

## پهنه‌بندی لغزش زمین در منطقه کاشتر کامیاران برای کاهش مخاطرات



حسن صدوق ونینی (h-sadough@sbu.ac.ir)

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

محمد رضا ثروتی (M-sarvati@sbu.ac.ir)

استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

کاظم نصرتی (K\_nosrati@sbu.ac.ir)

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی، تهران

میترا اسدی\*

کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی

محمد صدیق قربانی (ms\_ghorbani@yahoo.com)

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

(تاریخ دریافت ۱۳۹۳/۱۰/۲۴ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۳/۱۱/۲۹)

### چکیده

زمین لغزش‌ها از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیک به‌شمار می‌روند. شناسایی مناطق حساس به خطر زمین لغزش از اقدامات اساسی در مدیریت منابع طبیعی و کاهش این مخاطرات است. منطقه کاشتر با مساحت ۲۶ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان کردستان در حاشیه شرقی کوه‌های شاهو واقع شده است. به‌منظور پهنه‌بندی، ابتدا پهنه‌های لغزشی با بازبدهای میدانی بررسی شد که حدود ۲۸ پهنه لغزشی شناسایی شد و پس از پردازش در محیط برنامه GIS به‌صورت یک لایه درآمد. با مبنا قرار دادن نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها وزن‌دهی به پارامترهای مؤثر در زمین لغزش از جمله زمین‌شناسی، شیب جهت شیب، ارتفاع، بافت خاک، کاربری اراضی، فرسایش پذیری خاک، فاصله از گسل، تراکم آبراهه‌ها، و فاصله از جاده صورت گرفت. مدل رگرسیون لجستیک در محیط SPSS اجرا شد و نتایج نشان داد که عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه به‌ترتیب فاصله از گسل، زمین‌شناسی، فرسایش پذیری خاک، جهت شیب و ... است. در نهایت منطقه تحقیق از نظر حساسیت به خطر وقوع زمین لغزش به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که براساس آن ۶/۲ کیلومتر مربع دارای خطر بسیار زیاد، ۴/۶ کیلومتر مربع دارای خطر زیاد، ۱۹/۳ کیلومتر مربع دارای خطر متوسط، ۷/۹ کیلومتر مربع دارای خطر کم و در نهایت ۶/۵ کیلومتر مربع دارای خطر بسیار کم است.

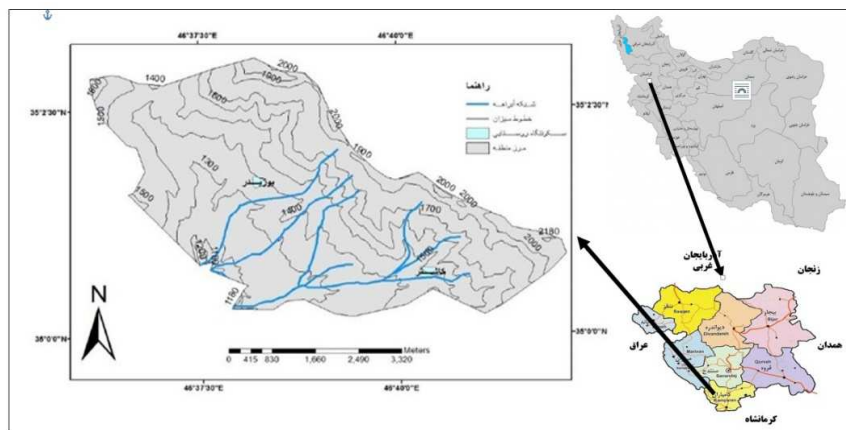
**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی خطر، رگرسیون لجستیک، لغزش زمین، مخاطرات، منطقه کاشتر.

## مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیک از پدیده‌های بالقوه زیانبار به‌شمار می‌روند که یکی از مهم‌ترین آنها، زمین‌لغزش‌ها هستند. سهم خسارات ناشی از حرکات توده‌ای در ایران سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است [۱۹]. زمین‌لغزش به لغزش زمین یا مخلوطی از سنگ و خاک در جهت شیب منجر می‌شود [۱۰]. مقاوم‌سازی و پایداری ساختاری کاهش مخاطرات بر این نکته تأکید دارد که این اقدامات از ابتدا باید در راستای پایداری محیط باشد تا آثار نامطلوب مخاطرات کاهش یابد و هزینه‌ها کمتر شود [۱۶].

