

مجله آمایش جغرافیایی فضا  
فصلنامه علمی - پژوهشی دانشگاه گلستان  
سال چهارم / شماره مسلسل یازدهم / بهار ۱۳۹۳

## ارزیابی کارایی مدل‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ. مطالعه موردی دره هراز

عیسی جوکار سرهنگی<sup>۱\*</sup>، عبدالله علیزاده

<sup>۱</sup>دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران، آکارسناس ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه مازندران  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱۳

### چکیده

جاده هراز در استان مازندران همواره در معرض خطر ریزش قطعات و بلوک‌های سنگ قرار دارد. با توجه به اهمیت این جاده لازم است مناطق مستعد ریزش با بهره‌گیری از مدل‌های مناسب شناسایی و پهنه‌بندی شود. برای این منظور نخست نقشه‌ی پراکنش ریزش در منطقه با استفاده از عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی تهیه شد. سپس نقشه‌های عوامل مؤثر شامل ارتفاع، شیب، جهت دامنه، جنس زمین، فاصله از گسل، فاصله از جاده و تراکم پوشش گیاهی و کاربری در محیط ArcGIS رقومی شد. در مرحله‌ی بعد، فراوانی ریزش موجود در هر طبقه از عوامل، با همپوشانی نقشه‌ی پراکنش ریزش محاسبه شد و پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات انجام گرفت. نتایج نشان داد که طبقه ارتفاعی ۱۲۰۰-۸۰۰ متر، شیب بالاتر از ۸۵ درصد، جهت دامنه‌ی غربی، جنس سنگ آهک و مارن، فاصله کم‌تر از ۵۰۰ متری گسل‌ها و ۳۰۰ متری جاده و پوشش مرتع فقیر، بیش‌ترین حساسیت را نسبت به ریزش دارند. همچنین ارزیابی مدل‌ها با استفاده از شاخص ریزش نشان داد که مدل ارزش اطلاعات برای پهنه‌بندی خطر در منطقه مناسب‌تر است.

**واژگان کلیدی:** ریزش، پهنه‌بندی، ارزش اطلاعات، سامانه اطلاعات جغرافیایی، هراز.

---

\* نویسنده مسئول: e.jokar@umz.ac.ir

## مقدمه و بیان مسأله

ریزش سنگ‌ها موجب خسارت فراوان می‌شود، جاده‌ها را مسدود نموده، آبادی‌ها و مزارع را در زیر خود مدفون می‌سازد. در میان ۳۶۸ ریزش سنگی که از سال ۱۹۸۴ تا سال ۱۹۹۶ در هنگ کنگ رخ داده است، ۳۵ درصد منجر به انسداد یا آسیب به جاده‌ها، ۲۲ درصد منجر به خسارت یا تخلیه‌ی ساختمان‌ها، ۲۱ درصد به انسداد پیاده‌رو و ۶ درصد منجر به آسیب و خسارات به ماشین و خدمات عمومی شده است. تنها ۱۵ درصد این حوادث روی فضای باز اتفاق افتاد که باعث اثرات ناچیزی بر فعالیت‌های انسانی شده است (چائو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲: ۳۸۳).

در ایران، جاده‌های کوهستانی به‌ویژه جاده‌ی هراز، ریزش قطعات سنگی باعث خسارات جانی و مالی فراوان می‌شود (احمدی، ۱۳۷۴: ۲۵۱). بنابراین لازم است این جاده‌ها شناسایی و از لحاظ میزان خطر با روش‌های مناسب پهنه‌بندی شوند. بیش‌تر تحقیقاتی که برای پهنه‌بندی مناطق از روش‌های آماری استفاده کرده‌اند، برای شناسایی مناطق حساس به خطر لغزش و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها به کار گرفته شده‌اند (مانند فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۲؛ شادفر و همکاران، ۱۳۸۴؛ مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۸؛ خولا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۰؛ لن<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ لی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴؛ پرادهان و لی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰).

