نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۴۵، تابستان ۹۶

# پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز لواسانات

دریافت مقاله: ۹۴/۸/۱۴ پذیرش نهایی: ۹۶/۲/۲۵
صفحات: ۲۴-۷

**فریبا همتی**، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران[۱]
Email: f.hematti@gmail.com
**سید اسداله حجازی**: استادیار گروه ژئومورفولوژی، تبریز، ایران
Email:s.hejazi@tabrizu.ac.ir

**چکیده**

**در این پژوهش خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز لواسانات با مدل رگرسیون لجستیک به منظور تعیین مناطق خطر زمین‌لغزش برای مدیریت و خسارت حوضه آبریز لواسانات مورد ارزیابی قرار گرفت. ابتدا از طریق بازدید میدانی، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و با مرور منابع قبلی و بررسی شرایط حوضه آبریز لواسان هشت عامل اعم از ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله ازجاده، کاربری اراضی به عنوان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغرش موردارزیابی قرار گرفت. پس از انجام پهنه‌بندی زمین لغزش درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد نتیجه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند سهم زیادی از میزان مساحت منطقه را دارا می-باشند. در مدل حاضر که با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام گرفت عامل کاربری اراضی با بیشترین ضریب، بهترین متغیر پیش‌بینی کننده احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است. بیشترین پتانسیل لغزش در حوضه مورد مطالعه در مراتع مرغوب و استپی و مراتع متوسط و در سازند سنوزوئیک و کواترنری می‌باشد.**

**کلید واژگان**: حرکات توده‌ای، پهنه‌بندی، خطر زمین‌لغزش، مدل لجستیک، حوضه آبریز لواسانات.

۱. **نویسنده مسئول**: آذربایجان شرقی، دانشگاه تبریز، خوابگاه شهدا، بلوک ۳

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

**مقدمه**

لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکات یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (محمودی، ۱۳۸۲، ص ۴۳). بنا بر تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌لغزش عبارتست از جا به جایی به سمت پایین توده‌ای از مواد برروی یک شیب (نصیری، ۱۸۳، ص ۳). در نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش دو نگرش کیفی و کمی وجود دارد. در روشهای کیفی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش به صورت موضوعی و توصیفی مورد توجه قرار گرفته و نتایج آنها به نظرات کارشناسی بستگی دارد. در نگرشهای کمی روابط بین عوامل کنترل کننده زمین‌لغزشها به صورت عددی بیان می‌شود. ارزیابی کمی و نیمه‌کمی برای مناطقی صورت می‌گیرد که فعلاً فاقد زمین‌لغزش هستند اما شرایط مشابه در آنها وجود دارد. روش‌های کمی به دو دسته روشهای آماری و روشهای ژئوتکنیکی تقسیم می‌شوند. در این مقاله از روش آماری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده شده است. مهم‌ترین روشهای آماری برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها روش آنالیز رگرسیون چندگانه، آنالیز تشخیصی و رگرسیون لجستیک است. تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. پژوهش‌هایی که در خارج از کشور در مورد پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک انجام شده است عبارتند از: دای ولی[1](۲۰۰۲)، گریگوری[2]وهمکاران (۲۰۰۳)، آیالو و یاماگشی[3] (۲۰۰۵)، چن و وانگ[4](۲۰۰۷)، داس [5]و همکاران (۲۰۱۰)، پرادهان و لی[6](۲۰۱۰)، اتکینسون و ماساری[7](۲۰۱۱). پژوهش‌های که در داخل کشور انجام شده‌اند عبارتند از: طلایی و همکاران (۱۳۸۸)، متولی و همکاران (۱۳۸۸)، شیرازدی و همکاران (۱۳۸۹)، فرداد و همکاران (۱۳۹۰)، کریمی سنگ چینی و اونق (۱۳۹۰)، بیدار (۱۳۹۰)، کریمی و نجفی (۱۳۹۱)، صداقت و همکاران (۱۳۹۱)، متولی و اسماعیلی (۱۳۹۱)، کردی و همکاران (۱۳۹۱)، صفاری و اخدر (۱۳۹۲)، فروزانفر وهمکاران (۱۳۹۲)، آسیایی و همکاران (۱۳۹۲). هدفی که از این پژوهش دنبال می‌شود این است که، حرکات و ناپایداریهای دامنه‌ای و عوامل مؤثر در آن شناخته شود

1. Dai & Lee.
2. Gregory.
3. Ayalew & Yamagishi.
4. Chan & Wang.
5. Das.
6. Pradhan & Lee.
7. Atkinson & Massari.

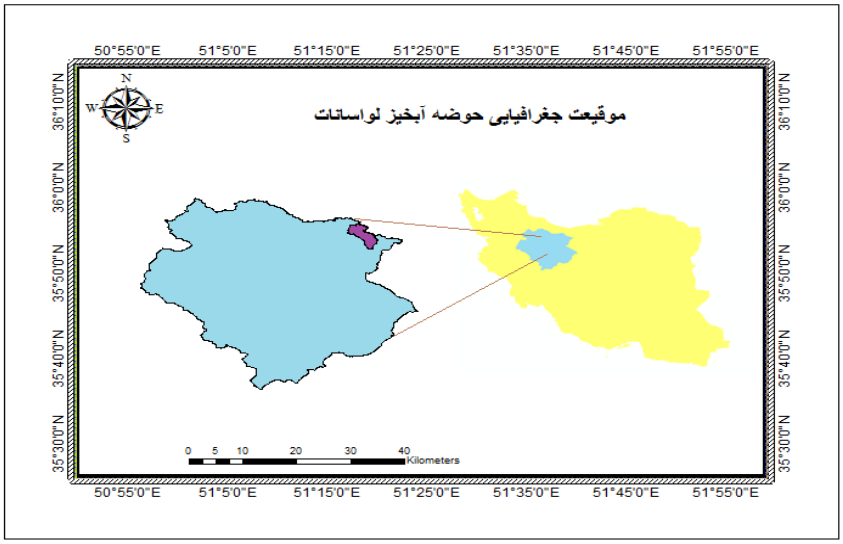
[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

تا به این وسیله از اثرات زیان بار آن در عرصه‌های منابع طبیعی و سایر بخش‌های توسعهٔ عمرانی و اقتصادی جلوگیری کرده و نقاط با پتانسیل بالای خطر شناسایی و پهنه‌بندی شود.

## موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز لواسانات، با مساحتی حدود ۹۸۳ کیلومتر مربع و محیطی برابر با ۱۶۷,۱۲ کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه‌های دریاچه نمک است که در محدوده جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. شکل(۱). این حوضه در محدود شهرستان شمیرانات در شمال استان تهران قرار دارد. شهرستان شمیران از شمال به استان مازندران، از جنوب به شهرستان تهران، از شرق به شهرستان دماوند و از غرب به استان البرز منتهی می‌شود. شهرستان شمیرانات از دو بخش (رودبار قصران و لواسانات) و سه دهستان و سه شهر تجریش، لواسان و اوشان و فشم و میگون تشکیل شده‌است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۵۶ متر می‌باشد. این شهرستان بدلیل واقع شدن در منطقه کوهستانی شمال استان تهران و نیز ضلع جنوبی البرز مرکزی دارای آب و هوای نیمه مرطوب و مرطوب با زمستانهای طولانی و سرد می‌باشد، بطوریکه متوسط درجه حرارت در سردترین ماه سال، تا پائین‌تر از منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد.




**شکل (۱). موقعیت کلی منطقه مورد مطالعه نسبت به حوزه آبخیزدریاچه نمک کشور**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

**رگرسیون لجستیک و مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش**

این مدل که مدل تحلیلی چند متغیره از گروه مـدل‌هـای آماری خطی تعمیم یافته است، جهت تحلیل حضور یا عدم حضور یک ویژگی یا خروجی برمبنای ارزش‌های مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مفید است (لی[1] و همکاران:۲۰۰۷: ۳۵)، هدف اصلی از رگرسیون لجستیک، مدل‌سازی احتمال وقـوع یک رویداد دو حالتی متداول، حضور و عدم حضور عوامل مختلف و معنـی‌داری ایـن حضـور یـا عـدم حضـور اسـت، مزیت مدل‌سازی با رگرسیون لجستیک نسبت به سایرفنون آماری چند متغیره ماننـد تحلیل رگرسیون چند متغیره و تحلیل تشخیص آن است که متغیر وابسته می‌تواند تنها دو مقدار داشته باشد که یکی احتمال وقوع حادثه و دیگری عدم وقوع آن است (دیی[2] و همکاران، ۲۰۰۲: ۶۸). در پژوهش حاضر، از مدل رگرسیون لجسـتیک به منظور تحلیل ارتباط فضایی بین رویداد زمین‌لغزش و عوامل مؤثر در این رویداد استفاده می‌شود؛ کـه هـدف اصـلی از اجرای آن یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور و یا عدم حضور متغیر وابسـته (زمـین‌لغـزش) و مجموعـه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل در رویداد زمین‌لغزش است. کاربرد مدل رگرسیون لجستیک جهت شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش به دو حالت حضور و عدم حضور این رویداد و یا به عبارتی صفر و یک می‌باشد. بنابراین به پهنه‌های لغزشی عدد یک و به پهنه‌هایی که زمین‌لغزش حضـور نداشت عدد صفر داده شد. مدل رگرسیون لجستیک با هشت متغیر مستقل برای ارزیابی عوامل مؤثر در رویداد زمین‌لغزش (وابسته متغیر) حوضـه آبخیز لواسانات بکار گرفته شد و براساس ضرایب به دست آمده برای متغیرهای مستقل از طریق اجرای مدل، پهنه‌بندی میزان خطر این رویداد نیز در محدوده مطالعاتی انجام گرفت.

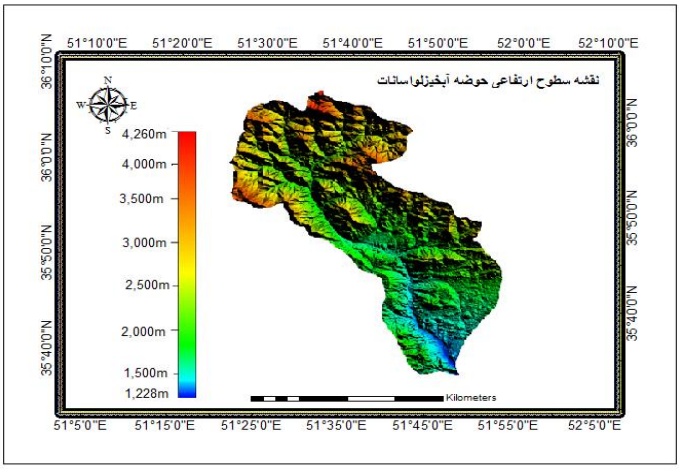
**شرح و تفسیر نتایج**

**طبقات ارتفاعی**

برای تهیه مدل رقومی ارتفاع از داده‌های ارتفاعی نقشه‌های رقومی سازمان نقشه برداری استفاده شده است. این حوضه دارای اختلاف ارتفاعی بیش از ۲۷۴۴ متر است به طوریکه ارتفاع زمین در بلندترین منطقه ۴۲۵۳ متر و در خروجی حوضه ۱۲۶۰ متر می‌باشد. شرایط طبیعی آن از نظر میزان بارش دریافتی، نوع بارش، روزهای یخبندان، درجه شیب و غیره با افزایش ارتفاع تغییر می‌کند. شکل (۲) تغییرات ارتفاع را نشان می‌دهد.