شاخص‌های متعددی (عوامل طبیعی همچون آب‌وهوا، شیب، هم‌دمایی، پوشش گیاهی، ارتفاع، لیتولوژی، حساسیت سنگ به فرسایش، فاصله از گسل، هم‌جهت بودن شیب دامنه با شیب لایه رویی، رطوبت خاک؛ و عوامل انسانی همچون تغییرات کاربری اراضی) بر وقوع زمین‌لغزش تأثیرگذارند [۲۲، ۲۱، ۱۷، ۱۵، ۱۲، ۱۰، ۳، ۱]. پتانسیل وقوع زمین‌لغزش تحت تأثیر عوامل انسانی مانند تخریب پوشش گیاهی و حذف شیب در ساخت‌وساز سازه‌ها مانند جاده‌سازی که سبب حذف تکیه‌گاه شیب می‌شود، افزایش می‌یابد [۴]. در استان کردستان پژوهش‌های زیادی در شناسایی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن صورت گرفته است [۸، ۵، ۳]. با توجه به اینکه کردستان از لحاظ وقوع زمین‌لغزش در کشور چهارمین استان است، اهمیت پژوهش در منطقه بیشتر احساس می‌شود. هدف از این مطالعه، شناخت عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش منطقه کاشتر و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع آن است.

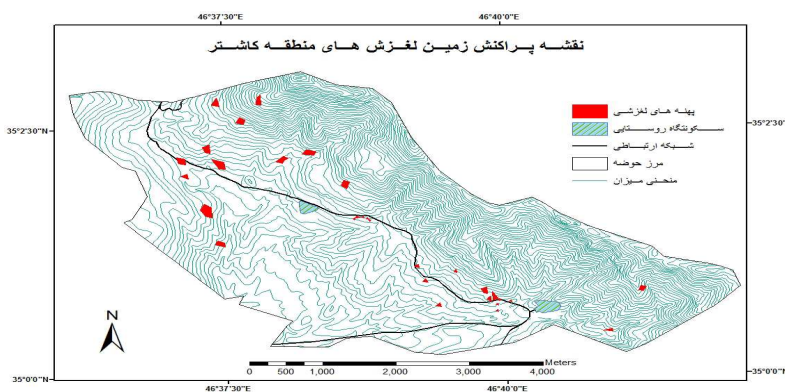
منطقه تحقیق با مساحت ۲۶ کیلومتر مربع در طول ۳۶°۴۶ تا ۴۲°۴۶ شرقی و عرض ۳۵°۳ تا ۳۵°۳ شمالی واقع شده است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۲۰۰ (جنوب شرقی منطقه) و ۱۱۶۰ (جنوب غربی) متر است و این امر اختلاف ارتفاعی ۱۰۴۰ متری را نشان می‌دهد. این منطقه جزء حوضه آبخیز خارجی سیروان است و از لحاظ زمین‌شناسی به‌جز جنوب غرب آن که در زاگرس مرتفع قرار دارد، بقیه منطقه در زون سنندج سیرجان واقع شده است. این منطقه با توجه به سازندها و شرایط خاص زمین‌شناسی (وجود سازندهای حساس به لغزش از جمله مارن و شیل) توپوگرافی و فعال بودن گسل‌های منطقه (گسل جدید اصلی زاگرس) و بارش فراوان به‌شکل برف (۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر) و دامنه‌های ناپایدار و فعالیت فرایندهای ژئومورفولوژیکی متعدد آب‌وهوایی از جمله مناطق زمین‌لغزش‌خیز استان و کشور است. عوامل انسانی نیز در تشدید ناپایداری‌ها و حرکات توده‌ای (به‌ویژه در نامتعادل کردن دامنه‌ها از طریق جاده‌سازی در مسیر روستای کاشتر به یوزیدر و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه) منطقه سهم‌اند.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

### مواد و روش‌ها

در این روش با استفاده از لایه پراکنش زمین لغزش و مقایسه آن با نقشه عواملی که گمان می‌رفت در رویداد زمین لغزش سهیم بوده‌اند، تأثیر آنها تعیین شد. به منظور پهنه‌بندی خطر در منطقه، عواملی که در سطح منطقه یکنواخت نبوده و دارای ویژگی‌های متفاوتی بوده‌اند، عوامل مؤثر در این پهنه‌بندی در نظر گرفته شدند که عبارت‌اند از زمین‌شناسی (لیتولوژی)، بافت خاک، ارتفاع، عوامل ژئومورفولوژیکی (ارتفاع، شیب و جهت شیب)، فاصله از جاده، فاصله از گسل، تراکم آبراهه‌ها، کاربری اراضی (شکل ۲).