اما از تحقیقاتی که درباره ریزش سنگ‌ها و ارزیابی خطرات آن در مناطق مختلف انجام شده است، می‌توان به مطالعات باترسون<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۶)، بینال<sup>۷</sup> و ارکانوگلو (۲۰۱۰)، پالما<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۲) اشاره کرد. در ایران، غلامی (۱۳۸۳) در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود به مکان‌یابی خطر ریزش سنگ با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در امتداد جاده‌ی هراز از وانا تا پلور پرداخت. در این تحقیق چهار عامل تشکیلات سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع نسبت به سطح جاده و فاصله‌ی دید راننده برای تصمیم‌گیری و عکس‌العمل در برابر سنگ‌های در حال ریزش در نظر گرفته شد. قاضی‌پور و همکاران (۱۳۸۵: ۱۶۰) با استفاده از نظریه‌ی مخروط افت در ارزیابی خطر سنگ‌ریزش در مسیر جاده‌ی چالوس (پل زنگوله - مرزن‌آباد) نشان دادند که خطر سنگ‌ریزش، رابطه‌ی مستقیمی با شیب دامنه‌های سنگی و شرایط توپوگرافی آن دارد. همچنین نوع سنگ در گسترش و شکل‌گیری جابه‌جایی سنگ‌ریزش‌ها، نقش مهمی ایفا می‌کند. شیرزادی و همکاران (۱۳۸۹) به مقایسه‌ی مدل‌های

- 1- Chau
- 2- Khulla
- 3- Lan
- 4- Lee
- 5- Pradhan and lee
- 6- Batterson
- 7- Binal and Ercanoglu
- 8- Palma

رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ در گردنه صلوات‌آباد سنندج پرداختند. در این تحقیق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر با موقعیت ریزش سنگ مقایسه و آزمون شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون لجستیک با  $85/09$  درصد گستره زیر منحنی ROC، پیش‌بینی بالاتری در جداسازی و شناسایی مناطق مستعد و حساس به ریزش سنگ در منطقه مورد بررسی دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه با توپوگرافی عمده کوهستانی، شرایط متنوع زمین‌شناسی و آب و هوایی، بیش‌تر شرایط طبیعی برای ایجاد انواع مخاطرات را دارد و از این‌رو شناسایی اراضی مستعد خطر ریزش برای پرهیز از مخاطرات طبیعی نیز بسیار ضروری است. هدف از این تحقیق، ارزیابی عوامل مؤثر بر ریزش و مقایسه نتایج به‌دست آمده از مدل نسبت فراوانی با مدل ارزش اطلاعات در پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه مورد مطالعه است.

### مفاهیم، دیدگاه‌ها و مبانی نظری

ریزش سنگ‌ها، شکل معمول حرکت روی دامنه‌هایی است که شیب آن‌ها زیاد بوده و مواد نمی‌توانند در سطح باقی بمانند. سنگ ممکن است مستقیماً به کف دامنه سقوط کند یا از روی سنگ‌های دیگر در امتداد مسیر خود حرکت نماید (تاربوک و لوتگن، ۱۳۸۶: ۱۲۶). هرچند سقوط سنگ‌ها و ریزش توده‌های سنگی ممکن است در هر جا اتفاق بیفتد، برخی از نواحی کره زمین (مثلاً البرز میانی) از این لحاظ مساعدترند (محمودی، ۱۳۷۴: ۳۹). بطور کلی اگر طبقات سخت و نرم بطور متناوب قرار گرفته باشند در نتیجه از بین رفتن طبقه نرم، قسمت زیرین طبقه سخت خالی شده و ریزش توده را فراهم می‌سازد. در آب و هوای بیابانی و خشک درجه حرارت موجب تخریب سنگ‌ها و در نتیجه ریزش گردیده و در مناطق کوهستانی یخبندان عامل اصلی می‌باشد (احمدی، ۱۳۷۴: ۲۵۱). پدیده ریزش سنگی مانند دیگر پدیده‌های ژئومورفولوژی، نتیجه عملکرد چندین عامل است. در بررسی عوامل مؤثر در وقوع ریزش، جنس سنگ بستر، گسل، ارتفاع منطقه، شیب اراضی، جهت دامنه، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، خطوط ارتباطی و فاصله تا آبراهه‌ها از جمله عواملی هستند که مد نظر قرار گرفته‌اند.

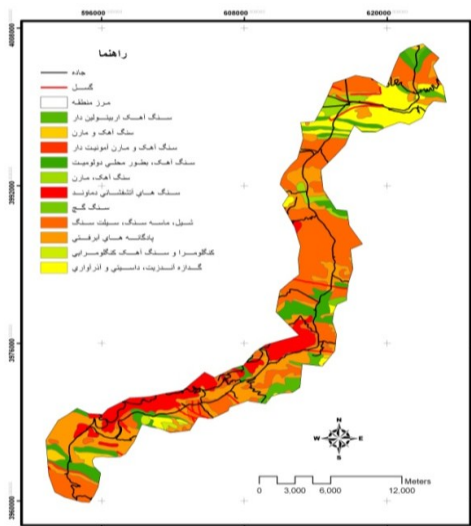
### روش تحقیق

در این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد ریزش و پهنه‌بندی منطقه از مدل‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات استفاده شده است. برای اجرای این مدل‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و پهنه‌بندی منطقه، نخست نقشه‌ی پراکنش ریزش در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی و ثبت موقعیت ریزش‌ها با GPS تهیه شد. سپس لایه‌های برداری هر یک از عوامل مدل به صورت زمین مرجع در محیط ArcGIS رقومی شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به مدل که در