1. Dai et al.
2. Lee et al

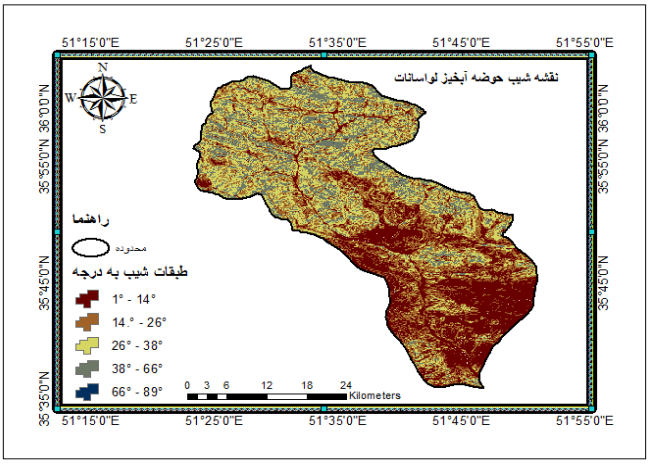
[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]




**شکل (۲). مدل رقومی ارتفاعی حوضه آبخیز لواسانات**

## شیب

در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزشها، اعم از پهنه‌بندی با وزن‌دهی بینا یا کور، منظم یا نامنظم، و در تمامی مقیاسها، پارامتر شیب دامنه به عنوان یکی از لایه‌های اصلی اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود. شیب و مورفولوژی دامنه‌ها تأثیر بسیار زیادی در وقوع پدیده زمین‌لغزش دارد. وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیر گذار عوامل دیگر را در حرکات توده‌ای تشدید می‌نماید. جهت بررسی رابطه بین عامل شیب با رویداد زمین‌لغزش لایه شیب بر اساس درجه در ۵ طبقه تهیه گردید (شکل ۳).

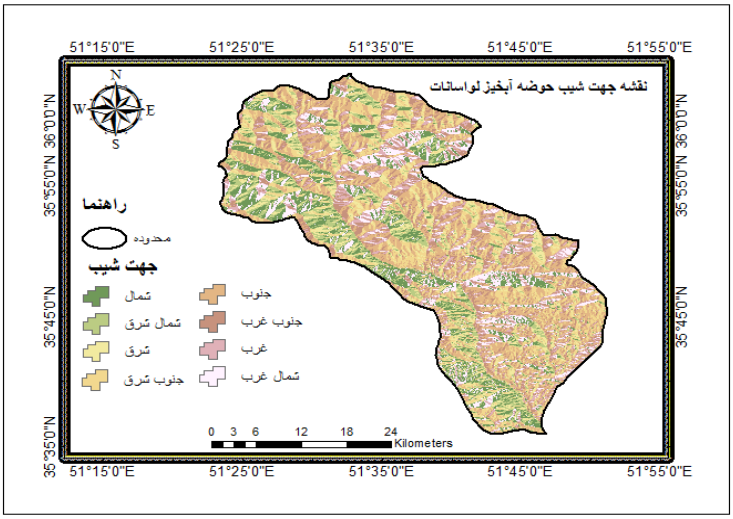



**شکل (۳). نقشه شیب حوضه آبخیز لواسانات**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

### جهت شیب

جنبه دیگری از تأثیر پارامتر شیب در ایجاد ناپایداریهای دامنه‌ای، جهت شیب دامنه است. گرچه به کارگیری این پارامتر همانند، مقدار شیب دامنه در الگوهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش رایج نمی‌باشد، لیکن در مناطقی که در طی ماه‌های مختلف سال اختلاف فاحشی در دمای دامنه‌های رو به آفتاب و پشت به آفتاب دارد وجود دارد، و این نوسان دما، در محدوده بالاتر و پائین‌تر از نقطه انجماد آب (در دامنه‌های خصوصاً برف‌گیر) صورت می‌گیرد، بین توزیع فراوانی ناپایداریهای دامنه‌ای و جهت شیب دامنه ارتباط معنی‌داری برقرار می‌گردد. به نحوی که تراکم ناپایداریهای دامنه‌ای در دامنه‌های شمالی (پشت به آفتاب) افزایش و در دامنه‌های جنوبی (رو به آفتاب) کاهش می‌یابد. برای این منظور جهت شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی در ۸ طبقه تهیه گردید شکل( ۴).




**شکل (۴). نقشه جهت شیب حوضه آبخیز لواسانات**

### لیتولوژی

منطقه مورد مطالعه از نظرتقسیمات ساختمانی ایران زمین در زون البرز مرکزی واقع شده است که خصوصیات مربوط به این زون را دارا می‌باشد. سلسله جبال البرز خود جزیی از قسمت شمالی کوهزایی آلپ -هیمالیا در آسیای غربی به شمار می‌رود (بررسی پراکنش زمین‌لغزشها در حوضه آبخیز تجن، ۱۳۷۸). اولین حرکات زمین‌ساختی مهمی که منجر به چین‌خوردگی البرز شد در ماستریشین پایانی و پالئوسن آغازین تحت عنوان فاز لارامید بوده که موجب تشکیل رشته کوه البرز در اوائل دوران سنوزوییک است (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). فازهای