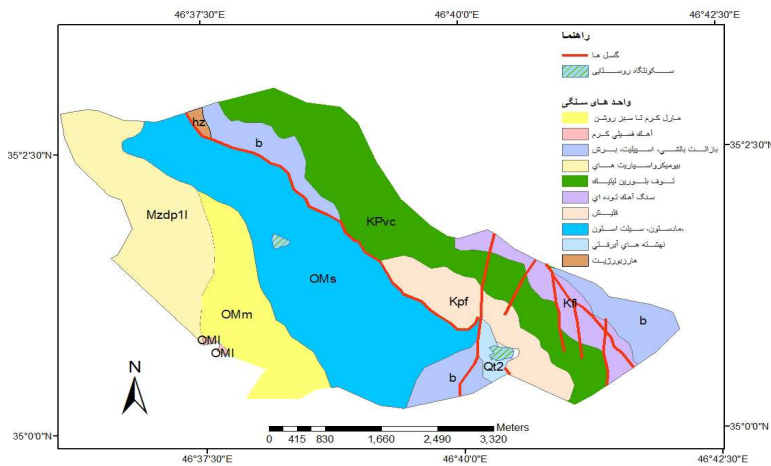
شکل ۲. نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه کاشتر

**ارتفاع:** جهت تهیه متغیر ارتفاع، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری استفاده شد. این نقشه‌ها به مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۱۰ متری تبدیل شدند و از طریق آن لایه طبقات ارتفاعی استخراج شد.

**شیب:** وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر را در حرکات توده‌ای تشدید می‌کند. در یک دامنه یک‌شکل با ویژگی‌های مواد برابر، افزایش شیب دامنه بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده‌ای دارد [۱۹]. این متغیر یکی از مشتقات لایه DEM است. **جهت شیب:** در حالت کلی دامنه‌های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، عامل مؤثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای است. این متغیر نیز یکی از لایه‌های DEM است.

**زمین‌شناسی:** زمین‌شناسی و ساختار متنوع آن موجب اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ‌ها و نیز تنوع جنس خاک می‌شود [۱۸]. نوع سازند زمین‌شناسی هر ناحیه نقش مهمی در گسترش پهنه‌های لغزشی دارد [۲۰]. برای تهیه این لایه، از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است. این لایه پس از رقومی‌سازی و کلاس‌بندی، در مدل استفاده شده است.

**بافت خاک:** بافت خاک مناطق لغزشی، اغلب رسی یا رسی لومی است. این بافت موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود. به‌منظور تهیه این لایه، درصد رس و سیلت و ماسه را به‌طور جداگانه به صورت سه متغیر بررسی کردیم و برای هر کدام نقشه پراکنندگی تهیه شد.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه کاشتر

**کاربری اراضی:** در بسیاری از موارد، مکان‌گزینی این کاربری‌ها به‌اندازه‌ای نامناسب بود که سبب نابسامانی و اختلال در اکوسیستم طبیعی شد [۵]. لایه کاربری اراضی منطقه تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست ETM تهیه شد. جدول ۱ عضویت فازی کاربری‌های منطقه را نشان می‌دهد.

**خاک:** بیشتر منطقه در مقابل فرسایش مقاومت ضعیفی دارد. این لایه از منابع طبیعی استان گرفته شد.

**متغیر فاصله از گسل:** خطر رویداد زمین‌لغزش در نواحی‌ای که فاصل «کمتری از گسل دارند، بیشتر است. برای تهیه این متغیر از توابع فاصله<sup>۱</sup> بر مبنای حداکثر فاصله<sup>۲</sup> و با اندازه سلول‌های ۱۰ متری استفاده شد (شکل ۳).

**تراکم آبراهه:** آبراهه‌ها به‌دلیل وجود زهکشی آب و دیوارهای پرشیب به‌طور معمول دارای لغزش بیشتری هستند. در این پژوهش برای تهیه این متغیر تراکم آبراهه از تابع density با اندازه سلول‌های ۳۰ متری استفاده شد. جدول ۱ عضویت فازی طبقات تراکم آبراهه را نشان می‌دهد.

**فاصله از جاده:** احداث جاده و قطع دامنه، همواره پایداری شیب را برهم می‌زند و سبب وقوع و تشدید حرکات دامنه‌ای می‌شود. در پژوهش حاضر، برای تهیه این متغیر از تابع فاصله بر مبنای حداکثر فاصله و با اندازه سلول‌های ۳۰ متری استفاده شد.

پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر در این پژوهش، بر مبنای تلفیق زمین‌لغزش‌های منطقه با معیارهای دخیل در زمین‌لغزش‌های منطقه است. برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، در ابتدا با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب GPS موقعیت زمین‌لغزش‌های منطقه به‌صورت پلیگونی برداشت شد و پس از پردازش در محیط برنامه GIS به‌صورت یک لایه درآمد. لایه به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی زمین‌لغزش مهم‌ترین لایه مورد استفاده در پژوهش حاضر، متغیر وابسته در اجزای مدل رگرسیون لجستیک است. پراکنش رویدادهای زمین‌لغزش منطقه مورد بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است.