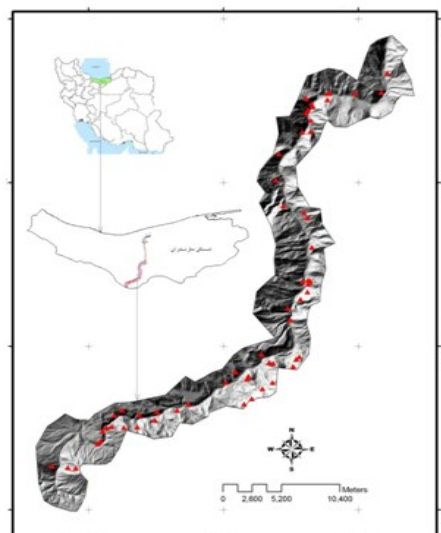
این تحقیق برای پهنه‌بندی استفاده شد، عبارتند از ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه، جنس زمین، فاصله از جاده و تراکم پوشش گیاهی و کاربری.

### محدوده و قلمروی پژوهش

دره‌ی هراز در دامنه‌ی شمالی البرز مرکزی در استان مازندران و شهرستان آمل قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت ۲۶۲۶۹/۳۳ هکتار، بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و در طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی واقع شده است. شکل ۱، موقعیت منطقه را در استان مازندران و ایران نشان می‌دهد. شکل زمین در منطقه، تنوع زیادی دارد و با توجه به این‌که منطقه‌ی مرتفع البرز را شامل می‌شود، به تبعیت از ساختمان و نظام چین‌خوردگی کوه‌های البرز، شیب تندی دارد. جهت کوه‌ها به موازات هم و به صورت غربی- شرقی است، این امر سبب ایجاد مشکلات ارتباطی بین جلگه و فلات داخلی ایران شده است. ارتفاع حداقل و حداکثر در منطقه به ترتیب ۴۸۱ و ۳۴۱۰ متر و ارتفاع میانگین منطقه ۱۷۷۲/۳۳ متر از سطح دریا است. شیب میانگین، ۵۴/۳۷ درجه و میانگین بارندگی منطقه، ۴۴۵ میلی‌متر است. در میان سازندهای زمین‌شناسی منطقه، سازند شمشک متشکل از شیل، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ و پادگانه‌های آبرفتی به ترتیب با ۹۰ و ۶۵ کیلومتر مربع، بیش‌ترین مساحت را دارد (شکل ۲). بخش‌های زیادی از اراضی منطقه، بدون پوشش با رخنمون سنگی و یا پوشش گیاهی ضعیف است.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و پراکنش

ریزش‌های منطقه

## بحث اصلی

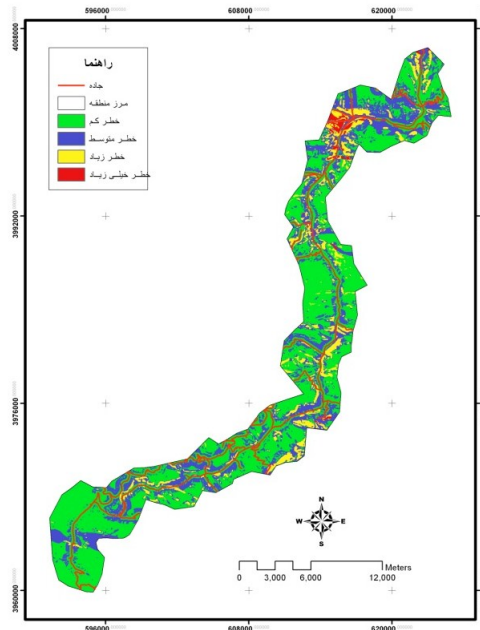
### مدل نسبت فراوانی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر و طبقه‌بندی آن‌ها، سطح هر طبقه از عامل با استفاده از نرم‌افزار GIS تعیین شد. سپس فراوانی ریزش در هر طبقه با استفاده از همپوشانی نقشه‌ی پراکنش ریزش‌ها با هر یک از لایه‌های عوامل مشخص شد. ضریب نسبت فراوانی طبقات عوامل با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه شد (لی و سمبات، ۲۰۰۶).

$$\text{رابطه (۱)} \quad FR = A / B$$

که در آن A درصد تعداد ریزش در هر طبقه، B درصد مساحت همان طبقه از لایه و FR نسبت فراوانی است. اگر این ضریب برای هر طبقه بیش‌تر از یک باشد، حساسیت آن طبقه برای ریزش بالا است. در نهایت ضریب نسبت فراوانی هر طبقه از عوامل در محیط ArcGIS با هم جمع و بر پایه رابطه (۲)، نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه با بهره‌گیری از مدل نسبت فراوانی به‌دست آمد (شیرزادی و همکاران، ۱۳۸۹).