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

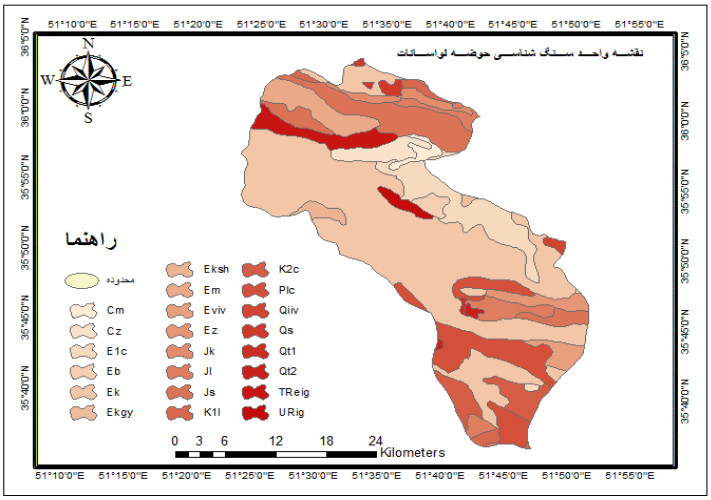
کوهزایی پیرنه در اوایل اولیگوسن و پاسادنین در اواخر پلیوسن سبب شکل‌گیری زمین‌ریخت فعلی البرز گردید. پیامد این حرکات گسل‌خوردگی و روراندگی و مرتفع شدن البرز بوده است. سازندهای زمین‌شناسی به علت تنوع ویژگی‌هایی مانند مقاومت و نفوذپذیری سنگ‌ها و خاک‌ها تأثیر مهمی در وقوع یا عدم وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند. در حوضه آبخیز لواسانات مجموعاً ۲۲ سازند قابل‌تشخیص است که از قدیم به جدید توصیف می‌شود. جدول(۱) ویژگی‌های هریک از این واحدها را نشان می‌دهد. گستره واحدهای زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی در شکل (۵) نشان داده شده است.

**جدول (۱). ویژگی سنگ‌شناسی حوضه آبخیر لواسانات**

| دوره | مشخصه | واحد | دوره | مشخصه | واحد |
|---|---|---|---|---|---|
| کواترنری | ذخایرتراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدیدکم ارتفاع | Qt2 | سنوزوئیک | آندریت ولکانیکی | EVIV |
| کواترنری | ذخایرتراسی ومخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع | Qt1 | ائوسن زیرین | سنگ آهک ریفی و مارن ژیپس‌دار (سازند زیارت) | EZ |
| کواترنری | ته نشست‌های ماسه‌ای شامل ماسه و ریگ | QS | سنوزوئیک | کشف رود | JK |
| الیگوسن | دیوریت | Oiiv | ژوراسیک- کرتاسه | سنگ آهک توه ای- نازک لایه خاکستری روشن (سازند لار) | JI |
| کربونیفر | سنگ آهک فسیل دار خاکستری تیره تا سیاه همراه شیل سیاه زیرین (مبارک سازند) | cm | تریاس | شیل خاکستری تیره و ماسه سنگ (سازند شمشک) | JS |
| کامبرین | دولومیت نازک تا ضخیم لایه، سنگ آهک نرم فسیل‌دار، سیلتستون و ماسه سنگ (سازندمیلا) | Em | اوایل کرتاسه | تیز کوه | K1l |
| پرکامبرین | سنگ‌های تفکیک نشده پروتروزوئیک بالایی- کامبرین زیرین | EB | اواخر کرتاسه | کنگلومرا و ماسه سنگ | K2C |
| ائوسن | شیل تیره توف‌دار با میان لایه‌های از توف (عضو زیزین توف) (سازند کرج) | EK | سنوزوئیک | کنگلومرا و ماسه سنگ | PLC |
| پالئوسن- ائوسن | کنگلومرا و ماسه سنگ قرمز کمرنگ | E1C | مزوزئیک | الیکا | TREG |
| ائوسن پایانی | ژیپس | EKGY | سنوزوئیک | قرمز بالایی | UREIG |
| سنوزوئیک | | EKSH | کامبرین | سازند زنجان | CZ |

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]



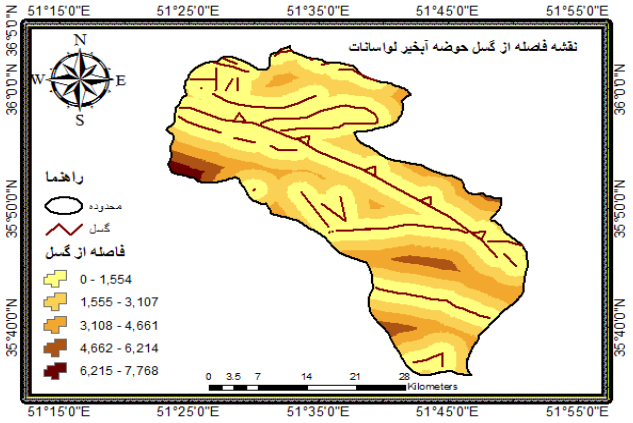

**شکل (۵). واحدهای زمین‌شناسی حوضه آبخیر لواسانات**

## فاصله از گسل

فاصله از گسل یا بعبارتی شکستگیها و خردشدگی نقش مؤثری در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها دارد. تأثیر گسل‌ها بر حرکات دامنه‌ای به صورت‌های مختلفی است: ۱- رویدادهای زلزله در نزدیکی گسل‌ها دارای شدت و شتاب بالائی است. ۲- تأثیر گسل‌ها در خرد شدگی سنگ‌های پیرامون. ۳- نفوذ بیشتر آب در درون توده‌های خرد شده که باعث بالارفتن سطح آب زیرزمینی و فشار آب منفذی می‌شود. معمولاً با دور شدن از گسل‌های اصلی تأثیر زمین‌لرزه کاهش می‌یابد و احتمال وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای نیز کمتر می‌شود، لذا می‌توان برحسب فاصله از گسل‌ها انتظار احتمال وقوع یا عدم وقوع ناپایداری‌های لغزشی را نشان داد. در این پژوهش، جهت بررسی ارتباط زمین‌لغزش با عامل گسل، نقشه فاصله از گسل در فواصل مختلف تهیه و در لایه ۵ طبقه‌ای جای گرفت که در شکل(۶) نشان داده شده است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