### تحلیل داده‌ها و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌ها، نیاز بود که همه لایه‌های مورد مطالعه در پهنه‌بندی زمین‌لغزش به‌صورت رستری تبدیل شوند و طبقه‌بندی آنها نیز انجام گرفت. در ادامه، لایه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با همه لایه‌های آماده‌شده همپوشانی<sup>۳</sup> شد. هدف از این کار مشخص شدن حد تأثیر هر یک از طبقات متغیرها در وقوع زمین‌لغزش‌هاست. با این همپوشانی یا به‌عبارتی تلفیق لایه

---

1. Distance  
2. Maximum Distance  
3. Overly

زمین لغزش با لایه‌های دوباره طبقه‌بندی شده، تعداد پیکسل‌های زمین لغزش اتفاق افتاده در هر کدام از طبقات هر یک از متغیرها محاسبه شد و با استفاده از رابطه نسبت فراوانی، وزن هر یک از طبقات به دست آمد (جدول ۱).

$$FR = A/B \quad (1)$$

در این رابطه، A درصد پیکسل‌های لغزشی؛ B درصد پیکسل‌های فاقد لغزش؛ و FR نسبت فراوانی است. در انتهای این بحث شایان ذکر است که تحلیل رستری همه متغیرهای مورد استفاده در قالب شبکه سلول‌های با ابعاد ۳۰ متری انجام گرفت.

جدول ۱. فازی‌سازی برخی از متغیرها

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل فاقد لغزشی	درصد پیکسل فاقد لغزشی	FR	عمودیت فازی
شیب	۰-۵	۶	۲/۶۶	۲۱۸۳	۷/۵۶	۰/۳۵	۰/۲۲
	۵-۱۵	۱۰۱	۴۴/۸۸	۱۰۷۸۴	۳۷/۳۷	۱/۲۰	۰/۷۵
	۱۵-۲۵	۱۰۳	۴۵/۸۸	۸۳۱۷	۲۸/۸۲	۱/۵۸	۱
	۲۵-۳۵	۱۵	۶/۶۶	۶۴۰۱	۲۲/۱۸	۰/۳۰	۰/۱۸
	۳۵-۵۰	۰	۰	۹۴۳	۳/۲۶	۰	۰
ارتفاع	۱۱۶۹-۱۳۰۰	۱۱	۴/۸۸	۴۰۹۲	۱۴/۱۸	۰/۳۴	۰/۲۰
	۱۳۰۰-۱۵۰۰	۱۵۲	۶۷/۸۸	۱۱۳۲۸	۳۹/۳۶	۱/۷۲	۱
	۱۵۰۰-۲۲۰۰	۶۲	۲۷/۵۵	۱۳۰۲۸	۴۵/۷۷	۰/۶۰	۰/۳۴
جهت شیب	شمال	۲۶	۱۱/۵۵	۴۱۹۴	۱۴/۵۱	۰/۷۹	۰/۵۸
	شمال شرق	۷	۳/۱۱	۳۱۱۹	۱۰/۷۹	۰/۲۸	۰/۲۱
	شرق	۳۸	۱۶/۸۸	۳۶۲۱	۱۲/۵۳	۰/۳۴	۰/۹۸
	جنوب شرق	۲۰	۸/۸۸	۳۰۸۸	۱۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۶۰
	جنوب	۴۹	۲۱/۷۷	۴۵۸۹	۱۵/۸۷	۱/۳۷	۱
	جنوب غرب	۲۴	۱۰/۶۶	۳۱۶۵	۱۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۷۱
	غرب	۳۹	۱۷/۳۳	۳۹۱۸	۱۳/۵۵	۱/۳۷	۰/۹۳
کاربری اراضی	شمال غرب	۲۲	۹/۷۷	۲۹۷۹	۱۰/۳۰	۰/۹۴	۰/۶۹
	زراعت دیم	۳۱	۱۳/۷۷	۴۰۴۵	۱۴/۱۵	۰/۹۷	۰/۷۴
	مراعت متراکم	۰	۰	۲۸۱	۰/۹۸	۰	۰
	زراعت آبی و باغات	۱	۰/۴۴	۵۸۰	۲/۰۲	۰/۲۱	۰/۱۶
	مراعت نیمه متراکم	۱۵	۶/۶۶	۶۳۸۵	۲۲/۳۴	۰/۲۹	۰/۲۲
جنگل نیمه انبوه	۱۷۸	۷۹/۱	۱۷۳۲۷	۶۰/۶۶	۱/۳۰	۱	