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{ضریب نسبت فراوانی} \times \text{هر لایه اطلاعاتی} = \sum \text{شاخص پهنه‌بندی}$$



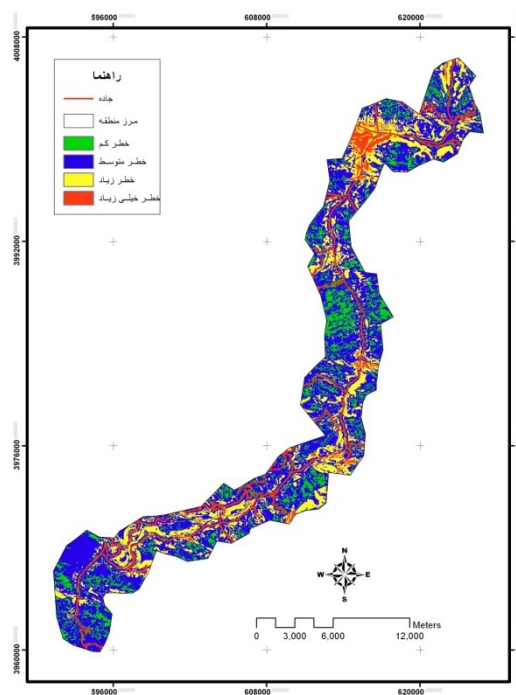
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی

### مدل ارزش اطلاعات

پس از محاسبه تراکم سطح ریزش‌ها در طبقات مختلف عوامل، وزن‌دهی به هر یک از طبقات با استفاده از رابطه‌ی (۳) انجام شد (یالکین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸).

$$\text{Winf} = \text{Ln} [(A/B) / (C/D)] \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن A تعداد ریزش در هر طبقه، B مساحت هر طبقه، C تعداد کل ریزش‌ها در منطقه، D مساحت کل منطقه و Winf وزن ارزش اطلاعات است. لایه‌های ساخته شده در محیط ArcGIS با هم تلفیق و از جمع جبری نقشه‌ها، وزن نهایی حاصل شد. با وارد کردن و اعمال این وزن‌ها در نقشه، پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه با استفاده از مدل ارزش اطلاعات به دست آمد.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش با استفاده از مدل ارزش اطلاعات

## ارزیابی مدل‌ها

در این تحقیق با استفاده از نقشه‌ی پراکنش ریزش‌های منطقه به ارزیابی دقت نتایج و مقایسه‌ی مدل‌های پهنه‌بندی اقدام شد. برای این منظور، یک سوم از نقاط ریزشی منطقه که در مدل‌سازی و پهنه‌بندی استفاده نشد، با نقشه‌های پهنه‌بندی در محیط GIS انطباق داده شد. شاخصی که برای ارزیابی پهنه‌های خطر در نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از این تحقیق به کار گرفته شده، به صورت زیر تعریف شده است (ون وستن و سوترز<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸):

$$RI = [(R_i/A_i) / \sum_1^n (R_i/A_i)] \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این رابطه RI عبارت است از شاخص ریزش<sup>۲</sup> در هر طبقه به درصد،  $R_i$ ، تعداد ریزش‌ها در هر پهنه‌ی خطر،  $A_i$ ، مساحت هر پهنه‌ی خطر و  $n$ ، تعداد طبقات است.

