/۲۱ را نشان می‌دهد که بیانگر کارایی بالای روش فاکتور قطعیت نسبت به روش رگرسیون لجستیک در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر اساس شاخص زمین لغزش، در روش فاکتور قطعیت حدود ۹۲/۳۲ درصد و در روش رگرسیون لجستیک ۶۱/۳۵ درصد زمین لغزش‌ها در طبقه‌های خطر زیاد و خطر خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند؛ بنابراین، روش فاکتور

جدول ۵: مقایسه اطلاعات حاصل از تقاطع هر یک از نقشه‌های روش‌های پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها (منبع: نگارندگان).

روش پهنه‌بندی خطر لغزش	رده‌های خطر	مساحت لغزش در هر پهنه خطر به هکتار	مساحت هر پهنه خطر به هکتار	تراکم لغزش در هر رده	$\sum_1^n (Si/Ai)$	شاخص (Li) زمین لغزش در هر رده بر حسب درصد
فاکتور قطعیت (CF)	خیلی کم	۰	۶۸۷,۷۷۶	۰	۱,۳۳۱	۰
	کم	۰	۱۴۹۶,۹۷۳	۰		۰
	متوسط	۱۸۵	۱۸۰۳,۷۱۹	۰,۱۰۲		۷,۶۶
	زیاد	۲۶۰,۲۵	۱۵۳۵,۹۲۹	۰,۱۶۹		۱۲,۶۹
	خیلی زیاد	۷۹۰,۵۰	۷۴۴,۴۵۲	۱,۰۶		۷۹,۶۳
رگرسیون لجستیک	خیلی کم	۳۵	۵۰۳,۵۱۷	۰,۰۶۹	۰,۹۶۱	۷,۱۸
	کم	۴۲۸	۱۵۴۲,۵۱۷	۰,۲۷۷		۲۸,۸۲
	متوسط	۶۳	۱۷۸۴,۸۸۱	۰,۰۳۵		۳,۶۴
	زیاد	۲۹۴	۱۲۶۶,۷۵۶	۰,۲۳۲		۲۴,۱۴
	خیلی زیاد	۴۱۵,۷۵	۱۱۹۴,۴۶۷	۰,۳۴۸		۳۶,۲۱



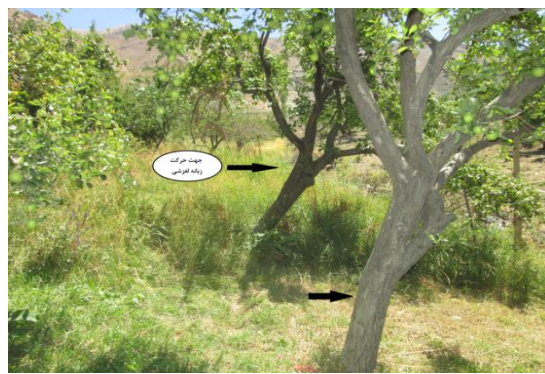
شکل ۱۵: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش رگرسیون لجستیک



شکل ۱۴: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش CF



شکل ۱۷: نمونه‌ای از یک لغزش در منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)



شکل ۱۶: باغ‌های ایجاد شده بر روی زبانه لغزشی (منبع: نگارندگان)

بیش‌ترین پتانسیل زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه در سازند چمن بید وجود دارد. در قسمت‌هایی از این سازند که مورد دخالت انسان (ایجاد باغ‌های میوه بر روی دامنه‌ها) قرار گرفته، بیش‌ترین سطح زمین‌لغزش شکل گرفته و حساسیت بالایی هم برای وقوع زمین‌لغزش داراست.