ادامه جدول ۱. فازی‌سازی برخی از متغیرها

عامل	کلاس	تعداد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل فاقد لغزشی	درصد پیکسل فاقد لغزشی	FR	عضویت فازی
فاصله از گسل	۰-۱۵۰	۵۵	۲۴/۴۴	۵۳۰۸	۱۸/۳۶	۱/۳۳	۱
	۱۵۰-۴۰۰	۴۳	۱۹/۱۱	۵۵۸۰	۱۹/۳۰	۰/۹۹	۰/۷۴
	۴۰۰-۷۵۰	۴۰	۱۷/۷۷	۵۳۷۲	۱۸/۵۸	۰/۹۵	۰/۷۱
	۷۵۰-۱۲۰۰	۴۰	۱۷/۷۷	۴۷۸۹	۱۶/۵۷	۱/۰۷	۰/۱۸
	۱۲۰۰-۲۰۰۰	۳۷	۱۶/۴۴	۵۱۵۶	۱۷/۸۰	۰/۹۲	۰/۶۹
	۲۰۰۰-۳۰۰۰	۱۰	۴/۴۴	۲۴۷۸	۸/۵۷	۰/۵۱	۰/۳۸
فاصله از جاده	۰-۵۰	۶۸	۱/۳۳	۴۹۸۳	۱۷/۲۳	۰/۰۷۸	۱
	۵۰-۱۰۰	۴۴	۰/۷۳	۵۹۲۵	۲۰/۴۹	۰/۰۳۵	۰/۴۶
	۱۰۰-۲۰۰	۸۳	۱/۰۲	۷۹۷۹	۲۷/۵۹	۰/۰۳۷	۰/۴۷
	۲۰۰-۵۰۰	۳۰	۰/۴۴	۶۷۴۲	۲۳/۳۱	۰/۰۱۸	۰/۲۴
	۵۰۰-۲۰۰۰	۰	۰	۳۰۵۷	۱۰/۵۷	۰	۰
سنگ‌شناسی	بازالت	۱۰	۴/۴۴	۲۸۹۰	۱۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۰۳
	هارزبورژیت	۱۰	۴/۴۴	۹۰	۰/۳۱	۱۴/۲۴	۱
	سنگ آهک	۸	۳/۵۵	۱۴۶۱	۵/۰۶	۰/۷	۰/۰۵
	فلیش	۵	۲/۲۲	۲۱۲۴	۷/۳۶	۰/۳۰	۰/۰۲۱
	توف بلورین	۵	۲/۲۲	۵۷۲۷	۱۹/۸۴	۰/۱۱	۰
	بیومیکرواسپاریت	۶۸	۳۰/۲۲	۴۱۳۷	۱۴/۳۴	۲/۱	۰/۱۴
	آهک فسیلی نرم	۰	۰	۴۲	۰/۱۴	۰	۰
	مارل	۸	۳/۵۵	۳۱۰۲	۱۰/۷۵	۰/۳۳	۰/۰۲۳
	مارن ماسه‌ای	۱۱۱	۴۹/۳۳	۸۶۹۸	۳۰/۱۴	۱/۶۳	۰/۱۱

در پژوهش حاضر، از مدل رگرسیون لجستیک به منظور تحلیل ارتباط فضایی بین رخداد زمین لغزش و عوامل مؤثر در این رویداد استفاده شد که هدف اصلی این کار، یافتن بهترین مدل برای تشریح روابط میان حضور یا نبود متغیر وابسته (زمین لغزش) و مجموعه گروه‌هایی از متغیرهای مستقل در رویداد زمین لغزش است. شکل عمومی معادله رگرسیون لجستیک به صورت معادله ۲ است.

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (2)$$

در این معادله،  $p$  احتمال رویداد حادثه (در این پژوهش زمین لغزش)؛ و  $z$  پارامتر یا فاکتور خطی است و از معادله ۳ به دست می‌آید؛  $e$  نیز عدد ثابت ۲/۷۱۸ است.

$$z = \log it (p) = Ln \left( \frac{p}{1-p} \right) = C_0 + C_1 X_1 + \dots + C_n X_n \quad (3)$$