جدول ۱- ضرایب نسبت فراوانی و وزن ارزش اطلاعات در طبقات مختلف عوامل مؤثر

عوامل مؤثر	طبقات	درصد مساحت	درصد فراوانی ریزش	ضرایب نسبت فراوانی	وزن ارزش اطلاعات
ارتفاع (متر)	<۸۰۰	۴/۴۴۲۶۴۵	۲/۴۳۹۰۲۴	۰/۵۴۹۰	۰/۵۹۹۴۷۲
	۸۰۰-۱۲۰۰	۱۴/۸۶۶۰۶۴	۱۹/۵۱۲۱۹۵	۱/۳۱۲۵	۰/۲۷۲۱۳۹
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۲۱/۲۸۰۷۹۹	۲۱/۹۵۱۲۱۹	۱/۰۳۱۵	۰/۰۳۱۱۹۸
	۱۶۰۰-۲۰۰۰	۲۲/۰۶۵۷۰۴	۲۱/۹۵۱۲۱۹	۰/۹۹۴۸	۰/۰۰۵۰۲۲
	۲۰۰۰-۲۴۰۰	۲۱/۶۷۴۸۵۱	۱۹/۵۱۲۱۹۵	۰/۹۰۰۲	۰/۱۰۴۹۳۳
	۲۴۰۰-۲۸۰۰	۱۲/۵۴۳۲۹۷	۱۲/۱۹۵۱۲۱	۰/۹۷۲۲	۰/۰۲۷۹۷۰
	>۲۸۰۰	۳/۱۲۶۶۳۷	۲/۴۳۹۰۲۴	۰/۷۸۰۰	۰/۲۴۸۱۸۰
شیب (درصد)	۰-۲۰	۹/۶۱۹۲۱۱	.	.	.
	۲۰-۴۰	۲۰/۵۳۵۸۰۹	.	.	.
	۴۰-۵۵	۲۱/۰۳۹۸۲۵	۲/۴۳۹۰۲۴	۰/۱۱۵۹	۲/۱۵۴۸۱۹
	۵۵-۷۰	۲۲/۵۴۷۵۸۲	۱۲/۱۹۵۱۲۱	۰/۵۴۰۸	۰/۶۱۴۵۹۲
	۷۰-۸۵	۱۵/۷۵۵۵۱۹	۲۴/۳۹۰۲۴۳	۱/۵۴۸۰	۰/۴۳۶۹۹۲
	>۸۵	۱۰/۴۹۹۳۵۱	۶۰/۹۷۵۶۰۹	۵/۸۰۷۵	۱/۷۵۹۱۶۰