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده، براساس ۱۰ عامل مؤثر بر زمین‌لغزش، لایه‌های مختلف اطلاعاتی با ریسک وقوع زمین‌لغزش خطر خیلی زیاد تا بی‌خطر شناسایی شدند. مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد در قسمت غرب و شمال غرب حوضه

نتیجه‌گیری

زمین‌لغزش یکی از بلاهای طبیعی مخاطره‌آمیز است که هر ساله دولت و مؤسسات پژوهشی جهت کاهش نسبی خطرات و افزایش میزان پایداری دامنه‌ها و ارزیابی میزان خسارت جهت نشان دادن توزیع فضایی آن تلاش می‌کنند. در این پژوهش، برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش از دو مدل آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک استفاده شد. در هر دو مدل آماری فاکتور قطعیت و رگرسیون لجستیک عامل لیتولوژی با بیش‌ترین ضریب بهترین متغیر پیش‌بینی‌کننده احتمال وقوع زمین‌لغزش در منطقه است.

۵. زارع، محمد، احمدی، حسن و شعبانعلی غلامی. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی حوزه آبخیز واز). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال پنجم، شماره ۱۷، ۲۲-۱۵.
۶. سرور، جلیل‌الدین، رضانی، بهمن و مریم ادهمی. ۱۳۹۱. پهنه بندی حرکت‌های توده‌ای از طریق بررسی مدل L.NRF. مطالعه موردی: منطقه نیر به سراب. فصل نامه جغرافیای طبیعی. سال پنجم، شماره ۱۶، تابستان ۱۳۹۱، ۲۴-۱۱.
۷. سوری، سلمان، لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد و طاهر فرهادی‌نژاد. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مطالعه موردی: حوضه کشوری (نوژیان). نشریه زمین‌شناسی مهندسی. جلد پنجم، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، ۱۲۶۹-۱۲۸۶.
۸. سیارپور، محسن. ۱۳۷۸. پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال در استان اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی. دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۷۳ ص.
۹. شیرانی، کوروش و علیرضا عرب‌عامری. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: حوضه دز علیا). علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). دوره ۱۹، شماره ۷۲، ۳۳۴-۳۲۱.
۱۰. عابدینی، موسی، قاسمیان، بهاره و عطاله شیرزادی. ۱۳۹۳. مدل سازی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: استان کردستان)، شهرستان بیجار. جغرافیا و توسعه. شماره ۳۷، زمستان ۱۳۹۳، ۱۰۲-۸۵.
۱۱. کریمی، حاجی، نادری، فتح اله، مرشدی، ابراهیم و مهدی نیک سرشت. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی. سال ۷، شماره ۴، ۳۳۲-۳۱۹.
۱۲. موسوی خطیر، سیده زهره، کاویان، عطاله و کریم سلیمانی. ۱۳۸۹. تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز سجارود با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک. مجله علوم و فنون کشاورزی و (بالا دست) واقع شده‌اند. در مورد پهنه بندی با دو روش ذکر شده در حوضه آبخیز بقیع چنین بر می‌آید روش فاکتور قطعیت مناسب‌تر از رگرسیون لجستیک است. روش فاکتور قطعیت به لحاظ داشتن انطباق بیشتر زمین لغزش‌ها با پهنه خطر بالا و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر، کارایی بهتری نسبت به روش لجستیک دارد. منطقه مورد مطالعه در مجموع دارای پتانسیل زیادی برای وقوع زمین لغزش است و این لغزش‌ها هر ساله خسارات زیادی به جاده، مناطق مسکونی، زمین‌های کشاورزی و دیگر منابع موجود در منطقه وارد می‌کند. عوامل شیب (وقوع بیش از ۹۰ درصد زمین لغزش‌ها در شیب‌های بالای ۱۲ درصد) و زمین‌شناسی (حدود ۹۰ درصد زمین لغزش‌ها در سازند چمن بید با میان لایه‌های رسی)، غیرقابل تغییر بوده و تنها راه جلوگیری از خسارات آنها، دوری از این مناطق و عدم تحریک این مناطق است.