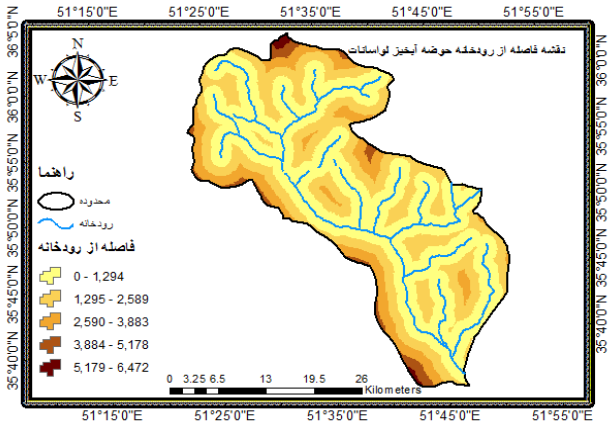
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]




**شکل (۶). نقشه فاصله از گسل حوضه آبخیز لواسانات**

### فاصله از رودخانه

آب‌های جاری یکی از عوامل افزایش رویداد لغزش در دامنه‌ها به شمار می‌روند؛ در دامنه‌هایی که دارای شیب کمتری هستند، تراکم آبراهه‌ها بیشتر بوده، تراکم لغزش‌ها افزایش می‌یابد؛ این امر نقش مهم آبراهه‌ها را در ایجاد لغزش‌ها نشان می‌دهد. اما در جایی که شیب دامنه افزایش می‌یابد، میزان آبراهه‌ها پایین آمده و به تبع حرکات توده‌ای نیز کمتر می‌شود. آبراهه‌ها بدلیل وجود زهکشی آب و دیواره‌های پرشیب معمولاً دارای لغزش بیشتری می‌باشند. نقشه فاصله از رودخانه در فواصل مختلف تهیه و در لایه‌ی ۵ طبقه‌ای جای گرفت که در شکل (۷) نشان داده شده است.

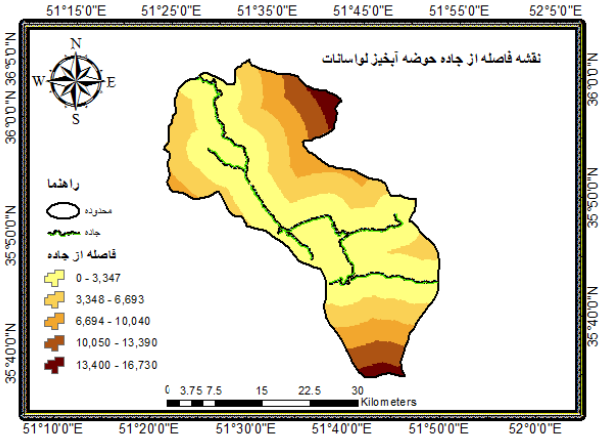



**شکل (۷). نقشه فاصله از رودخانه حوضه آبخیز لواسانات**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

### فاصله از جاده

نوع کاربری اراضی و فعالیت انسانی همیشه نقش تعیین کننده‌ای درتغییرات محیطی ایفا می‌کنند. در بسیاری از موارد، مکان‌گزینی این کاربری‌ها به اندازه‌ای نامناسب بوده که باعث ایجاد نابسامانی‌ها و اختلال در اکوسیستم‌های طبیعی شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۳۲). در بسیاری از موارد احداث جاده‌ها بر روی دامنه‌ها، مستلزم برداشتن تپه است. از سوی دیگر احداث جاده در بالای دامنه‌ها، به عنوان یک عامل افزایش سربار و نیروی مکانیکی محرک به حساب می‌آید. این عامل که ناشی از عملکرد انسان است، موجب ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین‌لغزش می‌گردد (کامفورث [1]، ۲۰۰۵). جهت تحلیل رابطه فاصله از جاده با رویداد زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه، لایه‌ی ۵ طبقه‌ای ایجاد گردید. شکل (۸).




**شکل (۸). نقشه فاصله از جاده حوضه آبخیز لواسانات**

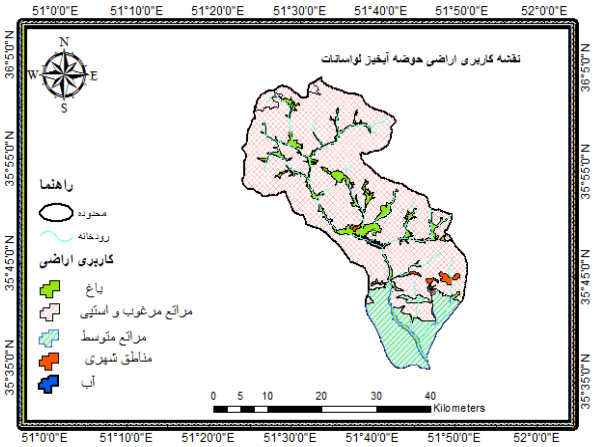
### کاربری اراضی

پوشش‌گیاهی حرکات دامنه‌ای را به تأخیر می‌اندازد و یا حتی گاهی موجب تثبیت دامنه می‌گردد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، ۵ نوع عمده از کاربری را با عناوین باغ، مراتع مرغوب و استپی، مراتع متوسط، منطقه شهری، کمبود را در این منطقه می‌توان تشخیص داد. شکل (۹). کاربری اصلی رایج در منطقه مورد مطالعه، مراتع مرغوب و استپی است که ۹۱۸,۶۰ کیلومتر مربع معادل ۹۳ درصد از مساحت کل حوضه را در بر می‌گیرد.