1- Van Westen and Soeters

2- Rockfall Index

عوامل مؤثر	طبقات	درصد مساحت	درصد فراوانی ریزش	ضرایب نسبت فراوانی	وزن ارزش اطلاعات
جهت دامنه	شمالی	۱۳/۱۲۳۰۱۷	۱۷/۰۷۳۱۷۰	۱/۳۰۱۰	۰/۲۶۳۰۴۰
	شمال شرقی	۱۴/۳۸۱۹۴۳	۷/۳۱۷۰۷۳	۰/۵۰۸۷	۰/۶۷۵۷۶۳
	شرقی	۱۲/۶۷۴۱۶۲	۱۴/۶۳۴۱۴۶	۱/۱۵۴۶	۰/۱۴۳۷۹۲
	جنوب شرقی	۱۳/۸۵۷۷۵۲	۱۲/۱۹۵۱۲۱	۰/۸۸۰۰	۰/۱۲۷۸۰۹
	جنوبی	۱۱/۶۷۳۴۲۷	۱۴/۶۳۴۱۴۶	۱/۲۵۳۶	۰/۲۲۶۰۴۲
	جنوب غربی	۱۰/۴۰۵۲۰۷	۹/۷۵۶۰۹۷	۰/۹۳۷۶	۰/۰۶۴۴۱۴
	غربی	۱۰/۴۸۹۱۵۰	۱۴/۶۳۴۱۴۶	۱/۳۹۵۱	۰/۳۳۳۰۱۶
	شمال غربی	۱۳/۳۹۵۳۳۸	۹/۷۵۶۰۹۷	۰/۷۲۸۳	۰/۳۱۷۰۱۵
جنس زمین	A*	۲۴/۸۱۳۶۶۱	۲۴/۳۹۰۲۴۳	۰/۹۸۲۹	۰/۰۱۷۲۱۱
	B	۱/۴۷۷۱۹۶	۴/۸۷۸۰۴۸	۳/۳۰۲۲	۱/۱۹۴۵۹۹
	C	۰/۵۳۲۹۴۰	.	.	.
	D	۳۴/۰۸۳۲۴۳	۱۹/۵۱۲۱۹۵	۰/۵۷۲۴	۰/۵۵۷۷۶۶
	E	۱۱/۱۳۸۶۰۴	۹/۷۵۶۰۹۷	۰/۸۷۵۸	۰/۱۳۲۵۲۵
	F	۹/۶۶۲۴۷۳	۷/۳۱۷۰۷۳	۰/۷۵۷۲	۰/۲۷۸۰۳۹
	G	۳/۲۹۶۳۱۱	۱۴/۶۳۴۱۴۶	۴/۴۳۹۵	۱/۴۹۰۵۵۳
	H	۱۰/۳۹۹۳۰۱	۹/۷۵۶۰۹۷	۰/۹۳۸۱	۰/۰۶۳۸۴۶
	I	۰/۳۳۹۱۷۸	.	.	.
	J	۳/۹۱۴۹۴۱	۹/۷۵۶۰۹۷	۲/۴۹۲۰	۰/۹۱۳۰۹۲
	K	۰/۳۴۲۱۴۷	.	.	.
فاصله از گسل (متر)	۰-۵۰۰	۱۲/۹۸۷۸۳۶	۲۱/۹۵۱۲۱۹	۱/۶۹۰۱	۰/۵۲۴۸۶۳
	۵۰۰-۱۵۰۰	۲۴/۳۲۵۸۶۴	۳۴/۱۴۶۳۴۱	۱/۴۰۳۷	۰/۳۳۹۱۶۹
	۱۵۰۰-۳۰۰۰	۳۱/۰۳۴۰۷۱	۲۴/۳۹۰۲۴۳	۰/۷۸۵۹	۰/۲۴۰۸۴۹
	>۳۰۰۰	۳۱/۶۵۷۵۹۵	۱۹/۵۱۲۱۹۵	۰/۶۱۶۳	۰/۴۸۳۸۸۵
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۵۰	۱۹/۸۸۵۲۰۲	۱۷/۰۷۳۱۷۰	۰/۸۵۸۵	۰/۱۵۲۴۶۸
	۱۵۰-۳۰۰	۱۴/۴۱۲۱۲۴	۲۹/۲۶۸۲۹۲	۲/۰۳۰۸	۰/۷۰۸۴۳۵
	۳۰۰-۵۰۰	۱۵/۷۴۵۹۸۳	۲۶/۸۲۹۲۶۸	۱/۷۰۳۸	۰/۵۳۲۹۰۸
	>۵۰۰	۴۹/۹۵۶۶۸۹	۲۶/۸۲۹۲۳۸	۰/۵۳۷۰	۰/۶۲۱۶۶۳
تراکم پوشش گیاهی و کاربری	جنگل متراکم	۲/۸۸۴۲۳۶	.	.	.
	مرتع خوب	۱۷/۹۶۰۷۱۰	۱۹/۵۱۲۱۹۵	۱/۰۸۶۳	۰/۰۸۲۸۵۳
	مرتع متوسط	۵۷/۵۹۵۴۳۲	۶۳/۴۱۴۶۳۴	۱/۱۰۱۰	۰/۰۹۶۲۵۱
	مرتع فقیر	۱۲/۹۱۸۷۴۸	۱۷/۰۷۳۱۷۰	۱/۳۲۱۵	۰/۲۷۸۸۲۹
	باغ-کشاورزی مناطق مسکونی	۷/۹۶۰۳۳۰ ۰/۶۸۰۶۴۱	. .	. .	. .

\*A: پادگانه‌های آبرفتی؛ B: سنگ‌آهک و مارن؛ C: کنگلومرا و سنگ‌آهک کنگلومرای؛ D: شیل، ماسه‌سنگ، سیلت سنگ، رس سنگ، کوارتزیت؛ E: سنگ‌های آتش‌فشانی دماوند؛ F: سنگ‌آهک، به‌طور محلی دولومیتی؛ G: سنگ‌آهک، مارن، سنگ‌آهک مارنی، مارن سیلتی؛ H: گدازه‌ی آندزیت، داسیتی و سنگ‌های آذر-آواری، بازالت، لای سنگ، شیل؛ I: سنگ گچ؛ J: سنگ‌آهک اربیتولین‌دار؛ K: سنگ‌آهک و مارن آمونیت‌دار، ماسه‌سنگ آهکی.



جدول ۲- ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی با شاخص ریزش

مدل	طبقات خطر	$R_i$	$A_i(km)^2$	$\sum_1^n (V_i/A_i)$	شاخص ریزش
نسبت فراوانی	کم	۳	۱۶۱/۳۳	۰/۱۷	۱/۵۵
	متوسط	۴	۷۲/۶۳		۹/۷۶
	زیاد	۸	۲۵/۸۵		۳۰/۶۹
	خیلی زیاد	۳	۲/۷۹		۵۸
ارزش اطلاعات	کم	۰	۴۲/۹۲	۰/۹۲	۰
	متوسط	۶	۱۵۶/۲۷		۴/۱۷
	زیاد	۸	۵۸/۰۳		۱۴/۹۷
	خیلی زیاد	۴	۵/۳۷		۸۰/۸۶

### جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نقشه پراکنش ریزش‌های منطقه با نقشه‌های عوامل مؤثر در وقوع آن‌ها در محیط ArcGIS تلفیق شد. جدول ۱، درصد فراوانی ریزش و ضرایب نسبت فراوانی به تفکیک طبقات عوامل مؤثر در پهنه‌بندی را نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نقشه‌های پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه را با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی (رابطه ۱ و ۲) و ارزش اطلاعات (رابطه ۳) نشان می‌دهد.