منابع

۱. ایزدی، زهرا و مژگان انتظاری. ۱۳۹۲. زمین لغزش‌های ایران. معرفی عوامل و مدیریت. مجله آموزش رشد جغرافیا، شماره ۱۰۳، ۳۷-۳۲.
۲. بهشتی راد، مسعود، فیض‌نیا، سادات، سلاجقه، علی و حسن احمدی. ۱۳۸۸. بررسی کارایی مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان (CF) حوزه آبخیز معلم کلایه. فصل نامه جغرافیای طبیعی. سال دوم، شماره ۵، ۲۸-۱۹.
۳. جعفری، تیمور. ۱۳۸۶. مدل سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در دامنه‌های شمالی آلاداغ، مطالعه موردی: بررسی تطبیقی حوضه زهکشی بـدرانلو و چناران در استان خراسان شمالی. رساله دکتری جغرافیا، دانشگاه تهران.
۴. روشن ضمیر، سهیلا، شادفر، صمد و تهمینه چهره آرا ضیا بری. ۱۳۸۸. کاربرد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در بررسی زمین لغزش با استفاده از روش CF. مطالعه موردی حوضه مراغه. ششمین همایش سامانه اطلاعات مکانی (GIS). سازمان نقشه برداری کشور، تهران.

- Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards*, 65: 135-165
22. Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H. A. and Sonmez, H. 2006. Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area Istanbul Turkey. *Environmental Geology*, 51: 241-256.
 23. Kavzoglu, T., Sahin, E.K., Colkesen, I. 2013. Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*.
 24. Kleinbaum D. G and Klein M. 2010. *Logistic regression, a self-learning text*. Springer.
 25. Komac, Blaz and Matija Zorn. 2008. Statistical landslide susceptibility modeling on a national scale: the example of Slovenia. IAG regional conference on geomorphology landslides, floods and global environmental change in mountain regions, Brasov.
 26. Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang. L.J., Zhang, H.Y., and Li, R.H. 2004. Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojing Watershed, Yunnan, China, *Engineering Geology*, 76: 109-128.
 27. Lee, S. and Biswajeet P. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4:33-41.
 28. Lee, S. and Pradhan, B. 2007. Landslide Hazard Mapping at Selangor Malaysia using Frequency Ratio and Logistic Regression models, *Landslide*, 4: 33-41.
 29. Oconnell Ann, A. 2006. *Logistic regression models for ordinal response variables*. Thousand Oaks, Calif.: SAGE Publications, c2006.
 30. Parthian, B., and Lee, S. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: bad propagation artificial neural networks and comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling. *Geomorphology*, 25.
 31. Schicker, R. and Moon V. 2012. Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. *Geomorphology*, 161-162.
- منابع طبیعی. علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳، ۹۹-۱۱۱.
۱۳. یمانی، مجتبی، حسن پور، سیروس، مصطفایی، ابوالفضل و مجید شادمان رودپشتی. ۱۳۹۱. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS. *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. سال ۲۳، شماره ۴، ۳۹-۵۶.
 14. Atkinson, P., Massari, R 2011. Logistic modeling susceptibility to land sliding in the Apennines. *Italy Geomorphology*. 130.
 15. Ayalew. L and Yamagishi. H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65: 15-31.
 16. Shibiao, B., Guonian, L., Jian, W., Pinggen, Z and Liang, D. 2011. GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China. *Environ Earth Sci*. 62:139-149.
 17. Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani F., Rampini, A., 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches, *Natural Hazards*, 17.
 18. Binaghi. E et al. 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Natural hazards* 17: 77-97.
 19. Chen, Zhaohua. Wang, Jinfei. 2007. Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada. *Geomorphology*, 42.
 20. Das, I., Sahoo, S., Westen, A., Stein, A., Hack, A. 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*. 1147.
 21. Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R., Althuwaynee, O.F. 2013. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-

33. Sujatha, E.R. et al. 2012. Landslide susceptibility analysis using probabilistic certainty factor approach: a case study on Tevankarai stream watershed, India. *Earth Syst. Sci.* 121 (5):1337-1350.

32. Soeters, R., and Van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslide Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Research Council, 129–177.