1. Comforth.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]




**شکل (۹). نقشه کاربری حوضه آبخیر لواسانات**

نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر در زمین‌لغزشهای حوضه لواسانات که متغیرهای مستقل در رویداد زمین‌لغزش هستند، وارد نرم افزار ادریسی شد و برای اجرای مدل رگرسیون لجستیک مورد پردازش قرار گرفتند، بر این اساس سه لایه رودخانه، جاده، و گسل که در ابتدا به صورت لایه وکتوری بودند به لایه رستر تبدیل شده سپس تابع Distance برای آنها اجرا گردید تا لایه‌های فاصله از رودخانه، گسل و جاده بدست آمد. لایه‌های کاربری اراضی و لیتولوژی نیز از لایه وکتوری به رستری تبدیل شدند. برای آنها تابع Edit/ASSIGN تعریف شد در این قسمت وزن هر کلاس بر اساس درصد تراکم زمین‌لغزشها در هرکلاس معین گردید. اشکال بالا درصد تراکم زمین‌لغزشها در کلاسهای مختلف متغیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهند. درصد تراکم زمین‌لغزشها از نسبت مساحت زمین‌لغزشها در هرکلاس به مساحت کل زمین‌لغزشها بدست آمد. برای این منظور از تابع Zonal Statictics در محیط ArcGis استفاده شد. در ادامه لایه‌های شیب، جهت دامنه، و طبقات ارتفاعی توسط تابع Reclassify به صورت مجدد کلاس‌بندی گردید. لایه پراکنش زمین‌لغزشهای منطقه نیز توسط تابع Image Calculator به صورت نقشه باینری ۰ و ۱ تبدیل گردید. بدین معنی که پیکسل‌های لغزشی بر روی نقشه مزبور با عدد ۱ (وجود لغزش) پیکسل‌های غیر لغزشی با عدد ۰ (عدم وجود لغزش) نشان داده شد. نهایتاً پس از ورود داده‌ها به مدل آماری رگرسیون لجستیک با استفاده از پارامترهای مؤثر در نرم افزار ادریسی، ضرایب مدل مطابق جدول (۲) استخراج شده است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

**جدول (۲). ضرائب حاصل از مدل رگرسیون لجستیک**

| | متغیرهای مستقل | ضرائب |
|---|---|---|
| $X_0$ | عدد ثابت | 4.74971 |
| $X_1$ | فاصله از گسل | -0.001008 |
| $X_2$ | فاصله از رودخانه | 0.000386 |
| $X_3$ | فاصله از جاده | -0.00018991 |
| $X_4$ | کاربری اراضی | 0.71201937 |
| $X_5$ | طبقات ارتفاعی | -0.81077408 |
| $X_6$ | شیب | -13.59277623 |
| $X_7$ | جهت شیب | 0.14221236 |
| $X_8$ | لیتولوژی | -0.10408980 |

بنابراین با توجه به ضرایب ارائه شده در جدول (۲)، معادله رگرسیون لجستیک به صورت رابطه (۱) می‌باشد.

رابطه (۱)

$$\text{logit(lagzes1)} = 4.74971^{*}\ x_0 - 0.001008\ ^{*}\ x_{1+}\ 0.000386^{*}\ x_2\ -0.00018991^{*}x_3 + 0.71201937^{*}x_4\ -0.81077408^{*}x_5\ -13.59277623^{*}x_6 + 0.14221236^{*}x_7\ -0.10408980^{*}x_8.$$

شاخص‌های اعتبار مدل آماری حاصل از رگرسیون در جدول (۳) ارائه شده است. برای بررسی این مدل از تست ROC, Pseudo R Square, Chi Square استفاده شده است.

**جدول (۳). شاخص‌های آماری حاصل از مدل رگرسیون**

| شاخص | مقدار |
|---|---|
| Chi Square | ۴۰,۹۱۴۷ |
| Pseudo R Square | ۰,۶۴۴۲ |
| ROC | ۰,۹۷۵۸ |

## آزمون Chi Square

آزمون کی دو، تست معتبر و معمولی برای رگرسیون لجستیک است از اختلاف بین (2Ln(L- برای مدل بهترین برازش و (2Ln(L0- که برای فرضیه صفر است، بدست می‌آید. چنانچه این آماره در سطح ۹۵ درصد معنی دار باشد (Chi Square> 14.1) فرضیه صفر (H0) رد می‌شود (صدر الدین متولی: ۱۳۸۸). مقدار شاخص Chi Square نیز برابر ۴۰,۹۱۴۷ گردید که با توجه به اینکه مقدار آن بسیار بیشتر از مقدار آستانه تعیین شده است در نتیجه فرض صفر تمام ضرایب نیز رد می‌گردد.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

**آزمون** Pseudo R Squar (PR2)

$$PR2 = 1 - Ln(L)/ Ln(L0)$$ رابطه (۲)

مقدار PR2 نشان می‌دهد که چگونه مدل لجستیک، مجموعه داده‌ها را برازش می‌دهد (منارد: ۱۹۹۵). بنابراین PR2 مساوی با ۱ نشان دهنده برازش کامل مدل است، چنانچه این مقدار برابر ۰ باشد نشان دهنده عدم رابطه متغیرهای مستقل با متغیر وابسته می‌باشد. چنانچه مقدار PR2 بزرگ‌تر از ۰/۲ باشد نشان دهنده برازش نسبتاً خوب مدل است (آیالیو[1]، ۲۰۰۵). با توجه به اینکه در این تحقیق مقدار شاخص PR2 برابر ۰,۶۴۴۲ گردید و مقدار آن بزرگتر از آستانه ۰/۲ می‌باشد، این مدل برازش قابل قبولی را نشان می‌دهد.