نتایج نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر ریزش در منطقه با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات نشان داد که طبقه ارتفاعی ۸۰۰-۱۲۰۰ متر، شیب بالاتر از ۸۵ درصد، جهت دامنه‌ی غربی، جنس سنگ‌آهک و مارن، فاصله‌ی کم‌تر از ۵۰۰ متری گسل‌ها، فاصله‌ی ۱۵۰-۳۰۰ متری از جاده و پوشش گیاهی متوسط، ضریب فراوانی بالاتری دارد و در نتیجه بیش‌تر از طبقه‌های دیگر عوامل مؤثر بوده، نسبت به ریزش حساسیت بیش‌تری دارد.

بررسی ارتباط عامل ارتفاع با وقوع ریزش نشان داد که در طبقه‌ی ارتفاعی ۸۰۰-۱۲۰۰ متر، حداقل درجه‌ی حرارت به زیر صفر رسیده و بارش در نیمه‌ی سرد سال به صورت برف است. از این‌رو تکرار زیاد نوسان دما در حوالی صفر درجه و پدیده یخبندان و ذوب یخ، باعث افزایش وقوع ریزش می‌شود. بررسی میزان شیب نشان داد که خطر ریزش در شیب بالای ۸۵ درصد بسیار بیش‌تر است که با مطالعات بیلی فارد<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) همخوانی دارد. از نظر جهت، به ترتیب دامنه‌های غربی، شمالی و جنوبی بیش‌ترین حساسیت را نسبت به ریزش نشان داده‌اند. درجه‌ی حرارت در دامنه‌های

1- Baillifard

غربی و جنوبی موجب تخریب سنگ‌ها و در نتیجه ریزش می‌شود. اما در دامنه‌های شمالی، یخبندان (احمدی، ۱۳۷۴) عامل اصلی است. بررسی ارتباط جنس زمین با پراکنش ریزش سنگ‌ها نشان داد که سنگ‌آهک و مارن کرتاسه، بیش‌ترین حساسیت را نسبت به ریزش دارند. توماس<sup>۱</sup> و همکاران (۱۹۹۵) نیز تشکیلات سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ را با فراوانی بالای ریزش ذکر کردند. همچنین بیش‌تر ریزش سنگ‌ها در فاصله‌ی کم‌تر از ۵۰۰ متری گسل‌ها و ۳۰۰ متری جاده اتفاق افتاده است که می‌تواند به خاطر تأثیر شکسته شدن سنگ‌ها و بریدگی ناشی از این عوامل باشد. لی<sup>۲</sup> (۲۰۰۴)، لی و سمبات<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) و شیرزادی و همکاران (۱۳۸۹) نیز به نتایج مشابهی مبنی بر افزایش ریزش سنگ در اطراف گسل‌ها و جاده‌ها رسیدند.

نقشه پهنه‌بندی خوب، نقشه‌ای است که بهترین جدایش را بین مناطق با خطر بالای ریزش و مناطق با خطر پایین ریزش ایجاد کند. نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل‌ها در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، از طبقات خطر کم به زیاد، مقادیر شاخص ریزش در دو مدل به کار گرفته‌شده، افزایش می‌یابد. از این‌رو می‌توان گفت مدل‌های مورد استفاده نتایج قابل قبولی داشته‌اند. اما در مقایسه، با توجه به این‌که ۹۵/۸ درصد از ریزش‌های مورد نظر برای ارزیابی در مدل ارزش اطلاعات در درجه‌ی خطر خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند، این روش پهنه‌بندی مناسب‌تر است. در حالی که این مقدار در مدل نسبت فراوانی ۹۴/۹ درصد بوده است. بنابراین با توجه به شرایط منطقه پیشنهاد می‌شود فعالیت‌های عمرانی و احداث یا تعریض جاده در پهنه‌هایی صورت گیرد که در نقشه‌ی پهنه‌بندی حاصل از مدل ارزش اطلاعات با طبقه‌ی خطر کم مشخص شده است.