که  $C_0$  عرض از مبدأ یا ضریب ثابت مدل؛ و  $X_1, X_2, \dots, X_n$  ضرایب مربوط به متغیر مستقل از  $0$  تا  $1$  تغییر می‌کند که هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش (P) به صورت S از  $-\infty$  تا  $+\infty$  احتمال وقوع زمین لغزش (P) به صورت S از  $0$  تا  $1$  تغییر می‌کند که هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع زمین لغزش بیشتر و هر چه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع آن کمتر خواهد بود. کاربرد مدل رگرسیون لجستیک برای شناسایی عوامل مؤثر در رویداد زمین لغزش به دو حالت حضور و نبود این رویداد یا به عبارتی صفر و یک است؛ بنابراین به پهنه‌های لغزشی عدد یک و به پهنه‌هایی فاقد زمین لغزش عدد صفر داده شد. استفاده از این پهنه‌ها در اجرای مدل، نیازمند تبدیل آنها به لایه نقطه‌ای است. پس از ایجاد این لایه، با استفاده از روش ایجاد نقاط تصادفی<sup>۱</sup>، ۵۰۰۰ نقطه برای پهنه‌های با عدد یک و ۲۵۰۰۰ نقطه برای پهنه‌های با عدد صفر ایجاد و با هم ترکیب شدند. علت ایجاد این تعداد زیاد نقاط، انتخاب نقاط دارای بیشترین پوشش روی پهنه‌ها بود. با توجه به مساحت بیشتر پهنه‌های بدون لغزش نسبت به پهنه‌های دارای لغزش، تعداد نقاط ایجاد شده برای پهنه‌های بدون زمین لغزش بیشتر بود. در ادامه، از طریق ابزار نقاط متقاطع<sup>۲</sup> و براساس لایه‌های رستری مربوط به عوامل مؤثر در پهنه‌های زمین لغزش، ارزش لایه‌های رستری طبقه‌بندی شده (که همان مقدار عضویت فازی برای هر کدام از طبقات متغیرهای مستقل است) به لایه نقطه‌ای صفر و یک اختصاص داده شد. لایه جدید به دست آمده شامل نقاطی است که هر کدام از آنها دارای ویژگی‌های لایه‌های رستری مورد استفاده است. از این لایه برای اجرای مدل احتمال وقوع زمین لغزش در منطقه کاشتر بهره گرفته شد؛ اجرای مدل براساس متغیر وابسته (زمین لغزش) و متغیرهای مستقل (عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش) انجام گرفت. از آنجا که متغیرهای مستقل به صورت لایه‌های گسسته (طبقه‌بندی شده) هستند، این طبقه‌بندی برای مدل نیز تعریف شد تا ضریب هر کدام از طبقات به صورت مجزا به دست آید و احتمال وقوع زمین لغزش در هر طبقه محاسبه شود.

1. Generate Random Points
2. Intersect Point Tool

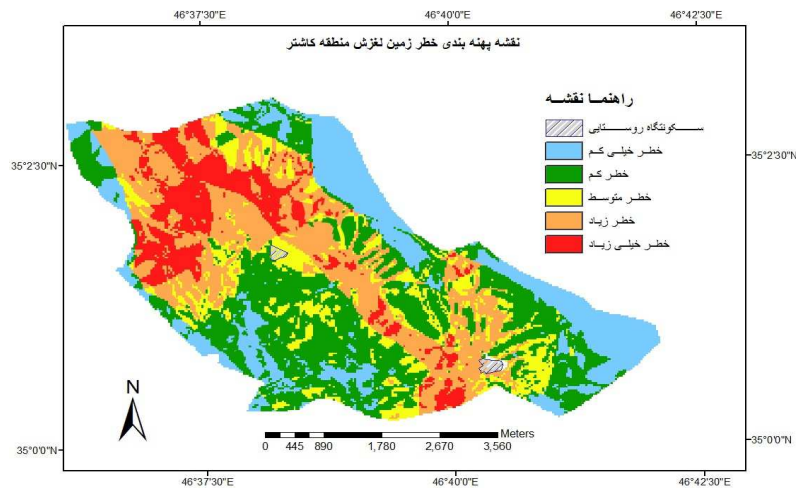


با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون لجستیک، ضریب مثبت  $\beta$  به این معناست که آن متغیر نقش بیشتری در وقوع زمین‌لغزش دارد و برعکس ضریب منفی  $\beta$  نشان‌دهنده همبستگی ضعیف متغیر مستقل با متغیر وابسته (زمین‌لغزش) است [۱۷]. پس از اعمال ضرایب به‌دست‌آمده از مدل به طبقات متغیرهای مستقل، پارامتر خطی  $Z$  تهیه و در معادله اصلی رگرسیون لجستیک (معادله ۳) جای‌گذاری شد. جدول ۲ ضرایب به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون لجستیک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بعد از آماده‌سازی لایه‌های عامل و تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش که به ارزش صفر و یک رسیده شد، براساس خروجی مدل رگرسیون نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به پنج کلاس خطر خیلی کم (۵/۰۶)، کم (۷/۹)، متوسط (۳/۱۹)، زیاد (۶/۴) و خیلی زیاد (۲/۹) در واحد کیلومتر مربع طبقه‌بندی شد که به ترتیب ۱۹/۸۶، ۳۱، ۱۲/۵۵، ۲۵/۱۳ و ۱۱/۴۱ درصد از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴).