**آزمون** ROC

معیار دیگری که برای تفسیر بسیار آسان است، توجه به این مساله که مدل چه مقدار می‌تواند متغیر وابسته را به خوبی پیش‌بینی کند. در این مورد نرم افزار ادریسی از معیار ROC برای مقایسه یک نقشه بولین (وجود یا عدم وجود زمین لغزش) با تقشه احتمال بکار می‌رود. مقدار ROC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است که نشان دهنده تطابق کامل و ۰/۵ نشان دهنده تطابق اتفاقی است. مقدار ۰,۹۷۵۸ بدست آمده در این مطالعه، نشان دهنده همبستگی بسیار بالای بین متغیر مستقل و وابسته است.

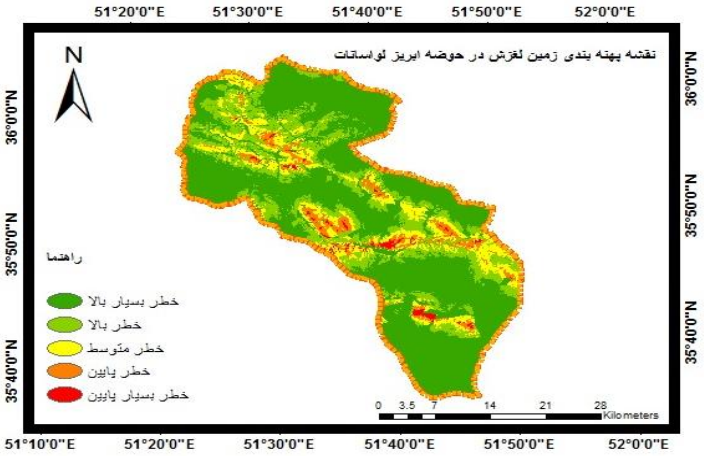
## نقشه پهنه‌بندی

پس از مشخص شدن اعتبار مدل رگرسیون لجستیک با استفاده از شاخص‌های فوق، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به زمین لغزش تهیه گردید شکل (۱۰). جهت پهنه‌بندی این لایه‌ها از روش طبقه‌بندی فاصله ژئومتریک به دلیل تطابق بیشتر آن با واقعیت منطقه انتخاب شد. در نهایت منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به زمین لغزش به ۵ کلاس بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین تقسیم گردید.

1. Ayalew et al.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]




**شکل (۱۰). نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش به روش رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز لواسانات**

### مساحت پهنه‌های لغزشی به درصد:

پس از انجام پهنه‌بندی زمین لغزش درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس محاسبه شد نتیجه نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، مناطقی که با خطر بسیار بالا پهنه‌بندی شده‌اند بیشترین درصد از میزان مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، جدول (۴) درصد پهنه‌های لغزشی در هر کلاس را در منطقه نشان می‌دهد.

**جدول (۴). مساحت کلاس‌های خطر به درصد**

| کلاس خطر | مساحت به درصد |
|---|---|
| بسیار بالا | ۶۱،۰۵ |
| بالا | ۲۱،۳۱ |
| متوسط | ۱،۰۹ |
| پایین | ۵،۰۷ |
| بسیار پایین | ۱۱،۴۵ |

### نتیجه گیری

بر اساس این مطالعه، در حدود ۶۱،۰۵ درصد حوضه‌ی آبریز لواسانات از نظر وقوع لغزش در پهنه‌های با خطر بسیار بالا و حدود ۱۱،۴۵ درصد مساحت در پهنه با خطر بسیار پایین قرار دارد. در مدل حاضر که با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام گرفت عامل کاربری اراضی با بیشترین ضریب بهترین متغیر پیش‌بینی کننده احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه است.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]
[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

بیشترین پتانسیل لغزش در حوضه مورد مطالعه در مراتع مرغوب و استپی و مراتع متوسط و در سازند سنوزوئیک و کواترنری می‌باشد. هر گونه فعالیتهای زراعی- دامی و عمرانی در این نواحی بدون آگاهی و توجه به دینامیک محیط طبیعی به تخریب محیط منجر خواهد شد. به این ترتیب، در اجرای طرح‌های عمرانی و توسعه (احداث راه) و یا در گردشگری، در حوضه لواسانات، توجه به توان بالقوه بالا و بسیار بالای لغزش مواد ضروری می‌نماید.

## منابع و مأخذ


۱- آسیایی، مجید؛ تاجبخش، سیدمحمد؛ خاشعی‌سیوکی، عباس؛ متولی، علیرضا. (۱۳۹۲). **ارزیابی دو روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی در پهنه‌بندی وقوع زمین‌لغزش (منطقه مورد مورد بررسی حوضه بهشت آباد چهار محال و بختیاری)**، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۱۴-۱.

۲- **بررسی پراکنش زمین‌لغزشها در حوضه آبخیز تجن، مدیریت آبخیزداری استان مازندران- ۱۳۷۸**، صفحه ۹۸.

۳-بیدار، زینب. (۱۳۹۰)، **پهنه‌بندی حرکات توده‌ای در مسیر جاده مشگین شهر- موئل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)**. پایان نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده محقق اردبیلی.

۴- شیرزادی، عطاالله؛ سلیمانی، کریم؛ حبیب نژاد روشن، محمود؛ چپی، کاران. (۱۳۸۹)، **مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ، نشریه مرتع و آبخیزداری**، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۳، شماره ۴، صفحات ۵۰۲-۴۸۹.