## منابع

- ۱- احمدی، حسن. ۱۳۷۸. ژئومرفولوژی کاربردی. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- تاربوک، ادوارد جی و فردریک لوتگن. ۱۳۸۶. مبانی زمین‌شناسی. ترجمه رسول اخروی. چاپ دهم، تهران، انتشارات مدرسه.
- ۳- شادفر، صمد؛ مجتبی یمانی و محمد نمکی. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه‌ی چالکرو، مجله‌ی آب و آبخیز، سال سوم، صفحات ۶۲-۶۸.
- ۴- شیرزادی، عطاله، کریم‌سلیمانی، محمود حبیب‌نژاد روشن و کاران چپی. ۱۳۸۹. مقایسه مدل‌های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه‌بندی خطر ریزش سنگ، نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، دوره‌ی ۶۳، شماره ۴، صفحات ۴۸۹-۵۰۲.

1- Thommas

2- Lee

3- Lee and Sambath

- ۵- غلامی، وحید. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در ریزش سنگ با استفاده از تکنیک‌های میدانی و دورسنجی (مطالعه موردی: جاده‌ی هراز، مقطع وانا - پلور). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، استاد راهنما: کریم سلیمانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، دانشکده منابع طبیعی.
- ۶- فاطمی عقدا، محمود؛ جعفر غیومیان و عقیل اشقلی فراهانی. ۱۳۸۲. ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین لغزش، مجله‌ی علوم زمین، شماره‌ی ۱۱، صفحات ۴۷-۵۸.
- ۷- قاضی‌پور، ندا، علی ارومیه‌ای، ایمان انتظام، فرهاد انصاری و مرتضی پیروز. ۱۳۸۵. استفاده از نظریه‌ی مخروط افت در ارزیابی خطر سنگ‌ریزش در مسیر جاده‌ی چالوس (پل زنگوله-مرزن‌آباد). مجله‌ی علوم زمین، شماره‌ی ۶۶، صفحات ۱۶۰-۱۶۹.
- ۸- محمودی، فرج‌اله. ۱۳۷۴. ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- ۹- محمدی، مجید، مرادی، حمیدرضا، فیض نیا، سادات و حمیدرضا پورقاسمی. ۱۳۸۸. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، مجله علوم زمین، دوره ۱۹، شماره ۷۴، صفحات ۲۷-۳۲.
- ۱۰- مقیمی، ابراهیم، سیدکاظم علوی پناه و تیمور جعفری. ۱۳۸۷. ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه‌ی زه‌کشی چناران در استان خراسان شمالی)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۴، صفحات ۵۳-۷۵.
11. Batterson, M., McCuaig, S. and Taylor, D. 2006. Mapping and assessing risk of geological hazard on the Northeast Avalon Peninsula and Humber valley, Newfoundland, Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, Geological Survey, Report 06-1:147-160.
12. Bilifard, F., Jaboyedoff, M. and Satori, M. 2003. Rock fall hazard mapping a long a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approaches, Natural Hazard and Earth System Sciences, 3:431-438.
13. Binal, A., and Ercanoglu, M. 2010. Assessment of rockfall potential in the Kula (Manisa, Turkey) Geopark Region, Environmental Earth Sciences, 61: 1361-1373.
14. Chau, K.T., Wong, R.H.C., Lin J., and Lee, C.F. 2003. Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on Rockfall Inventory, Rock Engineering Journal, 36 (5):383-408.
15. Khullar, V.K., Sharman, R.P. and Parmanik, K. 2000. GIS Approach in the landslide Zone of Lawngthlia in Southern Mizoran. Landslide: Proceeding of The 8 International Symposium on Landslide, 3: 1461-1472.
16. 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 Xiaojiang Watershed, Yunnan, China. Engineering Geology, 76: 109-128.
17. Lee, S., and Sambath, T. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. Environmental Geology 50: 847-855.
18. Lee, S. 2004. Application of frequency ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. Environmental Management 34(2): 223-232.

19. Palma, B., Parise, M., Reichenbach, P., and Guzzetti F. 2012. Rockfall hazard assessment along a road in the Sorrento Peninsula, Campania, southern Italy, *Nat Hazards*, 61:187–201.
20. Pradhan, B., and Lee, S. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modeling, *Environmental Modelling*, 25: 747–759.
21. Thommas, M. b., Voinovich, G. V., and Anderson, D. 1995. Geofacts, Landslid in OHIO, The division of Geological Survey Geofacts Series. 4(8).
22. Van Westen, C.J. and Soeters, R. 1998. GISSIZ: Workshop on GIS in Landslide Mapping: the Kakani Area (Nepal) 1: Theory. Version 2, ITC, P. 156.
23. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72: 1-12.