جدول ۲. ضرایب به‌دست‌آمده از مدل رگرسیون لجستیک

عوامل	بتا	خطای استاندارد	والد	درجه آزادی	سطح معناداری	Exp(B)
ارتفاع	۰/۳۳۷	۰/۲۸۵	۱/۳۹۷	۱	۰/۲۳۷	۱/۴
فاصله از گسل	۵/۳۳۶	۰/۶۶۶	۶۴/۱۲۰	۱	۰	۲۰۷/۶۹۵
فاصله از جاده	۰/۶۸۶	۰/۲۹۶	۵/۳۷۸	۱	۰/۰۲۰	۱/۹۸۶
شیب	۱/۳۹۴	۰/۳۰۴	۲۱/۰۴۸	۱	۰	۴/۰۳۳
تراکم آبراهه	۱/۲۴۳	۰/۲۴۰	۲۶/۷۷۹	۱	۰	۳/۴۶۵
کاربری	۱/۲۹۱	۰/۳۴۲	۱۴/۲۷۹	۱	۰	۳/۶۳۵
زمین‌شناسی	۲/۴۴۶	۰/۴۲۹	۳۲/۵۶۵	۱	۰	۱۱/۵۴۰
فرسایش‌پذیری خاک	۲/۴۲۷	۰/۷۹۴	۹/۳۳۴	۱	۰	۱۱/۳۲۶
جهت شیب	۱/۴۸۶	۰/۳۲۴	۲۱/۰۴۷	۱	۰	۴/۴۲۱
ماسه	-۰/۲۸۱	۰/۵۱۰	۰/۳۰۳	۱	۰/۵۸۲	۰/۷۵۵
رس	۰/۸۳۹	۰/۳۲۰	۶/۸۷۱	۱	۰	۲/۳۱۴
سیلت	۱/۱۳۴	۰/۲۶۳	۱۸/۵۷۰	۱	۰	۳/۱۰۹
عدد ثابت	-۱۷/۲۱۵	۱/۱۸۱	۲۱۲/۴۰۶	۱	۰	۰



شکل ۴. نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه کاشتر

### نتیجه گیری

نتایج تحلیل نشان داد که طیف بیشترین موارد مشاهده شده برای وقوع زمین لغزش‌ها شیب‌های ۲۰-۱۵ درجه و ارتفاع طبقه ۱۵۰۰-۱۳۰۰ متر است. علت اینکه در طبقات بالای شیب (۵۰-۳۵ و ۳۵-۲۵) و ارتفاعات بالاتر منطقه، پهنه‌های لغزشی کم است، وجود توف‌های بلورین و بازالت در این شیب‌ها و در نتیجه مقاومت آنها در مقابل هر گونه حرکات توده‌ای از جمله زمین لغزش است.

شیب‌های شمالی و شمال شرقی کمترین مساحت را در منطقه دارند و همچنین به علت اینکه بیشتر بارش منطقه به صورت برف است، دامنه‌هایی که در آنها فاصله زمانی بین بارش و ذوب برف کمتر است، تأثیر بیشتری در وقوع زمین لغزش دارند. به این دلیل نتایج زمین لغزش‌ها تمرکز کمتری را در دامنه‌های شمالی و تمرکز بیشتری را در دامنه‌های جنوبی و غربی نشان می‌دهند. همچنین فرسایش پذیری بیشتر خاک سبب افزایش وقوع لغزش‌ها شده است و از لحاظ بافت خاک نیز در جاهایی که بیشترین مقدار سیلت وجود دارد، لغزش‌های بیشتری قابل مشاهده است و در مورد پوشش گیاهی زمین، زمین لغزش‌ها بیشتر در جنگل‌های نیمه متراکم که در چند سال اخیر در حال تبدیل به زمین کشاورزی هستند رخ داده‌اند؛ که این مسئله اهمیت تخریب جنگل و تغییر کاربری-پوشش را در وقوع زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد.