۵- شریعت جعفری، محسن. (۱۳۷۵)، **زمین‌لغزش (مبانی واصول پایداری شیب‌های طبیعی)**، انتشارات سازه تهران.

۶- صداقت، حسین؛ معتمد وزیری، بهارک؛ کاویان، عطاالله؛ موسوی خطیر، سید زهره. (۱۳۹۱)، **تهیه نقشه حساسیت به وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل آماری همبستگی لجستیک، مطالعه موردی: کیلومتر ۴۵-۵۷ جاده هراز از سمت آمل، مجله علوم و مهندسی آبخیز داری ایران**، سال ششم، شماره ۱۹، صفحات ۳۷- ۴۸.


[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

۷- صفاری، امیر؛ اخدر، آرش. (۱۳۹۲)، **مقایسه مدل نسبت به فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: جاده ارتباطی مریوان- سندج)**، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، فردوسی مشهد، شماره ۱ صفحات ۷۹-۹۶.

۸- طلایی، رضا، صمداف، سردار؛ شعاعی، ضیاالدین؛ شریعت جعفری، محسن. (۱۳۸۸)، **مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک در منطقه هشتجین (جنوب استان اردبیل)**، ششمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

۹- فروزانفر، میلاد؛ وهاب‌زاده، قربان؛ پورقاسمی، حمیدرضا. (۱۳۹۲)، **تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده مدل تلفیقی نسبت فروانی (FR) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)**، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۱۲، صص ۲۹-۱۷.

۱۰- فرداد، مهدی؛ آلشیخ، علی اصغر؛ حکیم پور، فرشاد؛ وفایینژاد، علیرضا. (۱۳۹۰)، **پهنه‌بندی حساسیت خطر زمین‌لغزش با روشهای منطق فازی (Fuzzy) و شبکه عصبی Neural Network در، GIS مطالعه موردی منطقه مال خلیفه**، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران

**۱۱**- کریمی، مرتضی؛ نجفی، اسماعیلی. (۱۳۹۱)، **ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ترکیبی FUZZY-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران)**، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۹۵-۷۷.

۱۲-کردی، عبدالواحد؛ دشتی‌مرویلی، مریم؛ معتمد وزیری، بهارک. (۱۳۹۱)، **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کوهسار)**، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۴۹-۶۱.

۱۳-کریمی سنگ چینی، ابراهیم؛ اونق، مجید. (۱۳۹۰)، **پهنه بندی خطر زمین لغزش با مدل آماری دو متغیره در زیر حوزه‌های چهل چای استان گلستان**، مجله علوم و مهندسی آبخیز داری ایران، سال پنجم، شماره ۱۵، ص ۵۳-۶۲

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

۱۴- متولی، صدرالدین؛ اسماعیلی، رضا؛ حسین‌زاده، محمدمهدی. (۱۳۸۸)، **تعیین حساسیت وقوع زمین لغزش با استفاده از رگرسیون لجستیک در حوضه آبریز واز (استان مازندران)**، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۵، صفحات ۷۳-۸۳.

۱۵- متولی، صدرالدین؛ اسماعیلی، رضا. (۱۳۹۱)، **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوزه آبخیز طالقان)**، فصلنامه علمی- پژوهشی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال دوم، شماره ۸، صص ۲۰-۱.

۱۶- محمودی، فرج ا.، ۱۳۸۲، **ژئومورفولوژی دینامیک**، انتشارات دانشگاه تهران.

۱۷- نصیری، شهرام. (۱۳۸۳)، **نگرشی بر زمین‌لغزش ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز**، پایگاه داده‌های علوم زمین کشور، صفحه ۱.

18 - Ayalew. L. Yamagishi. H. Marui. H & Kanno. 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 81. (2005). 432–445.

19 - Ayalew,l. and Yamagishi, H. (2005):**The application of GIS – based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountanins**, central Japan, Geomorphology 65,15-31.

20 - Atkinson, P., Massari, R (2011). **Logistic modeling susceptibility to land sliding in the Apennines**, Italy Geomorphology.Vol.130.

21- Cornforth, D., H., 2005, **"Landslides in practice: investigation, analysis, and remedial/preventative options in soils**", Wiley, 1ed, 624 pp.

22 -Chen, Zhaohua. Wang, Jinfei (2007). **Landslide hazard mapping using logistic regressionmodel in Mackenzie Valley**, Canada. Geomorphology, Vol.42.

23 - Dai, F. C.& Lee, c. f. (2002): **Landslide characteristics and slop instability modeling using GIS**.Lantau,Hong Kong Gemorphology 42, 213-228.

24 - Das, I., Sahoo. S, Westen, A. Stein, A. Hack, A. (2010). **Lanslidesusceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along road**

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]

**section in the northern Himalayas (India)**. Geomorphology, Vol.1147.

25 - Gregory C.Ohlmacher, John C. Davis (2003). **Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas**, USA. Geomorphology,Vol 69.

26 - Hosseinzadeh, M., Servati, M. R., and Mansouri, A. 2009. **Zonation of Mass Movements Occurring Risk using Logistic Regression Model. IRAN Geology Quarterly**, 3 (11): 27-37. (in Per.)

27 - Lee, S. 2007. **Application and Verification of Fuzzy Algebraic Operators to Landslide Susceptibility Mapping**. Environment Geology, 52: 615-623. (In Eng.)

28 -Menard. S. (1995) Applied logistic regression analysis. Sage university Paper Series on Quantitative Applications in Social Sciences, vol. 106. Thousand Oaks. California. 98 pp.

29- Parthian, B., 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, Vol. 25.

[ Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-31 ]

[ DOR: 20.1001.1.22287736.1396.17.45.1.9 ]