با تحلیل فاصله از جاده مشخص شد که بیشترین زمین لغزش‌ها در فاصله ۵۰ متری از جاده رخ داده است و در مورد فاصله از گسل نیز به‌وضوح مشخص شد که با فاصله گرفتن از گسل‌ها از تعداد زمین لغزش‌ها کاسته شده است، به‌طوری‌که بیشترین لغزش‌ها در فاصله ۱۵۰ متری از گسل‌ها به‌وقوع پیوسته‌اند. این در حالی است که براساس نتایج به‌دست‌آمده در نزدیک‌ترین منطقه به محدوده مطالعاتی ما که توسط حسین زاده و همکاران (مسیر سنندج-دهگلان) با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک انجام گرفته است [۵]، مهم‌ترین عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه، فاصله از جاده بوده و فاصله از گسل تأثیر بسیار کمتری در وقوع این مخاطره طبیعی نسبت به عوامل دیگر داشته است. این مسئله نشان می‌دهد که پارامترهای مؤثر در وقوع زمین لغزش حتی در مناطق مشابه هم ممکن است تفاوت داشته باشند. از این‌رو به هیچ استاندارد برای عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش نیاز نیست.

#### منابع

- [۱]. آدابی، محمدحسین؛ موسوی حرمی، سیدرضا (۱۳۷۷). نقش لیتولوژی (سنگ‌شناسی) در رانش زمین در شمال شرق ایران، مجله تحقیقات جغرافیایی زمستان ۱۳۷۷، شماره ۵۱: ۷۵-۸۹.
- [۲]. احمدی، حسن (۱۳۶۷). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، جلد اول.
- [۳]. باخویشی، کاوه؛ (۱۳۸۳). مطالعه حرکات دامنه‌ای (با تأکید بر زمین لغزش) در جاده مریوان - کامیاران از سهراب دگاگا تا کامیاران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۴]. ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۱). ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
- [۵]. حسین‌زاده، محمد مهدی؛ محمدرضا ثروتی، عادل منصوری، بابک میرباقری، سعید خضری پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: محدوده مسیر سنندج - دهگلان.
- [۶]. خالدی درویشیان، عبدالواحد؛ فدائی، نامق؛ غلامی، لیلا (۱۳۸۶). بررسی علل ایجاد زمین لغزش روستای دگاگا در استان کردستان.

- [۷]. رجائی، عبدالحمید (۱۳۷۳). کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط، انتشارات قومس، تهران.
- [۸]. رستم‌پور، اسماعیل (۱۳۸۲). عوامل مؤثر بر حرکات دامنه‌ای حوضه رودخانه سقز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی دانشگاه شهید بهشتی.
- [۹]. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۳). گزارش اول، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها، گروه مطالعه امور زمین‌لغزش‌ها.
- [۱۰]. شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵). زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)، انتشارات سازه.
- [۱۱]. شمیرانی، احمد (۱۳۵۷). مقدمه‌ای بر ژئودینامیک دامنه‌ای کوهستان‌ها، مجله علوم زمین، شماره ۲ فصل اول: ۳۰-۱.
- [۱۲]. شمیرانی، احمد (۱۳۵۸). بررسی کلی انواع حرکات دامنه‌ای، مجله علوم زمین، شماره ۲ فصل دوم، ۳۰ - ۱.
- [۱۳]. گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تیژتیز، ۱۳۸۵.
- [۱۴]. گزارش نقشه منابع و قابلیت اراضی استان کردستان، ۱۳۶۰.
- [۱۵]. متولی، ص (۱۳۷۴)، مکانیسم فرسایش حرکات توده‌ای و روش پیشگیری و مبارزه با آن در حوضه آبخیز و از بخش چمستان نور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- [۱۶]. مقیمی، ابراهیم (۱۳۹۳). دانش مخاطرات، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- [17]. Akgun•A.Serhat• D.Fikri•B.2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli•NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environ Geol 54:1127–1143.
- [18]. Ayalew•I. and Yamagishi•H. (2005): The application of GIS-based Logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yaahiko Mountains•central Japan•Geomorphology 65•15-31.Chang•K.T.Chiang•S.H.Hsu•M.L. 2007. Modeling typhoon- and earthquake-induced landslides in amountainous watershed using logistic regression•Geomorphology 89: 335–347
- [19]. Dai•F.C. and Lee•C.F. (2002): Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS•Lantau•Hong Kong. Geomorphology 42•213-228.
- [20]. Lee•S•Pradhan•B.2006.Probabilistic landslide hazards and risk mapping on penang Island•Malaysia•J.Earth Syst. Sci. 115•No. 6•December 2006•pp.661-672.
- [21]. Ohlmacher•G.C.Davis•J.C.2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas•USA•Engineering Geology 69: 331–343.
- [22]. Sezer•E. A.Pradhan•B.Gokceoglu•C.2011. Manifestation of an adaptive neuro-fuzzy model on landslide susceptibility mapping: Klang valley•Malaysia. Expert Systems with Applications 38: 8208–8219.